

Anabel Cardoso Raicik

**EXPERIMENTOS EXPLORATÓRIOS: OS CONTEXTOS DA
DESCOBERTA E DA JUSTIFICATIVA NOS TRABALHOS DE
GRAY E DU FAY**

Dissertação submetida ao Programa de Pós Graduação em Educação Científica e Tecnológica da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do Grau de mestre em Educação Científica e Tecnológica.

Orientador: Prof. Dr. Luiz O. Q. Peduzzi

Florianópolis
2015

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Raicik, Anabel Cardoso

Experimentos exploratórios: os contextos da descoberta e da justificativa nos trabalhos de Gray e Du Fay / Anabel Cardoso Raicik ; orientador, Luiz O. Q. Peduzzi - Florianópolis, SC, 2015.
233 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Físicas e Matemáticas. Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica.

Inclui referências

1. Educação Científica e Tecnológica. 2. História e Filosofia da Ciência. 3. Dinâmica entre hipótese e experimentação. 4. Contextos da descoberta e da justificativa. 5. Ensino de Física. I. Peduzzi, Luiz O. Q.. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica. III. Título.



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE CIÊNCIAS FÍSICAS E MATEMÁTICAS
CENTRO DE CIÊNCIAS DA EDUCAÇÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
CURSO DE MESTRADO EM EDUCAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA

“Experimentos exploratórios: os contextos da descoberta e da justificativa nos trabalhos de Gray e Du Fay”

Dissertação submetida ao Colegiado do Curso de Mestrado em Educação Científica e Tecnológica em cumprimento parcial para a obtenção do título de Mestre em Educação Científica e Tecnológica

APROVADA PELA COMISSÃO EXAMINADORA em 06 de março de 2015

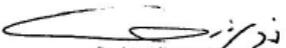
Luiz O. Q. Peduzzi (Orientador - CFM/UFSC)

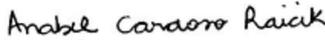
Neusa Teresinha Massoni (Examinadora - UFRGS)

Kahio Tibério Mazon (Examinador - CFM/UFSC)

Tatiana da Silva (Examinadora - CFM/UFSC)

José Francisco Custódio Filho (Suplente - CFM/UFSC)


Carlos Alberto Marques
Coordenador do PPGECT


Anabel Cardoso Raick
Florianópolis, Santa Catarina, 2015.

*À Deus, pelas tantas vezes que dedicou a
mim mesmo sem que eu merecesse :)*

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço àquele que tornou isso possível, Deus, que nunca me abandonou e sempre esteve ao meu lado, mesmo quando a minha fé já não era a mesma. Ele me abençoou e a cada dia derramou sobre mim seu Espírito. Na angústia, Ele me acalmava. No medo, Ele me confortava. Na dúvida, Ele me iluminava e, em todos os momentos me abençoava, mesmo que, às vezes, talvez, e só talvez, eu não merecesse.

Ao meu orientador, Luiz Peduzzi, por ter acreditado em mim e na realização deste trabalho. Pelo seu incentivo, sua paciência, sua dedicação, pela excelente orientação que foi fundamental para o desdobramento da pesquisa e para o meu próprio desenvolvimento. Por ser um professor, um orientador e uma pessoa exemplar, que me ajudou a me encantar cada vez mais pela história da ciência. Por ter sido firme e ao mesmo tempo compreensivo. Por ter me permitido, cada vez mais, sonhar...

À minha família, mãe, pai, Gu, (e Luli) que com todo o carinho possível estiveram ao meu lado. Apoiaram minhas escolhas, reconheceram meus sonhos e me mostraram o quanto me amam. Escutaram e, por vezes, compartilharam minhas angústias, mas também, e principalmente, minhas realizações. Obrigada por terem sido os melhores em todos os momentos. Amo vocês. À minha 'irmã' Tati e ao Guto que me apoiaram em diversos momentos na minha trajetória acadêmica e estavam ao meu lado, nos momentos difíceis e nos alegres, como amigos e família!

Ao Juliano que, por tantas vezes, me incentivou. Por nunca ter deixado que eu esquecesse que devemos confiar em Deus (embora nem sempre, talvez, merecemos isso). Obrigada por ter sido o refúgio, o apoio e o amigo no desenvolvimento deste trabalho. Obrigada por ter compartilhado comigo.

Aos meus colegas de orientação Marinês Cordeiro e Felipe Damásio. Aos professores Tatiana da Silva, Neusa Massoni, Kahio Mazon, José Francisco Custódio e José de Pinho Alves Filho membros da banca que, cuidadosamente, analisaram este trabalho. Aos alunos da disciplina de Evolução que participaram desta pesquisa.

Ao cafezinho...

“Depois de algum tempo você aprende a diferença, a sutil diferença, entre dar a mão e acorrentar uma alma. (...) percebe que seu melhor amigo e você podem fazer qualquer coisa, ou nada, e terem bons momentos juntos. (...) começa a aprender que não se deve comparar-se com os outros, mas com o melhor que pode ser. (...) aprende que maturidade tem mais a ver com os tipos de experiência que se teve e o que você aprendeu com elas do que com quantos aniversários você celebrou. (...) **aprende que nunca se deve dizer a uma criança que sonhos são bobagens** (...) descobre que só porque alguém não o ama do jeito que você quer que ame não significa que esse alguém não o ama com tudo o que pode...”
Shakespeare

“Não fui eu que lhe ordenei? Seja forte e corajoso! Não se apavore, nem desanime, pois o Senhor, o seu Deus, estará com você por onde você andar”

Josué 1:9

RESUMO

A experimentação é normalmente entendida, no ensino de ciências, como um meio para refutar ou corroborar uma teoria e todo o seu processo dinâmico foge a uma reflexão metodológica. Principalmente na física, uma ciência experimental, é natural que as relações entre hipótese e experimentação estejam intimamente ligadas ao processo de construção do conhecimento. Entretanto, como enfatiza a literatura, é essencial refletir sobre esses vínculos que passam, muitas vezes, despercebidos tanto no âmbito da própria ciência como no procedimento pedagógico. Desta forma, o objetivo geral desta pesquisa foi evidenciar a dinâmica entre hipótese e experimentação na construção do conhecimento científico. Para tanto se desenvolveu um módulo de ensino que discute o conceito de experimentação exploratória (STEINLE, 1997; 2002) e a relação entre o contexto da descoberta e o contexto da justificativa, a partir dos estudos de Stephen Gray e Charles Du Fay em um momento incipiente da história da eletricidade. O módulo é constituído por um texto, dois artigos, três trechos de vídeos, seminários e uma atividade experimental, realizada em sala de aula. No primeiro semestre de 2013, ele foi implementado em um dos segmentos de uma disciplina sobre História da Ciência da Universidade Federal de Santa Catarina. Os dados obtidos através de um questionário aberto, em termos gerais, mostraram que a proposta é eficaz, promovendo uma satisfatória articulação entre o conteúdo histórico e aspectos específicos da filosofia da ciência.

Palavras-chave: História da eletricidade. Hipótese e experimentação. Módulo de ensino.

ABSTRACT

Experimentation is usually understood in the teaching of science as a means to refute or corroborate a theory and all its dynamic process flees to a methodological reflection. Especially in physics, an experimental science, it is natural that the relationship between hypothesis and experimentation are closely linked to the knowledge construction process. However, as emphasized by the literature, it is essential to reflect on those ties that are often overlooked both in the science itself as the pedagogical procedure. Thus, the objective of this research was to demonstrate the dynamic between hypothesis and experimentation in the construction of scientific knowledge. Therefore developed a teaching module that discusses the concept of exploratory experimentation (STEINLE 1997, 2002) and the relationship between the context of discovery and the context of justification, from the studies of Stephen Gray and Charles Du Fay at a time incipient history of electricity. The module consists of a text, two articles, three sections of videos, seminars and experimental activity conducted in the classroom. In the first half of 2013, it was implemented in one of the segments of a course in the History of Science, Federal University of Santa Catarina. The data obtained through an open questionnaire, in general, showed that the proposal is effective, promoting a sound relationship between the historical content and specific aspects of the philosophy of science.

Keywords: History of electricity. Hypothesis and experimentation. Teaching module.

LISTA DE FIGURAS

Capítulo 1

Fig. 1: Esquema do <i>experimentum crucis</i> . Imagem adaptada de Granés (2001).....	45
--	----

Capítulo 3

Fig. 1: A rolha que não havia sido eletrizada atraiu para si uma pena. Até então, sabia-se que apenas corpos eletrizados possuíam essa propriedade. Logo, o vidro havia comunicado sua virtude atrativa à rolha.....	104
Fig. 2: O vidro eletrizado comunicou sua virtude através da rolha e da madeira possibilitando a eletrização da esfera de marfim.....	106
Fig. 3: Com esse arranjo experimental, a esfera de marfim não recebeu a virtude atrativa do tubo de vidro eletrizado.....	107
Fig. 4: Com esse arranjo experimental proposto por Wheler, a esfera de marfim ‘recebeu’ a virtude atrativa do tubo de vidro. Cabe salientar que no outro aparato experimental (fig. 3), a linha de comunicação (barbante) estava diretamente em contato com o prego. Nesse novo experimento a linha de comunicação é apoiada em um suporte de seda, que substitui o prego.	108
Fig. 5: Gray atritando um tubo de vidro que está conectado à linha de comunicação. Figura extraída de Assis (2011).	110
Fig. 6: Uma esfera atraindo lâminas metálicas estando presa a uma linha de comunicação de 203 m. Figura extraída de Assis (2011).....	112
Fig. 7: Garoto suspenso por linhas de seda. Ao se aproximar um tubo eletrizado do garoto, constatava-se que ele atraía para si lâminas de latão, que estavam em sua proximidade. Figura extraída de Heilbron (1979).	113

Capítulo 4

Fig. 1: Um das experiências que levou Du Fay ao reconhecimento da repulsão elétrica.	128
Fig. 2: Mecanismo de atração-contato-repulsão observado por Du Fay.	130
Fig. 3: Experiência com duas folhas de ouro suspensas por um tubo eletrizado. A distância (‘repulsão’) entre as folhas evidenciava a validade do primeiro princípio de Du Fay.	133
Fig. 4: Uma folha de ouro suspensa por um tubo de vidro eletrizado foi atraída por um goma-copal também eletrizado. Essa experiência	

foi “desconcertante” para Du Fay, pois contrariava seu primeiro princípio. Contudo, como sempre existem contrapontos, foi essa experiência que propiciou a enunciação de outro princípio, ainda mais relevante para os estudos elétricos. 134

Capítulo 5

Fig. 1: *Slide*: Descrição do enunciado da atividade experimental..... 169

Fig. 2: *Slide*: Descrição do desenvolvimento da atividade. Segundo a sugestão do aluno A11, esse slide poderia ser utilizado para o enunciado da questão, desde que o corpo madeira-canudo fosse encoberto..... 170

Capítulo 6

Fig. 1: Capa da história em quadrinhos: sobre as objeções à dicotomia entre os contextos da descoberta e da justificativa..... 185

Fig. 2: Quadro (nº3): os alunos questionam sobre o método científico e os elementos que fazem parte da pesquisa científica..... 186

Fig. 3: Quadro (nº 8): discutem-se as concepções ainda tradicionalistas, que negligenciam o processo científico, abordadas pelos livros didáticos..... 187

Fig. 4: Quadro (nº 11): explicita-se a separação entre a maneira como a atividade científica é apresentada à comunidade e como ela é realmente desenvolvida..... 188

Fig. 5: Quadro (nº12): a separação do contexto da descoberta e do contexto da justificativa..... 189

Fig. 6: Quadro (nº 14): contrapõe-se a separação temporal dos contextos DJ por meio da análise da descoberta da condução elétrica..... 190

Fig. 7: Quadro (nº 19): a distinção DJ é criticada com a análise dos estudos de Stephen Gray..... 191

Fig. 8: Quadro (nº 21): a análise histórica da ciência pode evidenciar a incoerência da separação entre os contextos DJ e as consequências dessa dicotomia na perpetuação de certas imagens acerca da ciência... 192

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Livros analisados e aprovados no PNLD/2012; autores por ordem alfabética.....	94
--	-----------

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACR – Atração-contato-repulsão
CTS – Ciência-sociedade-tecnologica
DJ – Contextos da descoberta e da justificativa
HC – História da Ciência
HFC – História e Filosofia da Ciência
HQ – História em Quadrinhos
NdC – Natureza da Ciência
PNLD – Plano Nacional do Livro Didático

SUMÁRIO

Introdução.....	25
Referências.....	31
1. Uma discussão acerca dos contextos da descoberta e da justificativa: a dinâmica entre hipótese e experimentação na ciência.....	37
1.1. Introdução.....	37
1.2. Experimentação e hipóteses na construção do conhecimento.....	39
1.3. Experimentação e ensino de ciências.....	45
1.4. Experimentação Exploratória.....	48
1.5. Os contextos da descoberta e da justificativa: primórdios da distinção DJ segundo Reichenbach.....	50
1.6. Críticas à dicotomia entre os contextos DJ à luz da moderna filosofia da ciência.....	52
1.7. Kuhn e a distinção DJ.....	55
1.8. A relação concomitante entre os contextos DJ: possibilidade para discussões sobre a ciência no ensino.....	58
Referências.....	60
2. A estrutura conceitual e epistemológica de uma descoberta científica.....	66
2.1. Introdução.....	67
2.2. Hanson e a estrutura conceitual e epistemológica das descobertas.....	68
2.3. Kipnis e as descobertas casuais.....	75
2.4. Kuhn e suas considerações às descobertas científicas.....	76
2.5. A terminologia descoberta e os livros didáticos.....	78
2.6. Análise dos livros de Física do PNLD/2012.....	81
2.6.1. Considerações à análise desenvolvida.....	86
2.7. Considerações Finais.....	88
Referências.....	89
3. Um resgate histórico e filosófico dos estudos de Stephen Gray.....	97
3.1. Introdução.....	97
3.2. Os estudos de Stephen Gray.....	101
3.3. Descoberta casual: a comunicação da virtude atrativa.....	103
3.4. A conceitualização dos corpos condutores e isolantes.....	107
3.5. Considerações sobre os trabalhos de Gray: implicações para o ensino.....	114
Referências.....	116
4. Um resgate histórico e filosófico dos estudos de Charles Du Fay.....	120
4.1. Introdução.....	121

4.2. Os contextos da descoberta e da justificativa.....	123
4.3. Os estudos de Charles Du Fay.....	124
4.4. Repulsão: um fenômeno genuinamente elétrico.....	126
4.5. A enunciação de dois princípios gerais: o sistema “ACR” e a eletricidade vítrea e resinosa.....	129
4.6. Outros estudos elétricos.....	136
4.7. Considerações sobre os trabalhos de Du Fay: implicações para o ensino.....	138
Referências.....	140
5. Análise de um módulo de ensino: potencialidades e limitações.....	147
5.1. Introdução.....	147
5.2. Transposição Didática.....	151
5.3. Aspectos metodológicos da pesquisa.....	154
5.3.1. O módulo, seus objetivos e o contexto da sua implementação....	154
5.3.1.1. Primeira e segunda aulas.....	156
5.3.1.2. Terceira e quarta aulas.....	159
5.3.2. Natureza metodológica da pesquisa e os instrumentos de coleta de dados.....	160
5.4. O questionário.....	161
5.4.1. Análise e discussão dos dados.....	163
5.5. Considerações finais.....	172
Referências.....	174
6. O contexto da descoberta e da justificativa em sala de aula	182
6.1. Introdução	183
6.2. A História em Quadrinhos: o contexto da sua elaboração.....	184
6.3. Desenvolvimento da História em Quadrinhos.....	186
6.4. Implicações para o ensino: perspectivas para o uso da HQ.....	192
Referências.....	193
Considerações Finais.....	212
Referências.....	217

INTRODUÇÃO

O ensino de ciências, seja através dos professores ou dos materiais didáticos, negligencia, tradicionalmente, o processo do desenvolvimento científico e, por conseguinte, discussões acerca da natureza do conhecimento. Assim, muitos alunos não conseguem construir uma compreensão adequada da ciência, pois se deparam com conteúdos novos e descontextualizados, tanto histórica quanto epistemologicamente. A ênfase apenas em resultados – que omitem, normalmente, a pluralidade de métodos na ciência, os erros, a casualidade e os diferentes papéis do experimento na construção do conhecimento –, acaba estereotipando a ciência.

Um desses estereótipos, amplamente disseminado no ensino, refere-se à imagem da investigação e da produção do conhecimento pautada em um método científico (GIL PÉREZ *et al.*, 2001; FERNÁNDEZ *et al.*, 2002; KOHNLEIN; PEDUZZI, 2002; MOREIRA; OSTERMANN, 1993). Nesse sentido, a experimentação, por exemplo, é entendida como um meio para refutar ou corroborar uma teoria e todo o seu processo dinâmico foge a uma reflexão metodológica (FERREIRÓS; ORDÓÑES, 2002). No entanto, é consensual para os filósofos, historiadores da ciência e seus pares, atualmente, que o conhecimento não se constrói com uma sequência rígida de passos e segue um único método. Nas ciências naturais, e na física em particular, é natural que as relações entre hipótese e experimentação estejam intimamente ligadas ao processo de construção do conhecimento. Entretanto, como enfatizam Wong e Hodson (2008), é essencial *refletir* sobre esses vínculos que passam, muitas vezes, despercebidos tanto no âmbito da própria ciência como no procedimento pedagógico.

Para exercitar essa reflexão, é necessário que se explicita o que se entende por uma experimentação. Steinle (2002; 1997) desenvolve dois conceitos: a experimentação subordinada por uma “teoria-orientada” e a experimentação “exploratória”. No primeiro caso, têm-se uma orientação para a prática da experimentação; segue-se um roteiro específico onde já estão pré-estabelecidos os passos procedimentais e o resultado já é, em princípio, esperado. A experimentação exploratória, por sua vez,

é impulsionada pelo desejo elementar de obter regularidades empíricas e encontrar conceitos e classificações adequadas, por meio da qual essas regularidades podem ser formuladas (STEINLE, 1997, p. 70).

Este último conceito, que está de modo íntimo relacionado ao processo de construção de um conhecimento, ocorre comumente, na ciência, em períodos em que inexiste um corpo teórico bem definido, ao menos no campo de interesse. Permite, através da variação, da modificação, da verificação, das novas "descobertas", um diálogo explícito entre as hipóteses e a experimentação.

Analisando o processo que constitui a experimentação exploratória, conceito de interesse na presente pesquisa, percebe-se que ela contempla dois contextos: o da "descoberta" e o da "justificativa" (DJ). Ao longo da história, esses dois conceitos foram dicotomizados (REICHENBACH, 1938), dentre as argumentação de que o contexto da descoberta não deveria ser objeto de estudo da filosofia, mas matéria de interesse apenas de historiadores, psicólogos e sociólogos. Essa distinção entre os dois contextos era motivada pela suposta "irracionalidade" do contexto da descoberta, que contempla a casualidade, a criatividade, os erros, a intuição, as hipóteses. Portanto, a filosofia da ciência, como disciplina normativa, interessava-se apenas pelo contexto da justificativa, que apresenta uma *reconstrução racional* do processo científico; os argumentos lógicos que validam a pesquisa científica (ARABATZIS, 2006; STEINLE, 2006).

Não obstante, essa separação entre os contextos DJ dificulta a compreensão do processo de construção do conhecimento. Esse problema se estende ao ensino de ciências que, geralmente, enfatiza apenas os resultados científicos, apresentando uma sequência lógica e cronológica das teorias. Dessa forma, negligencia a gênese do conhecimento, que permite analisar e compreender a ciência em seu aspecto humano, histórico, problemático, dinâmico, coletivo.

No entanto, sobretudo a partir dos anos 1960, iniciam-se reações a esta dicotomia DJ, a partir de autores como Norwood Hanson e Thomas Kuhn. Como enfatiza Hanson (1967), é um equívoco supor que a descoberta e, até mesmo, a criatividade, não fazem parte da construção científica, afinal, há um significado conceitual e um processo envolvido no ato/procedimento de descobrir; a descoberta de um novo tipo de fenômeno é, necessariamente, um processo complexo, que possui uma história própria, que envolve reconhecer tanto que algo ocorre quanto o que ele é (KUHN, 2011a; 2011b).

No processo de investigação científica, algumas descobertas podem ocorrer, por exemplo, por uma casualidade – que não é neutra, mas que explicita pressupostos conceituais e teóricos de acordo com o contexto do pesquisador (ROBERTS, 1993) – ou por um erro; fatores que fazem parte da estrutura de uma descoberta. Bachelard (1996) discute a importância do erro, enaltecendo a ideia de que em ciência é preciso errar, pois com a

retificação desses erros o conhecimento avança; “mas o erro de que ele fala é o erro positivo, o erro normal, o erro útil, parte integrante e inexorável do verdadeiro trabalho intelectual” (PEDUZZI, 2011, p. 15).

Portanto, em um novo patamar de compreensão dos contextos da descoberta e da justificativa, alguns autores argumentam que o tipo de pensamento envolvido na atividade da descoberta não difere, fundamentalmente, daquele utilizado para a justificação (ACHINSTEIN, 1980). Nesse sentido, a distinção não pode existir já que os contextos se sobrepõem e devem, portanto, serem analisados sob uma mesma perspectiva.

Dessa forma, no âmbito histórico, pode-se discutir a dinâmica entre hipótese e experimentação por meio da relação desses dois contextos (descoberta/justificativa) a partir do conceito de experimentação exploratória (STEINLE, 2002; 1997). A história da ciência auxilia o aluno a compreender e refletir não apenas a relação entre hipótese e experimentação, mas também sobre o conteúdo científico – concede um entendimento plausível sobre os conceitos, lida com concepções equivocadas sobre a natureza da ciência e apresenta limitações quanto ao entendimento do método científico (MATTHEWS, 1995; PEDUZZI, 2005; 2011).

A história da eletricidade, especificamente os estudos de Stephen Gray e Charles Du Fay, tema de interesse da presente dissertação, apresenta episódios nos quais o experimento é valorizado e tem funções diferenciadas na estruturação de conhecimentos (ASSIS, 2011). Esses episódios históricos suscitam aspectos fundamentais e relevantes para a formação do estudante, como processos relativos à construção do conhecimento, situações que contraexemplificam imagens inadequadas da ciência (GIL PÉREZ *et al.*, 2001), discussões sobre os contextos da descoberta e da justificativa (HANSON, 1967; HOYNINGEN-HUENE, 1987; STEINLE, 2006) e a interação entre hipótese e experimentação (HODSON, 1994 ; PRAIA, CACHAPUZ, GIL PEREZ, 2002).

Os trabalhos de Gray e Du Fay exemplificam o quanto a experimentação exerceu papel diversificado em função dos objetivos, das condições (físicas, econômicas e culturais) e dos pressupostos teóricos e especulativos de cada estudioso. As investigações de Gray permitiram um avanço no conhecimento da eletricidade, como a descoberta dos materiais condutores e isolantes - sem nomeá-los como tal - e a descrição de algumas de suas principais propriedades. O processo de formação de conceitos e definições nos estudos de Du Fay - com todas as suas revisões, erros, testes, dúvidas e períodos sucessivos de incompreensões perante o observável - está diretamente ligado a um intenso e contínuo trabalho

experimental; os dois princípios gerais que enuncia, e que segundo ele subordinavam os fenômenos elétricos, ilustram isso.

A história da ciência, em muitas instituições de ensino superior, é tratada em uma disciplina específica do currículo de física (NICOLODELLI, 2011). A importância desse tipo de disciplina para a formação de licenciados e bacharéis é muito grande, pois além do conteúdo histórico, propriamente dito, podem ser viabilizadas discussões sobre a natureza do conhecimento científico. A relevância de disciplinas com cunho histórico estende-se também (e inclusive) aos alunos do bacharelado, uma vez que o conhecimento e a reflexão sobre a história da física não é uma prerrogativa apenas do futuro professor; mas também do futuro pesquisador que inevitavelmente exercerá a docência.

Tendo em vista os aspectos mencionados, pretende-se contribuir para promover entre futuros professores e cientistas, na disciplina Evolução dos Conceitos da Física, da Universidade Federal de Santa Catarina, uma formação histórico-filosófica mais adequada àquilo que se espera desses sujeitos. Assim, o presente estudo procura responder: **Como um episódio específico da história da eletricidade, aportado no conceito de experimentação exploratória, pode contribuir para uma melhor compreensão do aluno sobre a dinâmica entre hipótese e experimentação?**

Desta forma, o objetivo geral da pesquisa é evidenciar a dinâmica entre hipótese e experimentação na construção do conhecimento científico, através de um módulo de ensino que discuta o conceito de experimentação exploratória e a relação entre os contextos da descoberta e da justificativa, a partir dos estudos de Gray e Du Fay. Sendo assim, busca-se propiciar reflexões e compreensões da complexidade existente no desenvolvimento de um corpo teórico, trazendo à tona a dinamização entre hipótese e experimentação e a conceitualização por trás da terminologia descoberta. Para tanto, seis objetivos específicos foram assinalados:

- 1) Discutir, conceitualmente, os contextos da descoberta e da justificativa e a relação que existe entre eles;
- 2) Analisar o significado conceitual e epistemológico da terminologia descoberta pautando-se em filósofos da ciência como Hanson e Kuhn;
- 3) Explorar vínculos de dependência entre hipótese e experimentação nos estudos de Gray e Du Fay;
- 4) Examinar criticamente o papel da história da eletricidade para a compreensão da gênese do conceito de repulsão elétrica;

5) Promover uma formação histórico-filosófica, entre futuros professores e cientistas, a partir dos estudos iniciais da eletricidade e à luz da moderna filosofia da ciência;

6) Desenvolver, implementar e avaliar um módulo de ensino que explore aspectos históricos e filosóficos da eletricidade.

A dissertação está estruturada na forma de artigos. A redação de dissertações e teses nesse formato, embora mais adotada em universidades da Europa e dos Estados Unidos, está sendo utilizada em programas de pós-graduação no Brasil, como no Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica, da Universidade Federal de Santa Catarina (CORDEIRO, 2011; NICOLODELLI, 2011) e no Programa de Pós-Graduação em Ensino, Filosofia e História das Ciências, da Universidade Federal da Bahia (FREITAS, 2007; OLIVEIRA, 2010; TEIXEIRA, 2010).

Este formato alternativo, conforme tem se justificado, propicia um processo mais completo para a atividade prática de um pesquisador em formação; que é a função de mestrados acadêmicos e doutorados. Ainda, nessa perspectiva, a produção de artigos contempla interação entre os participantes envolvidos e os pares que, de certa forma, analisam o trabalho. Como enfatiza Cordeiro (2011), a comunicação possui um papel primordial em uma comunidade, inclusive, para a constituição do próprio empreendimento científico. A crítica suscita reflexão e reestruturação, contribuindo para a melhor qualificação dos trabalhos e, conseqüentemente, para que o pesquisador continue a publicar após a defesa. Ademais, é um processo desafiador (NICOLODELLI, 2011).

Contudo, esse formato apresenta alguns desafios. Talvez o principal deles seja o exposto por Teixeira (2010): os artigos possuem certa independência entre si, ao mesmo tempo em que integram, conjuntamente, um único trabalho. Nesse sentido, “parece inevitável que haja alguma sobreposição” (p. 15).

Essa pesquisa suscitou seis trabalhos – que devidamente ampliados constituem os artigos referentes aos capítulos da dissertação – aceitos para apresentação oral em eventos da área; no XX Simpósio Nacional de Ensino de Física (RAICIK; PEDUZZI, 2013a), no V Encontro Estadual de Ensino de Física – RS (RAICIK; PEDUZZI, 2013b), no IX Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências (RAICIK; PEDUZZI, 2013c), no XV Encontro de Pesquisa em Ensino de Física (RAICIK; PEDUZZI, 2014a), no III International History, Philosophy and Science Teaching Group Latinoamerican Conference (RAICIK; PEDUZZI,

2014b) e no XXI Simpósio Nacional de Ensino de Física (RAICIK; PEDUZZI, 2015).

O primeiro capítulo intitulado *Uma discussão acerca dos contextos da descoberta e da justificativa: a dinâmica entre hipótese e experimentação na ciência* discute o diálogo entre hipótese e experimentação na construção do conhecimento científico, explicitando as novas preocupações epistêmicas que se teve com o experimento, sobretudo no início dos anos 80. Apresenta, sucintamente, concepções da experimentação normalmente disseminadas no ensino de ciências. Através do conceito de experimentação exploratória, delineado por Steinle (2006; 1997), discorre-se sobre a distinção explicitada por Reichenbach (1938) entre os contextos da descoberta e da justificativa, evidenciando pertinentes objeções a essa dicotomia à luz da moderna filosofia da ciência.

O segundo capítulo, *A estrutura conceitual e epistemológica de uma descoberta científica*, exemplifica e discute a complexidade de uma descoberta à luz das considerações de Hanson, Kipnis e Kuhn. Nessa perspectiva busca, sobretudo, contrapor a dicotomia entre os contextos DJ. No ensino de ciências, discussões acerca do processo de uma descoberta ainda são inexistentes. Desta forma, normalmente, são disseminadas várias imagens inadequadas sobre a ciência. Uma análise desenvolvida sobre a *terminologia descoberta* nos livros didáticos aprovados pelo PNLD/2012 evidencia concepções inadequadas de ciência que podem ser transmitidas no ensino quando se utiliza, de maneira ampla e inadvertidamente, esse termo. Por fim, procura argumentar que o contexto da descoberta possui elementos complexos e lógicos, e está de forma intrínseca relacionado ao contexto da justificação.

O terceiro capítulo refere-se ao artigo *Um resgate histórico e filosófico dos estudos de Stephen Gray*. Este artigo visa apresentar um resgate dos trabalhos em eletricidade desenvolvidos por Gray, explorando vínculos de dependência entre hipótese e experimentação. Seus estudos explicitam as diferentes funções que podem ter o experimento na atividade científica e a pluralidade metodológica existente nesse processo. Contextualiza-se, no artigo, o caminho histórico de algumas descobertas realizadas por esse estudioso, como a conceitualização dos corpos isolantes e condutores e a condução elétrica. Ressalta-se, ainda, a importância de se analisar o contexto da descoberta no âmbito de um ensino não apenas de ciência, mas *sobre* a ciência.

O quarto capítulo é denominado *Um resgate histórico e filosófico dos estudos de Charles Du Fay*. Este artigo apresenta os trabalhos desenvolvidos por Du Fay no início do século XVIII, que se entregou a uma intensa busca por encontrar mecanismos que pudessem explicar certos fenômenos

elétricos, ainda não compreendidos na sua época. Realizando inúmeros experimentos em constante diálogo com as hipóteses desenvolvidas, ele enuncia dois princípios e ‘descobre’ a repulsão como algo legítimo das interações elétricas. Nessa perspectiva, esse artigo ressalta, além do percurso histórico desse estudioso, a relevância da análise do contexto da descoberta – no qual se encontra, por vezes, a gênese do conhecimento – para que se possa compreender a não neutralidade do estudioso, os erros que impulsionam aos acertos e os diferentes métodos de construção do conhecimento.

O quinto capítulo, *Potencialidades e limitações de um módulo de ensino: uma discussão histórico-filosófica dos estudos de Gray e Du Fay*, apresenta os resultados obtidos com a aplicação do módulo “Uma discussão histórico-filosófica da eletricidade: os estudos de Gray e Du Fay” desenvolvido na disciplina Evolução dos Conceitos da Física da Universidade Federal de Santa Catarina. Os dados foram obtidos através de um questionário aberto que demandou dos alunos uma análise histórica e filosófica de um período específico da eletricidade e uma apreciação crítica dos elementos do módulo implementado na disciplina. O conceito de transposição didática permitiu analisar as potencialidades desse módulo que, em termos gerais, mostrou-se bastante eficaz.

O sexto capítulo, *O contexto da descoberta e da justificativa em sala de aula*, contextualiza uma História em Quadrinhos desenvolvida na perspectiva de discutir aspectos relativos à Natureza da Ciência, sobretudo, a dicotomia DJ. Para o vínculo desse assunto com um conteúdo histórico específico utilizou-se os estudos de Stephen Gray. O texto elaborado na forma de um diálogo fictício em sala de aula é parte do módulo de ensino elaborado nessa pesquisa; contudo, ele pode ser utilizado em outras situações de ensino com relativa independência. Nesta perspectiva, apresentam-se algumas possibilidades de apropriação da história.

Nas considerações finais, discorre-se sobre a relevância e os desafios que trabalhos de natureza empírica acerca da História e Filosofia da Ciência (HFC), como o desenvolvido no presente estudo, possuem na formação de futuros professores e cientistas. Ademais, apresentam-se algumas perspectivas suscitadas por essa pesquisa.

Referências

ACHINSTEIN, P. Discovery and Rule-Books. In: T. Nickles (ed.), **Scientific Discovery, Logic, and Rationality** (Dordrecht: Reidel), p. 117–132, 1980.

ARABATZIS, T. On the inextricability on the context of discovery and the context of justification. **Revisiting Discovery and Justification**, p. 215-230, 2006.

ASSIS, A. K. T. **Os fundamentos experimentais e históricos da eletricidade**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2011.

ASTOLFI, J.P.; DEVELAY, M. **A didática das ciências**. Campinas, SP, Papirus, 1990.

BACHELARD, G. **A formação do espírito científico: contribuição para uma psicanálise do conhecimento**. Rio de Janeiro: Contraponto, 1996.

CORDEIRO, M. **Dos Curie a Rutherford: Aspectos Históricos e Epistemológicos da Radioatividade na Formação Científica**. Florianópolis: UFSC, 2011. 234 p. Dissertação – Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.

FERNÁNDEZ, I.; GIL, D.; CARRASCOSA, J.; CACHAPUZ, A.; PRAIA, J. Visiones Deformadas de La Ciencia Transmitidas por la Enseñanza. **Enseñanza de las ciencias**, p. 477-488, 2002.

FERREIRÓS, J.; ORDÓÑEZ, J. Hacia una filosofía de la experimentación. **CRÍTICA, Revista Hispanoamericana de Filosofía**. v. 34, n. 102, p. 47-86, 2002.

FREITAS, F. H. A. **Os estados relativos de Hugh Everett III: uma análise histórica e conceitual**. 2007. Dissertação (Mestrado em Ensino, Filosofia e História das Ciências). Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2007.

GIL PÉREZ, D.; MONTORO, I. F.; ALÍS, J. C.; CACHAPUZ, A.; PRAIA, J. Para uma imagem não deformada do trabalho científico. **Ciência & Educação**, v. 7, n. 2, p. 125-153, 2001.

HANSON, N. R. An Anatomy of Discovery. **The Journal of Philosophy**, v. 64, n.11, p. 321-352, 1967.

HODSON, D. Hacia un enfoque más crítico del trabajo de laboratorio. **Enseñanza de las ciencias**, v.12, n.3, p. 299-313, 1994.

HOYNINGEN-HUENE, P. Context of Discovery end Context of Justification. **Studies in History and Philosophy of Science**, v.18, n. 4, p. 501-515, 1987.

KÖHNLEIN, J. F. K.; PEDUZZI, L. O. Q. **Sobre a concepção empirista-indutivista no ensino de ciências**. Trabalho apresentado no VIII Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Física. Águas de Lindóia-SP, 2002.

KUHN, T. S. **A tensão essencial: estudos selecionados sobre tradição e mudança científica**. São Paulo: Unesp, 2011a.

KUHN, T. S. **A estrutura das revoluções científicas**. São Paulo: Perspectiva, 2011b.

MATTHEWS, M. R. História, filosofia, e ensino de ciências: a tendência atual de reaproximação. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 12, n. 3, p. 164-214, 1995.

MOREIRA, A. M.; OSTERMANN, F. Sobre o ensino do método científico. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v.10, n. 2, p. 108-117, 1993.

NICOLODELLI, D. **Mapas Conceituais como Ferramentas para a Organização do Conhecimento em uma Disciplina sobre a História da Física**. Florianópolis: UFSC, 2011. 165 p. Dissertação – Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.

OLIVEIRA, A. M. P. **Modelagem matemática e as tensões nos discursos dos professores**. 2010. Tese (Doutorado em Ensino, Filosofia e História das Ciências). Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2010.

PEDUZZI, L. O. Q. **Evolução dos Conceitos da Física**. 1. ed. Florianópolis: UFSC/EAD/CED/CFM, 2011. 130 p. (ISBN: 978-85-99379-92-9).

PEDUZZI, L. O. Q. Sobre a utilização didática da História da Ciência. In: Pietrocola, M.(org.). **Ensino de física: conteúdo, metodologia e epistemologia numa concepção integradora**. Florianópolis: Editora da UFSC, 2005.

PRAIA, J.; CACHAPUZ, A.; GIL PEREZ, D. A hipótese e a experiência científica em educação em ciência: contributos para uma reorientação epistemológica. **Ciência & Educação**, v. 8, n. 2, p. 253-262, 2002.

RAICIK, A. C.; PEDUZZI, L. O. Q. A descoberta da comunicação da virtude elétrica: aspectos relativos à Natureza da Ciência nos estudos de Stephen Gray. In: XX Simpósio Nacional de Ensino de Física, XXI, Uberlândia, MG. **Atas...**2015.

RAICIK, A. C.; PEDUZZI, L. O. Q. A distinção entre os contextos da descoberta e da justificativa: contraponto com os estudos de Stephen Gray. In: XV Encontro de Pesquisa em Ensino de Física, Maresias, São Paulo. **Atas...** 2014a.

RAICIK, A. C.; PEDUZZI, L. O. Q. O contexto da descoberta e da justificativa em sala de aula. In: III International History, Philosophy and Science Teaching Group Latinoamerican Conference, Santiago, Chile. **Atas...**2014b.

RAICIK, A. C.; PEDUZZI, L. O. Q. Uma abordagem histórica e experimental à eletricidade em uma disciplina sobre a evolução dos conceitos da física. In: Simpósio Nacional de Ensino de Física, XX, São Paulo. **Atas...**2013a.

RAICIK, A. C.; PEDUZZI, L. O. Q. Uma análise da terminologia descoberta e sua contextualização nos livros didáticos: os estudos de Gray e Du Fay. In: V Encontro Estadual de Ensino de Física - RS, Porto Alegre. **Atas...**2013b.

RAICIK, A. C.; PEDUZZI, L. O. Q. Uma discussão sobre os contextos da descoberta e da justificativa nos estudos de Du Fay. In: Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, IX, São Paulo. **Atas...** 2013c.

REICHENBACH, H. **Experience and Prediction: An Analysis of the Foundations and the Structure of Knowledge**. Chicago: University of Chicago Press, 1938.

ROBERTS, R. M. **Descobertas acidentais em ciências**. Campinas, SP: Papirus, 1993.

STEINLE, F. Concept formation and the limits of justification: “Discovering” the two electricities. **Revisiting Discovery and Justification**, p.183-195, 2006.

STEINLE, F. Experiments in History and Philosophy of Science. **Perspectives on Science**, v. 10, n. 4, p. 408-432, 2002.

STEINLE, F. Entering New Fields: Exploratory Uses of Experimentation. **Philosophy of Science**, 64, p. 565-574, 1997.

TEIXEIRA, E. S. **Argumentação e abordagem conceitual no ensino de física**. 2010. Tese (Doutorado em Ensino, Filosofia e História das Ciências). Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2010.

WONG, S. L.; HODSON, D. From the Horse’s Mouth: What scientists Say About Scientific Investigation and Scientific Knowledge. **Science Education, Wiley Periodicals**, p. 109-130, 2008.

CAPÍTULO 1

**Uma discussão acerca dos contextos da descoberta e
da justificativa: a dinâmica entre hipótese e
experimentação na ciência**

1. Uma discussão acerca dos contextos da descoberta e da justificativa: a dinâmica entre hipótese e experimentação na ciência

A discussion about the context of discovery and justification: the dynamics between hypothesis and experimentation in science

Resumo

Neste artigo discute-se o diálogo entre hipótese e experimentação na construção do conhecimento científico, explicitando as novas preocupações epistêmicas que se teve com o experimento, sobretudo no início dos anos 80. Apresenta, sucintamente, concepções da experimentação normalmente disseminadas no ensino de ciências. Através do conceito de experimentação exploratória, delineado por Steinle (2006; 1997), discorre-se sobre a distinção explicitada por Reichenbach (1938) entre os contextos da descoberta e da justificativa, evidenciando pertinentes objeções a essa dicotomia à luz da moderna filosofia da ciência.

Palavras-chave: Experimentação exploratória. Contexto da descoberta e da justificativa. Ensino de ciências.

Abstract

This article discusses the dialogue between hypothesis and experimentation in the construction of scientific knowledge, explaining the new epistemic concerns related to an experiment, especially in the early 80s. conceptions of experimentation usually disseminad in Science education are briefly presented. Through the concept of exploratory testing, outlined by Steinle (2006, 1997), it talks about the distinction explicit by Reichenbach (1938) between the contexts of discovery and justification, showing relevant objections to this dichotomy in the light of modern philosophy of science.

Keywords: Exploratory experimentation. Context of discovery and justification. Science education.

1.1. Introdução

O século XX é marcado por “novas” considerações sobre a ciência, no âmbito histórico e filosófico. A partir dos anos 60 houve uma reforma na maneira de pensar e caracterizar o conhecimento científico em relação às primeiras décadas desse e do século passado. Muitos estudos apontam

que essas novas concepções sobre a ciência tomaram impulso, principalmente, com os trabalhos de Thomas Kuhn; que puseram em questão as “normas metodológicas universais” que regiam os estudos da filosofia da ciência (PAIXÃO, 2003). Assim, instaura-se um novo quadro teórico que fundamenta a reflexão e a percepção da investigação científica.

Os filósofos já há muito fizeram da ciência uma múmia. Quando finalmente desenrolaram o cadáver, e viram os restos de um processo histórico de vir a ser e descobrimento, criaram para si mesmos uma crise de racionalidade. Isso aconteceu por volta de 1960 (HACKING, 2012, p. 59).

Com os estudos de Kuhn, Hanson e outros pós-kuhnianos como Hacking, instituiu-se uma filosofia que trata a ciência como uma atividade complexa que se relaciona com outras atividades humanas. Essa nova filosofia da ciência requer discutir e analisar, entre outras questões, a correlação existente entre experiência e hipóteses (ou teorias) na construção do conhecimento científico e a distinção existente entre os enfoques heurísticos e os enfoques lógicos nesse campo (PAIXÃO, 2003). Ou seja, a dicotomia dos contextos da descoberta e da justificativa (DJ) e, conseqüentemente, a separação da filosofia da ciência das outras áreas do conhecimento como a história da ciência.

No âmbito da experimentação, Steinle (1997) apresenta duas classificações: a experimentação subordinada por uma *teoria-orientada* e a experimentação *exploratória*. A segunda dessas classificações permite compreender a relação inerente entre os contextos da descoberta e da justificativa; explicita possíveis ligações entre os aspectos heurísticos e lógicos em uma pesquisa científica. Para este autor, a compreensão da experimentação só pode ser plenamente alcançada por meio da história e da filosofia da ciência. Assim, a separação dessas duas áreas do conhecimento se torna questionável.

No ensino de ciências, seja através dos professores ou dos materiais didáticos, há sempre uma concepção filosófica, implícita ou explicitamente presente. Essa perspectiva filosófica orienta a um entendimento epistêmico da ciência; sobre o método científico, sobre o contexto de investigação, sobre o papel do experimento na ciência, sobre a sua pluralidade metodológica. Principalmente no que concerne ao ensino das ciências experimentais (GARCIA; ESTANY, 2010) essa postura filosófica torna-se mais visível. Com frequência e tradicionalmente, o ensino de física negligencia os diferentes papéis que a experimentação exerce na construção do conhecimento científico, assim como a filosofia os ignorou por muito

tempo em suas análises sobre o desenvolvimento da ciência. As novas vertentes filosóficas do final do século XX incorporaram os estudos historiográficos para a reflexão e entendimento do conhecimento produzido e sua criação. Desta forma, tem-se novas preocupações com a natureza do conhecimento científico, conseqüentemente, "no campo da educação científica, esse acabou sendo um caminho natural a ser trilhado" (BRAGA; GUERRA; REIS, 2012, p. 211). Porém, ainda que novas características comecem a ser consideradas no ensino, algumas perspectivas referentes à experimentação precisam ser exploradas, como a dinâmica do experimento e da hipótese no desenvolvimento da investigação científica.

Assim, em um primeiro momento neste artigo, discute-se o papel da experiência na ciência e seu diálogo com as hipóteses, explicitando as novas preocupações epistêmicas que se teve com o experimento no início dos anos 80. Em seguida, discorre-se sobre a experimentação e o ensino de ciências que, normalmente, ignora as suas diferentes funções na atividade científica, evidenciando-o como algo independente de hipóteses e problematizações. Posteriormente, aborda-se, através do conceito de experimentação exploratória (STEINLE, 2006; 1997), os contextos da descoberta e da justificativa. A seguir apresenta-se a distinção explicitada por Reichenbach desses dois contextos, discorrendo sobre as pertinentes objeções a eles feitas pela moderna filosofia da ciência. Essa discussão é, então, seguida pelas considerações de Kuhn acerca da incoerência da distinção DJ. Por fim, discorre-se sobre as preocupações com as concepções inadequadas *sobre* a ciência fomentadas no ensino devido a sua, ainda, persistência em valorizar apenas os resultados científicos e, inadvertidamente, consentir com a dicotomia DJ.

1.2. Experimentação e hipóteses na construção do conhecimento

A visão hegemônica da experiência como corroboradora ou refutadora de hipóteses e teorias, amplamente disseminada no século XIX, começa a se deteriorar ao longo do século XX. No âmbito de uma nova reflexão à ciência, os filósofos começam a analisar mais detidamente, sobretudo a partir da década de 80, o significado da experimentação e os historiadores da ciência buscam examiná-la no seu âmbito cultural, social e retórico (STEINLE, 2002). O papel subsidiário da experimentação é revisto, então, dado o reconhecimento da sua complexidade e das suas diferentes relações com a construção do conhecimento científico.

O livro "Representar e Intervir" de Ian Hacking (2012), publicado originalmente em 1983, é um exemplo das renovadas discussões sobre os excessos da dimensão teórica da ciência em detrimento das

experimentações. Hacking buscou valorizar a experimentação e atentar para o fato da experiência não vir a ser apenas corroboradora (ou falseadora) de teorias, mas geradora de novos fenômenos e novos conhecimentos. Segundo o próprio autor:

a verdadeira mensagem de 'Representing and Intervening' é que grande parte da ciência é experimentação, transformação do mundo e construção de instrumentos para modificar o mundo: intervir, e não apenas teorizar, ou representar (HACKING, 2009, p. 268).

Mendonça (2012), na edição brasileira do livro, faz uma apresentação das concepções de Hacking sobre a ciência. Expõe que ele duvida da ideia disseminada de que, seguindo os mesmos passos metodológicos em uma experiência bem-sucedida, é possível obter-se os mesmos resultados. Para Hacking só faz sentido repetir um experimento para aperfeiçoá-lo, já que, como explicita:

Experimentar é criar, produzir, refinar e estabilizar os fenômenos. Se os fenômenos fossem abundantes na natureza, como amoras prontas para serem colhidas no verão, então o não funcionamento dos experimentos seria estranhíssimo. Mas é difícil produzir os fenômenos de qualquer forma estável (HACKING, 2012 apud MENDONÇA, 2012, p. 13).

Em cada nova experimentação, o arranjo e a maneira como o experimento será conduzido e analisado tornam-se diferentes e, ainda não são, em sua totalidade estáveis; estão sujeitos a falhas, a erros, a imprevistos e a especulações casuais. Nesse momento, afloram os pressupostos teóricos de cada estudioso, ou seja, “o experimentador não é o ‘observador’ da filosofia da ciência tradicional, mas sim uma pessoa alerta e observadora” (HACKING, 2012, p. 331). As observações são dependentes de conhecimentos prévios, seja de natureza científica, filosófica, religiosa, cultural, etc.; “observadores vendo a mesma cena do mesmo lugar veem a mesma coisa, mas interpretam o que veem diferentemente” (CHALMERS, 1993, p. 43). Ainda que não haja um corpo teórico constituído, a experimentação tem o seu valor e dialoga com as hipóteses que são formuladas antes e durante o processo investigativo.

Assim, refletir sobre a prática científica torna-se importante para (re)ver o papel da experimentação. Conforme Garcia e Estany (2010, p.

10), isso implica em analisar e reconhecer alguns fatores que interferem no trabalho científico, como “a infraestrutura material, os instrumentos, a interação humana (...)”. Como ressalta Gil Pérez *et al.* (2001), tem-se uma visão ingênua que a ciência é socialmente neutra. Não dando aporte às relações CTS (ciência-sociedade-tecnologia), acredita-se que os cientistas estão “acima do bem e do mal”, que não possuem necessidade de opções. Como a própria ciência (em geral), a experimentação, no que concerne principalmente à sua “forma estável”, sofre influências de diferentes instâncias.

A experiência científica é orientada e mesmo valorizada pelo enquadramento teórico do sujeito, que em diálogo com ela a questiona, a submete a um interrogatório, de respostas não definitivas. A experiência enquadra-se num método pouco estruturado, que comporta uma diversidade de caminhos, ajustando-se ao contexto e à própria situação investigativa (PRAIA, CACHAPUZ, GIL PÉREZ, 2002a, p. 257).

Nessa perspectiva, um experimento pode ser conduzido simplesmente por “curiosidade”; uma curiosidade científica a fim de verificar o que, possivelmente, pode ocorrer de novo, um desejo de compreender a natureza ou um fenômeno em específico. Ainda, um experimento pode ser subsidiado por hipóteses cujo objetivo podem ser o de formar novas teorias ou obter regularidades empíricas. Desta maneira, como coloca Hacking, “a experimentação tem vida própria”, ou seja, exerce diferentes papéis na construção do conhecimento, na busca do entendimento da natureza, na procura de novas “descobertas”; não se enquadra em um método rígido. Desse modo, torna-se essencial para compreender a ciência e o seu desenvolvimento:

Reconhecer a importância e a validade das práticas experimentais na constituição da ciência, sua função independente da teoria ou em equilíbrio com ela (GARCIA, ESTANY, 2010, p. 11).

Ainda que “diferentes tipos de relacionamento entre teoria e experimento existiram em diferentes estágios do desenvolvimento científico” (HACKING, 2012, p. 241), muitas experiências são desenvolvidas sem que haja um corpo teórico estabelecido que rege as observações. O diálogo entre as hipóteses e a experimentação nem sempre é simples; o confronto entre o que se idealiza e o que realmente se realiza

se interligam; “reside aqui, pensamos, uma das riquezas heurísticas da experimentação” (PRAIA, CACHAPUZ, GIL PÉREZ, 2002a, p. 257).

Neste sentido, Hacking (2012) cita alguns trabalhos em que as observações precederam as teorias, dentre eles os estudos de Newton sobre a dispersão da luz. Nestes estudos, percebe-se uma conversação maior entre as hipóteses, as ideias, as problematizações e as experimentações realizadas¹.

Granés (2001), no capítulo 2 do seu livro “La gramática de una controversia científica: el debate alrededor de la teoría de Newton sobre los colores de la luz”, dedica-se à exposição detalhada e à análise do artigo que Newton publica em 1672². O autor destaca as características metodológicas mais notáveis da investigação de Newton, apresentando as diferenças desse estudioso e alguns de seus antecessores e contemporâneos quanto a concepção do fenômeno das cores e as ideias subjacentes sobre a ciência e seus métodos.

A dinâmica entre hipótese e experimentação envolvida nos estudos de Newton sobre a dispersão da luz, abordada sucintamente a seguir, procura exemplificar a essência da argumentação até aqui apresentada. De fato, no artigo de Newton – embora ele tenha primado pelo contexto da justificativa, ao explicitar notoriamente os resultados obtidos em seu estudo – é possível constatar, com razoável clareza, essa no percurso da sua pesquisa.

Newton diz que o problema que o levou à esse estudo foi a inconsistência entre uma observação experimental e a teoria que o regia. A experiência realizada, aparentemente, violava a lei da refração³ conhecida na época.

[...] tendo escurecido meu quarto e feito um pequeno buraco na minha janela para deixar entrar uma quantidade conveniente de luz solar, coloquei

¹ Silva e Martins (1996) apresentam uma tradução comentada do primeiro artigo publicado por Newton sobre a teoria das cores; “é possível perceber quão complexo é o trabalho de Newton, e quão distante ele se encontra de um empirismo ingênuo” (p. 314).

² Em fevereiro de 1672, Newton publica na *Philosophical Transactions* da Royal Society um artigo sobre a nova teoria de formação de cores, a partir da luz branca em experimentos com prisma. Esse fenômeno era explicado de diferentes maneiras por Hooke, Boyle, Descartes e Grimaldi, com base em teorias sobre a modificação da luz ao passar por um meio transparente.

³ Lei de Descartes que estabelece uma relação constante, dependente do meio envolvido, entre os senos dos ângulos de incidência e de refração quando um raio de luz passa de um meio transparente a outro.

meu prisma em sua entrada para que ela [a luz] pudesse ser assim refratada na parede oposta. Isso era inicialmente um divertimento muito prazeroso: ver as cores vívidas e intensas assim produzidas; mas depois de um tempo dedicando-me a considera-la mais seriamente fiquei surpreso por vê-las em uma forma oblonga que, de acordo com as leis aceitas da refração, esperava que deveria ter sido circular (NEWTON, 1672, p. 3076).

Conforme a lei da refração de Descartes, o raio incidente e o raio refratado que saem do prisma se comportam de maneira simétrica na posição de desvio mínimo do prisma. Com base nisso, Newton esperava uma mancha circular e não alongada, como constatou. Assim, esse estudioso atenta àquilo que, ainda, não havia sido objeto de estudo: por que se produz um alongamento do espectro, dado que a lei da refração previa uma mancha circular? Vê-se que “a observação de um mesmo fenômeno não se revela o mesmo a observadores diferentes. Na verdade, investigadores com formações distintas podem ver coisas distintas” (GRANÉS, 2001, p. 31).

Os pressupostos de cada estudioso interferem sobre suas observações e, até mesmo, sobre a forma da experimentação que desenvolve. Newton tinha grande intimidade com a refração e alguns aspectos específicos de sua experimentação o diferiram dos outros investigadores nos estudos com prismas: (i) o uso da persiana; (ii) a posição de desvio mínimo do prisma; (iii) uma distância considerável entre o prisma e a parede; Newton utilizou uma distância de 22 pés, superior àquelas utilizadas por Descartes e Grimaldi que, então, observaram a mancha levemente oval.

Inicialmente, Newton examina a hipótese de serem os componentes de seu experimento os causadores dessa forma alongada.

Pensei que dificilmente as várias espessuras de vidro, ou a terminação com sombra ou escuridão, poderiam ter qualquer influência na luz para produzir tal efeito. Entretanto pensei que não era impropriedade examinar aquelas circunstâncias (...) (NEWTON, 1672, p. 3076).

Assim, supõe que a anomalia (alongamento) podia ser causada pela espessura do vidro ou pelo tamanho do orifício na persiana. Desta forma, faz experimentações com prismas de diferentes espessuras varia, também, o tamanho do orifício e, além disso, coloca os primas para fora da ‘janela’

para que a luz se refratasse antes de passar pelo orifício. No entanto, “a aparência das cores era em todos esses casos a mesma” (NEWTON, 1672, p. 3076). A experiência, muitas vezes, é mais um processo de reflexão, criatividade e invenção, do que simplesmente um ato de saber-fazer (PRAIA, CACHAPUZ, GIL PÉREZ, 2002a).

Newton segue formulando novas hipóteses e fazendo (e criando) novas experimentações. Supõe que o alongamento era devido a uma irregularidade no vidro ou ainda a uma falta de paralelismo do feixe de luz proveniente do Sol que penetra o orifício da persiana, devido ao tamanho do astro e a sua distância finita da Terra. Desta forma, Newton se propõe a estimar a magnitude desse alongamento; calcula o ângulo de divergência do feixe de luz que incide sobre o prisma (distância do orifício à parede e do diâmetro da mancha projetada na parede na ausência do prisma) e calcula a refração do vidro (atualmente, índice de refração) e aplicando a lei da refração aos raios incidentes, calculou o alongamento adicional produzido pelo prisma. No entanto, descarta todas essas hipóteses como causadoras da mancha irregular.

Outro experimento, que Newton chama de *experimentum crucis*, o levou a concluir que a forma alongada do espectro que se produzia na parede podia ser explicada como uma superposição de manchas circulares, deslocadas uma em relação a outra de acordo com o índice de refração da cor. Nesse arranjo experimental (fig. 1), Newton utiliza, respectivamente, um anteparo, um prisma, um anteparo e um prisma, “de tal modo que a luz que atravessou ambos os anteparos pudesse passar através dele [o segundo prisma] também e ser novamente refratada antes de atingir a parede”(NEWTON, 1672, p. 3078). Neste esquema, rotacionando o primeiro prisma é possível selecionar cada cor do espectro a incidir sobre o anteparo.

Esse dispositivo permite, então, selecionar em sucessão, um raio monocromático de cada um das principais cores e refratá-lo sobre o segundo prisma, mantendo constante o seu ângulo de incidência sobre o segundo [prisma] (GRANÉS, 2001, p. 36).

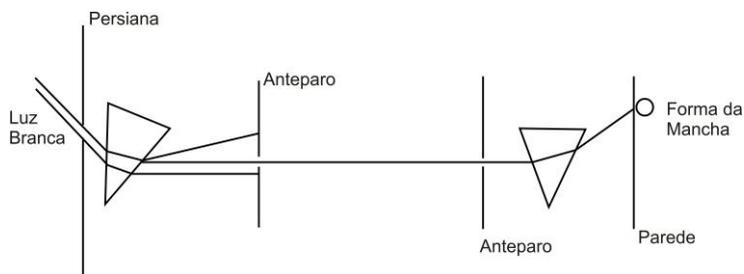


Figura 1 - Esquema do *experimentum crucis*. Imagem adaptada de Granés (2001).

Com esse novo experimento, de caráter qualitativo, Newton respondia ao seu problema inicial;

E assim a verdadeira causa do comprimento da imagem foi detectada não ser outra, senão que a luz consiste em raios diferentemente refrangíveis (...) a luz é ela própria uma mistura heterogênea (...) (NEWTON, 1672, p. 3079).

Deve-se ressaltar que esse episódio demanda mais discussões para a sua plena compreensão, visto que após a publicação do artigo, Newton sofre várias críticas, como as do padre Pardies, de Hooke e de Huygens (SILVA; MARTINS, 1996; GRANÉS, 2001).

Newton e muitos outros estudiosos “não eram um monte de empiristas irracionais sem nenhuma ‘ideia’ em suas cabeças. Eles viram o que viram por serem pessoas curiosas, inquisitivas, reflexivas” (HACKING, 2012, p. 244). Newton partiu de uma indagação para iniciar sua pesquisa sobre a dispersão da luz. Este estudioso se ateu ao alongamento da mancha que contradizia a teoria da época; assim iniciou sua pesquisa criando, produzindo, refinando e dialogando suas hipóteses (criadas à luz de seus pressupostos) com os experimentos. Newton não queria corroborar ou refutar, mas entender e explicar uma anomalia.

1.3. Experimentação e ensino de ciências

Hacking (e outros tantos) clamaram por mudanças. Há mais de duas décadas, disse ele, segundo Caliman e Almeida (2009), que já estava no momento de:

(...) ‘reconhecer a ciência pelo que ela é: um emaranhado de pensamento e ação, teoria e experimento’. Hoje, diz ele, nós temos uma imagem

mais verdadeira da ciência, e a ciência uma imagem mais verdadeira dela mesma (p. 270).

Apesar das novas ressalvas e reflexões à experimentação e ao próprio desenvolvimento da ciência, iniciados no século passado por filósofos e historiadores, o ensino tradicional dissemina, ainda, uma visão da prática e da investigação científica voltada a um método (GIL PÉREZ *et al.*, 2001; FERNÁNDEZ *et al.*, 2002; KOHNLEIN; PEDUZZI, 2002; MOREIRA; OSTERMANN, 1993) Assim, o conhecimento emerge de um problema que é identificado e termina com a solução encontrada; sem rupturas, sem desvios, sem a possibilidade de novos questionamentos (PRAIA; CACHAPUZ; GIL PÉREZ, 2002b).

Diversas análises sobre a educação científica apontam que o ensino transmite imagens equivocadas acerca do processo de construção e de desenvolvimento do conhecimento científico (GIL PÉREZ *et al.*, 2001; FERNÁNDEZ *et al.*, 2002; McCOMAS *et al.*, 1998; REZENDE *et al.*, 2010; MOREIRA; OSTERMANN, 1993). Assim, mesmo que a ciência se autoconheça melhor, o ensino precisa, ainda, compreendê-la mais em sua autenticidade.

A prática letiva fortemente ligada a posições epistemológicas positivistas gera dificuldades e impasses no que diz respeito a dinâmica entre hipótese e experimentação, quando se pensa em procedimentos relativos à construção do conhecimento. As concepções de muitos professores e alunos não diferem de uma visão popular da ciência. Em uma percepção empirista, a experiência se limita à manipulação de variáveis que propiciará a descrição de um fenômeno via teorias ou leis. Nesta perspectiva, a ciência é desenvolvida e construída sobre um pilar estável; “as teorias científicas são derivadas de maneira rigorosa da obtenção dos dados da experiência adquiridos por observação e experimento” (CHALMERS, 1993, p. 17).

Nesse panorama, a experimentação subsidia por si a pesquisa científica, que se focaliza na obtenção de dados. Desta forma, assume-se que a experiência independe das hipóteses e problematizações. No entanto, a hipótese tem um papel de articulação e de diálogo entre as teorias, as observações e as experimentações (PRAIA; CACHAPUZ; GIL PÉREZ, 2002a) e precisa ser devidamente valorizada.

A prática do cientista evidencia o processo de desenvolvimento do conhecimento científico. Essa prática mostra que a ciência possui processos mais complexos do que de simplesmente prosseguir prescritivamente. Segundo Hodson (1998 apud PRAIA; CACHAPUZ; GIL PÉREZ, 2002a), essa prática pode ser vista como um processo composto por três fases: criação, validação e incorporação de

conhecimentos, que correspondem respectivamente à geração de hipóteses, aos testes ao qual a hipótese é sujeita e ao processo social de aceitação e registro do conhecimento científico.

Nesse âmbito, Hodson (1994; 2009) preocupa-se com a subutilização da experimentação no ensino, no sentido de que em poucos momentos a atividade experimental é explorada plenamente com o seu real potencial ou contextualizada devidamente (via história da ciência, por exemplo).

A inexistência de uma descrição significativa do desenvolvimento histórico do conhecimento científico, juntamente com a ênfase excessiva da aprendizagem de produtos da pesquisa científica, não só prejudica a compreensão do desenvolvimento do conhecimento científico, mas também desvaloriza o papel do indivíduo na sua geração. Nós acreditamos que os alunos irão apreciar e se beneficiarem a partir de observações dos cientistas sobre diferentes experiências e pressupostos teóricos, levando a conclusões diferentes em relação aos mesmos dados, e comentários sobre o papel fundamental da intuição e da estética na ciência (WONG; HODSON, 2008, p. 126).

Visto que a prática científica contempla relações que fogem ao escopo do que se entende por um método científico – único e infalível – (como a conversação entre hipótese e experimentação) alguns objetivos do ensino de ciências são traçados na literatura. Estes objetivos visam o planejamento de um currículo mais eficaz, tanto do ponto de vista educacional quanto filosófico, capaz de descrever uma prática científica mais coerente com a sua realidade. De acordo com Hodson (1994), o ensino de ciências deve contemplar três aspectos principais:

- Aprendizagem das ciências: como aquisição e o desenvolvimento de conhecimentos teóricos.
- Aprendizagem sobre a natureza das ciências: o desenvolvimento da natureza e dos métodos da ciência, tomando consciência das interações complexas entre ciência e sociedade.
- A prática da ciência: desenvolvimento dos conhecimentos técnicos, éticos entre outros, sobre a investigação científica e a resolução de problemas.

Para que esses objetivos de aprendizagem sejam alcançados, é necessário escolher uma atividade de aprendizagem baseada na exploração, desenvolvimento e modificação das ideias dos alunos. Ademais, é preciso levar em conta que a aprendizagem é um processo, no qual os alunos constroem e reconstróem seu próprio entendimento à luz de suas experiências. Esses aspectos principais para o ensino de ciências, sugeridos por Hodson (1994), podem gerar debates e reflexões acerca de como se desenvolvem os conceitos físicos e, entre outras considerações, de que não há um método científico.

Isto é possível com discussões do desenvolvimento científico via história e filosofia da ciência, que podem gerar reflexões e debates acerca das imagens que se tem do trabalho científico (GIL PÉREZ *et al.*, 2001; FERNÁNDEZ *et al.*, 2002), auxiliar na compreensão de aspectos da Natureza da Ciência (NdC) e apresentar limitações quanto ao entendimento do método na ciência (MATTHEWS, 1995; PEDUZZI, 2011; 2005).

No que concerne à reflexão e compreensão do papel da experiência e a sua relação com a hipótese no processo construtivo da ciência, faz-se necessário especificar alguns tipos de experimentação. Para isso, pode-se inicialmente distinguir os experimentos de caráter qualitativo e quantitativo.

1.4. Experimentação Exploratória

Os filósofos e os historiadores da ciência da escola positivista descreviam a investigação científica através de experimentos quantitativos; o que importava eram as medições e os dados precisos. Em uma nova concepção filosófica (e histórica) passa-se a ressaltar, também e principalmente, a importância dos experimentos qualitativos que permitem analisar o conhecimento e seu desenvolvimento em uma perspectiva mais epistemológica. Conforme Ferreirós e Ordóñez (2002) os experimentos qualitativos, que antecedem a uma estrutura teórica estabelecida, ao menos no campo da física, desempenham um papel fundamental no processo de formação de conceitos.

Os estudos iniciais sobre o eletromagnetismo, com Oersted e Faraday, por exemplo, evidenciam a contribuição dos experimentos qualitativos na elaboração de novos conhecimentos científicos. Oersted delinea algumas concepções e noções sobre a relação eletricidade/magnetismo a partir de certos resultados experimentais. Faraday foi conduzido a novas “descobertas”, “estimulado pela leitura dos artigos que precisou consultar e intrigado, talvez, por alguns resultados

estranhos encontrados na repetição dos experimentos” (DIAS; MARTINS, 2004, p. 521). Esses experimentos, de cunho qualitativo, permitem que o fenômeno em questão seja refinado, acomodado e especificado com maior precisão (FERREIRÓS; ORDÓÑES, 2002). Na eletricidade do século XVIII, podem ser citados os estudos que contribuíram para a compreensão do conceito da repulsão elétrica e dos materiais isolantes e condutores, respectivamente desenvolvidos por Du Fay e Gray (ASSIS, 2011).

Steinle (1997) apresenta duas classificações à experimentação. Para ele, as experimentações são permeadas por uma teoria (*theory-driven*) – das quais possuem um pendor mais quantitativo – ou serem exploratórias – que avivam dimensões qualitativas. Os procedimentos em cada um dos casos, normalmente, abrangem alguns aspectos essenciais das experimentações realizadas na pesquisa científica, no entanto, o autor ressalta que outras classificações são possíveis.

As experiências do primeiro tipo são subordinadas por uma ‘teoria-orientada’ e, normalmente, denominadas tradicionais. Todo o procedimento é desenvolvido à luz de uma teoria bem estruturada. No entanto, como Steinle (2006; 1997) destaca, não é notoriamente claro o que exatamente se entende por teoria nesse contexto. Esse tipo de experimento não serve, necessariamente, apenas para corroborar teorias ou hipóteses. A determinação de um parâmetro numérico, por exemplo, ou o uso de teorias com aporte heurístico dentro da busca por um novo efeito, seriam igualmente dirigidos por uma “teoria-orientada” e, portanto, assim também classificados. Tipicamente, as experimentações do tipo *theory-driven* são realizadas a partir de expectativas específicas sobre os resultados possíveis. A própria rigorosidade experimental exclui de certa forma a possibilidade de resultados não pré-concebidos; não há flexibilidade experimental nesses casos, visto que todo o procedimento é, antes da execução/prática, estabelecido para um fim específico e só para este.

A segunda classe de experimentos são os exploratórios. Esse tipo de experimentação ocorre, normalmente, em períodos em que inexistente um corpo teórico científico bem definido, ao menos no campo de interesse. Ela é conduzida pelo desejo de obter regularidades empíricas elementares e “descobrir” conceitos e classificações adequadas. Apesar da sua autonomia quanto à teoria, esse experimento pode ser, e muitas vezes o é, sistemático e dirigido, inclusive por objetivos epistêmicos; entender, compreender, “descobrir”. Normalmente, esse tipo de experimentação caracteriza-se pela sua pluralidade metodológica. Dentre elas, a busca por uma regularidade empírica, a variação de um grande número de parâmetros experimentais (o tipo de material, as condições sob as quais se encontram...etc.), a análise de

quais parâmetros afetam o efeito/fenômeno em questão e quais são essencialmente necessários, e a possível formação de novos conceitos. As experimentações, do tipo *exploratória*, ressaltam a dinâmica entre hipótese e experimentação na construção do conhecimento científico; permitem variar, duvidar, analisar e, atentamente, se deparar com o inesperado.

Steinle (2006) argumenta que, a partir dos experimentos exploratórios é possível objetar a dicotomia entre os contextos da descoberta e da justificativa (DJ), e desta forma compreender melhor a construção da ciência e analisá-la no âmbito da sua gênese e da sua validação. Essa distinção foi apresentada, explicitamente, por Reichenbach (1938) e confrontada, contemporaneamente, sobretudo por filósofos e historiadores da ciência.

1.5. Os contextos da descoberta e da justificativa: primórdios da distinção DJ segundo Reichenbach

No livro “Experiência e Predição”, publicado em 1938, Reichenbach explicita a distinção entre o contexto da descoberta e o contexto da justificativa. Essa dicotomia fundamentava e legitimava a filosofia da ciência como um campo autônomo em relação a outras áreas do conhecimento, como a história da ciência, a sociologia e a psicologia.

Para Reichenbach (1938) a epistemologia possui três tarefas principais; a descritiva, a crítica e a consultiva. No processo de planejamento dessas tarefas, torna-se fundamental separar a epistemologia e a psicologia.

A epistemologia não considera os processos do pensamento na sua ocorrência real; essa tarefa é deixada inteiramente à psicologia. O que a epistemologia pretende é construir os processos de pensamento na forma do qual eles deveriam ocorrer se fossem classificados em um sistema consistente [logicamente] (...). A epistemologia, assim, considera um substituto lógico ao invés dos processos reais. Para este substituto lógico foi introduzido o termo reconstrução racional (REICHENBACH, 1938, p. 5-6).

Assim, independentemente da origem psicológica, a epistemologia preocupa-se com a avaliação do processo da investigação científica. Há, na perspectiva de Reichenbach, uma diferença significativa entre como o pensamento e o trabalho são apresentados à comunidade, e a forma pela qual foi desenvolvido subjetivamente. Consequentemente, o que o cientista

publica para os seus pares não é o que ele realizou e desenvolveu, mas uma reconstrução lógica da sua prática. Logo,

Se uma determinação mais conveniente deste conceito de reconstrução racional é desejada, poderíamos dizer que ela corresponde à forma em que os processos de pensamento são comunicados a outras pessoas, em vez da forma como eles são subjetivamente executados (...). Introduzo os termos contexto de descoberta e contexto de justificação para marcar essa distinção. Então temos que dizer que a epistemologia só se ocupa com a construção do contexto de justificação (REICHENBACH, 1938, p. 6-7).

Para Reichenbach (1953) o processo de descoberta escapa de uma análise lógica, já que não possui regras que permitam “construir uma máquina descobridora que assumiria a função criadora do gênio” (p. 211). O contexto da descoberta está relacionado, principalmente, com as origens psicológicas; as ideias. Já o contexto da justificação preocupa-se com os resultados científicos. Absolutamente rígido, omite qualquer aspecto humano da ciência, extingue qualquer subjetividade. Por conseguinte, a lógica só se preocupa com o contexto da justificativa, ou seja, em analisar as relações entre os fatos e as teorias.

De acordo com Shiemann (2006), Reichenbach não faz objeção quanto ao que o cientista irá publicar sobre o âmbito de sua pesquisa. No entanto, argumenta que determinados fatores, como a subjetividade e uma possível linguagem cotidiana utilizada, não atenderão à lógica. Assim, o domínio legítimo da epistemologia, que visa assegurar uma consideração cientificamente articulada dos conhecimentos humanos é, para ele, o contexto da justificação (BAGCE, 2011). Segundo Siegel (1980), Reichenbach não se preocupa com o quanto o contexto da justificativa pode ou não ser relevante e necessário para o contexto da descoberta (a dependência ou não do contexto da justificativa para o contexto da descoberta é irrelevante), no entanto nega a relevância do contexto da descoberta para a justificação. A filosofia da ciência pode justificar as teorias trazidas das ciências naturais, mas as ciências naturais por si, não podem justificá-las (SCHIEMANN, 2006). Essa justificação enfatiza, então, o caráter normativo da epistemologia em contraste com as disciplinas fatuais. Nesta perspectiva, a filosofia da ciência, entidade puramente normativa, objetiva estabelecer as regras que devem reger qualquer atividade que mereça ser chamada de ciência (ARABATZIS, 2006).

Segundo Hoyningen-Huene (1987), a diferença entre o normativo e o fatural pauta-se na diferença de perspectiva; a perspectiva fatural é caracterizada pelo aspecto descritivo, enquanto a perspectiva normativa prima pelo aspecto avaliativo do conhecimento. No entanto, vale ressaltar que Reichenbach admite que no contexto da descoberta seja possível haver aspectos normativos; entretanto as perspectivas normativas diferem em cada contexto; “mas ele [Reichenbach] não rejeita os aspectos formais ou normativos da descoberta” (BAGCE, 2011, p. 87).

Apesar de outros filósofos da ciência como Carnap e Popper já utilizarem a distinção entre esses contextos, foi com Reichenbach que eles, explicitamente, foram dicotomizados. A filosofia da ciência, na contemporaneidade de Reichenbach, imersa no empirismo lógico, não visava trabalhar e analisar os processos da pesquisa científica. O essencial pautava-se nos resultados científicos; as “descobertas” (como produto) realizadas, as teorias elaboradas, os métodos (lógicos) utilizados e a justificação empírica que derivam da teoria.

Assim, o contexto da descoberta não era objeto da epistemologia ou da filosofia da ciência, mas da psicologia, da história e da sociologia. A gênese das teorias não teria interesse algum para os defensores da epistemologia científica na década de 30 (ECHEVERRIA, 1995, p. 53).

A partir da década de 1960, entretanto, iniciam-se reações a esta dicotomia em autores como Hanson, Thomas Kuhn, Polanyi Michael e Paul Feyerabend, principalmente no que concerne a separação entre a filosofia e a história da ciência.

1.6. Críticas à dicotomia entre os contextos DJ à luz da moderna filosofia da ciência

Hoyningen-Huene (1987) apresenta cinco argumentos convergentes, veiculados na literatura, entre os que criticam a dicotomia DJ:

(i) O contexto da descoberta e o contexto da justificação são processos temporalmente indistintos. Essa argumentação é, normalmente, sustentada com o uso da história da ciência, especificamente com a utilização de um caso histórico no qual não há uma distinção temporal entre os contextos.

(ii) O contexto da descoberta possui aspectos lógicos. Essa afirmação afronta a concepção de que o contexto da descoberta deve ser analisado somente pelos campos empíricos do conhecimento, como a história, a psicologia e a sociologia. Essa reivindicação integra-se com a do próximo item.

(iii) O contexto da descoberta e o contexto da justificação são ambíguos. Uma vez que descobrir algo significa adquirir conhecimento e, conseqüentemente, justificar (implícita ou explicitamente) essa nova aquisição, a distinção entre os contextos adquire peculiaridade dúbia. Neste sentido, alguns autores defendem que, se uma distinção é demandada ela deve, ao menos, discriminar três processos; a geração, a procura e o teste (por conseguinte a aceitação). No entanto, essas considerações também recaem, de certo modo, a distinção entre aspectos normativos e fatuais.

(iv) A justificação possui aspectos sociológicos e psicológicos. Nesse discurso, cujo principal proponente é Kuhn, argumenta-se que o contexto da justificativa possui elementos sociológicos – no âmbito da escolha social de teorias pela comunidade que inclusive varia de uma comunidade científica à outra, ou de uma época à outra – e elementos psicológicos – visto que cada membro de uma comunidade pode interpretar diferentemente determinados valores. Kuhn argumenta que, as decisões fundamentais são justificadas no sentido das escolhas feitas de acordo com valores específicos dos sujeitos ou de uma comunidade, no âmbito do paradigma do qual aderem.

(v) A psicologia e outras disciplinas empíricas são relevantes à epistemologia. Nesta perspectiva, argumenta-se que disciplinas fatuais podem ser importantes para a epistemologia. Elas podem oferecer elementos que permitem um melhor entendimento do conhecimento, uma vez que analisa seu processo.

Essa pluralidade de críticas à distinção DJ, segundo Hoyningen-Huene (1987), acaba debilitando a defesa dos que sustentam a análise concomitante dos contextos e, conseqüentemente, favorecendo os que se opõem a ela. Ou seja, segundo esse autor, quanto menor a objetividade, centrada em um único argumento opositor à dicotomia, mais enfraquecidas se tornam essas críticas. Uma das objeções do autor é a pouca ênfase dada à diferença entre o fatural e o normativo. Apesar da ressalva de Hoyningen-Huene, sustenta-se, no presente artigo, que a multiplicidade de argumentos contra a dicotomia é um forte elemento para evidenciar a complexidade

envolvida nos contextos. Além do mais, as diferentes proposições argumentativas apresentadas na literatura permitem analisar a ciência como um processo de desenvolvimento e reconhecê-la, não apenas como um produto – obtido através de reconstruções unicamente lógicas e normativas –, mas também através de seus aspectos subjetivos.

Assim, as críticas referidas à distinção DJ não necessariamente se pautam na diferença entre o que o cientista publica e a maneira com a qual procede na sua pesquisa; um dos aspectos explicitados por Reichenbah para sustentar sua argumentação. Por ter sido motivo para grandes reflexões na ciência, as críticas a essa dicotomia são de diferentes vertentes; abrangem outros aspectos que os contextos podem suscitar, como os apresentados nos cinco itens anteriores.

De acordo com Arabatzis (2006), a distinção também tem sido confrontada sob o argumento de que o tipo de raciocínio utilizado na atividade da descoberta não difere, fundamentalmente, do raciocínio utilizado na sua justificativa. Uma vez que a geração de hipóteses e a proposição de teorias visam a compreensão de um fenômeno e, de modo consequente, a resolução de um determinado problema, a investigação científica abrange muitas fases, cada qual envolve, mesmo que parcialmente, uma justificativa. Dessa forma, os contextos da descoberta e da justificativa são entrelaçados de tal maneira que não permitem, satisfatoriamente, uma análise dicotômica.

A perseverança na dicotomia DJ por parte dos filósofos, historiadores e, até mesmo, dos cientistas, influencia na imagem de ciência que se tem. Pela supremacia dos resultados científicos, e a secundariedade à sua gênese, o ensino de ciências acaba por apresentar a prática científica como um processo estático, neutro, aproblemático, ahistórico, individualista e rígido (GIL PÉREZ *et al.*, 2001). A separação dos contextos não interfere só sobre a realidade científica, mas sobre a influência dessa percepção no ensino. A distinção DJ, assim, transgride o trabalho científico, empobrece a sua complexidade e distancia o ensino de ciências das discussões sobre a ciência.

A visão rígida (algorítmica, exata, infalível) (GIL PÉREZ *et al.*, 2001), por exemplo, transpassa uma concepção de ciência subsidiada pelo “método científico”, desmerecendo a conversação entre a experimentação e as hipóteses e desprezando qualquer papel subjetivo à ciência; as casualidades, as criatividades, as dúvidas, os valores e os erros. No entanto, como argumenta Thomas Kuhn (2011a, 2011b), os elementos subjetivos – a princípio, pertencentes ao contexto da descoberta – são importantes e estão presentes nas tomadas de decisões de uma teoria. Nessa vertente, o

autor apresenta elementos do período da ciência normal que enfraquecem a distinção DJ defendida por muitos filósofos ao longo da história.

1.7. Kuhn e a distinção DJ

Em *A estrutura das Revoluções Científicas*, publicada em 1962, Kuhn tece críticas à distinção entre o contexto da descoberta e da justificativa (ECHEVERRIA, 1995; SCHIEMANN, 2006; STURM; GIGERENZER, 2006), principalmente no que concerne à separação entre disciplinas fatuais – como a história da ciência – e as normativas – como a filosofia da ciência. Na introdução do livro o autor escreve:

Dizemos muito frequentemente que a história é uma disciplina puramente descritiva. Contudo, as teses sugeridas acima são frequentemente interpretativas e, algumas vezes, normativas. Além disso, muitas de minhas generalizações dizem respeito à sociologia ou à epistemologia. Pode até mesmo parecer que (...) eu tenha violado a muito influente distinção contemporânea entre ‘o contexto da descoberta’ e o ‘contexto da justificação’ (KUHN, 2011a, p. 27).

Kuhn admite que a escolha de teorias perpassa por processos que são considerados – por muitos filósofos e no âmbito da distinção – “irracionalis”⁴ (ECHEVERRIA, 1995). Admitindo que, na realidade do cientista não há a dicotomia entre os contextos da descoberta e da justificativa, sua obra recebe diversas críticas. Para contestá-las, Kuhn (2011b) apresenta no livro *A tensão essencial* o capítulo *Objetividade, juízo de valor e escolha de teoria*, cuja finalidade é responder às acusações feitas por filósofos que argumentaram que ele atribuiu aos processos subjetivos a tomada de decisão de uma teoria.

Alguns cientistas valorizam mais do que outros a originalidade, e por isso são mais propensos a assumir riscos. Alguns preferem teorias mais abrangentes e unificadas a soluções exatas e detalhadas dos problemas, mas de abrangência aparentemente menor. Fatores diferenciais como esses são descritos por meus críticos como subjetivos e contrastados com os critérios

⁴“Nenhum processo essencial ao desenvolvimento científico pode ser rotulado de "irracional" sem que se cometa enorme violência ao sentido do termo” (Kuhn, 2006, p.160).

compartilhados, ou objetivos, com que comecei aqui [precisão, consistência, abrangência, simplicidade, fecundidade] (...) Meu argumento, portanto, é que toda escolha individual entre teorias rivais depende de uma mescla de fatores objetivos e subjetivos, ou de critérios compartilhados e individuais. Uma vez que os últimos não figuravam de costume na Filosofia da Ciência, a ênfase que dei a eles dificultou que meus críticos percebessem minha crença nos primeiros (KUHN, 2011b, p. 344-345).

Kuhn (2011a) argumenta que todas as vezes que tentou aplicar as distinções “mesmo grosso modo, às situações reais nas quais o conhecimento é obtido, aceito e assimilado, fê-las parecer extraordinariamente problemáticas” (p. 28). A realidade do cientista (o processo de investigação científica) não condiz com a divisão imposta por muitos filósofos; fatores individuais variáveis (de diferentes naturezas) desempenham um papel na justificativa de teorias e não somente nas condições fatuais da descoberta (HOYNINGEN-HUENE, 1993).

Segundo Hoyningen-Huene (1993), admitindo que elementos individuais interferiram tanto na justificação quanto na descoberta do conhecimento, a dicotomia dos contextos só seria plausível e útil, de acordo com Kuhn, se esses fatores individuais fossem imperfeitos e pudessem ser suprimidos de *qualquer* análise (mas, na realidade e segundo Kuhn, isso não é possível, logo, esse é um viés que confronta a dicotomia). Um dos equívocos que dificulta a compreensão dos contextos está no privilégio cedido à descrição simplificada da construção do conhecimento; o resultado científico e não o seu processo.

Os filósofos, na perspectiva da ‘antiga’ filosofia da ciência, admitem que valores pessoais possam interferir na construção do conhecimento ou na escolha de teorias; no entanto, remetem tais elementos ao contexto da descoberta, sendo assim irrelevantes para a objetividade científica. Kuhn (2011b, p. 345) questiona-se: “como os filósofos da ciência puderam ignorar por tanto tempo os elementos subjetivos que, como eles mesmos admitem, participam regularmente das escolhas efetivas de teorias feitas por cientistas individuais?” O autor prossegue perguntando “por que tais elementos lhes parecem um sinal apenas da fraqueza humana, e não da natureza do conhecimento científico?”.

Os filósofos, que concordam com a distinção, buscam um “algoritmo capaz de ditar uma escolha racional e unânime” (KUHN, 2011b, p. 345). No entanto, a intersubjetividade na escolha de uma teoria por uma comunidade científica não implica que os membros da mesma, no

âmbito de suas decisões individuais, não consideraram relevantes aspectos subjetivos e, muitas vezes determinantes, dos seus pares, ou seja, a decisão final foi coletiva, mas as razões individuais podem ter sido distintas;

[os] filósofos da ciência mais tradicionais, [compartilham] a suposição de que o problema de escolha de teorias pode ser resolvido por técnicas semanticamente neutras” (KUHN, 2006, p. 160).

Uma vez que esses elementos individuais são considerados, não é plausível para os críticos de Kuhn ponderarem que a sua visão quanto à dicotomia é apenas uma *descrição idealizada* (argumentação utilizada pelos seus opositores às suas considerações). “A meu ver, portanto, a maioria dos filósofos da ciência considera, hoje, que o algoritmo buscado tradicionalmente é um ideal não de todo atingível” (KUHN, 2011b, p. 345).

Na história da ciência é possível constatar que as considerações pertinentes ao contexto da descoberta são também relevantes para a justificação e é por isso que é tão difícil construir aquela máquina que substituiria o “gênio”, conforme apontado por Reichenbach. Dado que a ciência é ‘humana’, torna-se difícil o reconhecimento dos elementos cognitivos que foram decisivos na escolha, na proposição e na gênese de teorias. Essas “escolhas que apresentam problemas são aquelas que os filósofos da ciência precisam entender” (KUHN, 2011b, p. 347-348). Logo, é preciso que haja uma relação entre as disciplinas fatuais e normativas, uma vez que uma não deveria ser unicamente normativa ou fatural. A distinção DJ expressa, para Kuhn, uma visão equivocada da história da ciência e de outras disciplinas afins, como a sociologia da ciência (STURM; GIGERENZER, 2006).

Com que direito, e baseado em que critérios, o observador/historiador ou observador/sociólogo diz ao filósofo quais fatos da vida científica precisa incluir em sua reconstrução, e quais pode ignorar? A fim de evitar longas reflexões sobre a filosofia da história e da sociologia, restrinjo-me a uma resposta pessoal. Não estou menos preocupado com a reconstrução racional, com a descoberta dos elementos essenciais, do que os filósofos da ciência. Meu objetivo, também, é uma compreensão da ciência, das razões de sua particular eficácia, do estatuto cognitivo de suas teorias. Ao contrário, porém, da maioria dos filósofos da ciência, comeci

como um historiador da ciência, examinando atentamente os fatos da vida científica. Tendo descoberto, no decorrer do processo, que muito comportamento científico, até mesmo o dos maiores cientistas, infringia persistentemente cânones metodológicos aceitos [distinção D], por exemplo] (...) (KUHN, 2006, p. 162).

Kuhn não pretendeu eliminar os aspectos normativos do âmbito da epistemologia em defesa de uma abordagem meramente descritiva, mas procurou romper com o idealismo de que a racionalidade está associada apenas à normatividade, aos processos lógicos e a algoritmos devidamente justificáveis. O que Kuhn defende é que algumas questões filosóficas alegadamente puras, tais como aquelas sobre a dinâmica de teorias ou sobre o progresso científico, necessariamente, envolvem aspectos sociológicos. Por outro lado, entende-se que o tratamento de algumas questões sociológicas, consideradas puras, tais como os valores que regem o comportamento das comunidades científicas, envolve também aspectos epistemológicos (HUYNINGEN-HUENE, 1992).

Não há, ao menos satisfatoriamente, como separar então a gênese do conhecimento da sua validade, visto que no processo de formação do conhecimento ensejam-se escolhas conceituais. Assim, o processo é sempre relativo a um quadro conceitual que é tomado como dado (STEINLE, 2006). Quando não há esse quadro conceitual estabelecido, cria-se um, novamente justificando algumas escolhas à luz de pressupostos que interferem no que é ou foi descoberto.

1.8. A relação concomitante entre os contextos DJ: possibilidade para discussões sobre ciência no ensino

As correntes de pensamento do século XX, no âmbito histórico e filosófico, ampliaram a noção que se tem de ciência. Isso implicou em admitir que diferentes elementos fazem parte da atividade científica; os erros, a casualidade, a interação humana, as ideias, as hipóteses. Um dos enfoques desta nova perspectiva defende a importância de reconhecer o papel construtivo da experimentação na construção do conhecimento (HACKING, 2012).

As novas preocupações das diferentes funções da experimentação, sobretudo as qualitativas, iniciadas nos anos de 1980, contribuíram para a compreensão da importância epistemológica do experimento na construção da ciência. As reconsiderações nesse domínio acentuam a relevância da consideração do processo de desenvolvimento científico e

não apenas dos seus resultados. A apreciação de uma experimentação, do tipo *exploratória* (STEINLE, 1997; 2002) por exemplo, evidencia, dentre outras coisas, a incoerência da dicotomia DJ; uma vez que para compreendê-la é preciso analisar a ciência no âmbito da sua gênese e da sua validação.

O ensino de ciências, por sua vez, ainda é majoritariamente orientado por uma concepção positivista da ciência. A perseverança, ainda existente, na dicotomia DJ por parte de filósofos, historiadores e, até mesmo, de cientistas, influencia a imagem de ciência disseminada nas salas de aula. Pela hegemonia dos resultados científicos e a pouca ênfase atribuída à gênese do conhecimento, o ensino de ciências acaba por apresentar a prática científica como um processo estático, neutro, aproblemático, ahistórico, algorítmico, individualista e rígido (GIL PÉREZ *et al.*, 2001). A distinção DJ, nesta perspectiva, subestima o trabalho científico, empobrece a sua complexidade e distancia o ensino de ciências das discussões *sobre* a ciência. Não raramente, os manuais didáticos detêm-se apenas nos resultados científicos; apresentando uma reconstrução lógica do desenvolvimento científico e omitindo a natureza do seu procedimento. Consequentemente, em diferentes níveis de ensino, muitos alunos acabam se deparando, entre outras coisas, com uma ciência estática e infalível, na qual inexistem fatores subjetivos.

Quando se explicita o processo científico, verifica-se que não há uma metodologia universal, ou seja, a ciência não se constrói seguindo um método; ela é muito mais do que um produto, fruto de uma reconstrução lógica. Existem valores individuais e coletivos que norteiam e influenciam o desenvolvimento científico. Kuhn (2011) analisou a ciência, por meio de sua história, como um processo, sobretudo, construído humanamente e, portanto, passível de subjetividade. Suas contribuições ressaltam ainda, e dentre outras coisas, a relevância de uma análise da ciência compatível com suas atividades; olhar a ciência como ela realmente ocorre. Em suma, ele explicita que os argumentos ditos 'lógicos' ou 'justificáveis' não podem ser considerados mais relevantes e incomparáveis aos condicionamentos psicológicos e sociológicos declarados pertencentes ao contexto da descoberta que, nessa perspectiva, são tão importantes e constituintes à atividade científica que os primeiros. Hacking (2012) ressaltou, por exemplo, o reconhecimento da ciência pelo que ela realmente é: muitas vezes uma complexa relação entre pensamento e ação, teoria e experimentação. Os filósofos contemporâneos buscam explicitar, em síntese, que não é possível separar-se os contextos DJ quando se analisa a Natureza da Ciência.

Salienta-se que a própria compreensão e ampliação do conceito de uma descoberta, também pode reunir elementos para se contrapor a distinção DJ. O contexto da descoberta expõe elementos importantes tanto para as disciplinas fatuais, como a história da ciência, quanto para disciplinas normativas, como a filosofia. Assim, a explicitação de certos aspectos relativos a sua complexidade e a análise dos pormenores de seu contexto, permite evidenciar que esse conceito extrapola o contorno da distinção.

Por fim, como bem enfatiza Lakatos (2009), parafraseando Kant: a filosofia da ciência sem a história da ciência é vazia; a história da ciência sem a filosofia da ciência é cega. Qualquer análise dos pormenores da investigação científica implica em apreciar o contexto da descoberta sob uma perspectiva histórica e filosófica e estimar, concomitantemente, as relações entre os contextos da descoberta e da justificativa. A partir dessa relação intrínseca entre os contextos DJ é possível evidenciar a dinâmica existente entre convicções teóricas e experimentações na pesquisa científica.

Referências

ARABATZIS, T. On the Inextricability on the context of Discovery and the context of justification. **Revisiting Discovery and Justification**, p. 215-230, 2006.

ASSIS, A. K. T. **Os fundamentos experimentais e históricos da eletricidade**. São Paulo: Livraria da Física, 2011.

BAGCE, S. Reichenbach on the relative a priori and the context of discovery/justification distinction. **Synthese**, v. 181, n. 1, p. 79–93, 2011.

BRAGA, M.; GUERRA, A.; REIS, J. C. A física experimental numa perspectiva histórico-filosófica. In: PEDUZZI, L. O. Q.; MARTINS, A. F.; FERREIRA, J. M. H. (Orgs.) **Temas de História e Filosofia da Ciência no Ensino**. Natal: EDUFRN, 2012.

CALIMAN, L. V. E ALMEIDA, R. G. Entrevista com Ian Hacking (por Paul Kennedy e David Cayley). **Psicologia & Sociedade**, v. 21, n. 3, p. 465-470, 2009, p. 270.

CHALMERS, A. F. **O que é ciência afinal?** Editora Brasiliense: 1993, p. 43.

DIAS, V. S.; MARTINS, R. A. Michael Faraday: O Caminho da Livraria À Descoberta da Indução Eletromagnética. **Ciência & educação**, v. 10, n. 3, p. 517-530, 2004, p. 521.

ECHEVARRÍA, J. **Filosofía de la ciencia**. Ediciones Akal, 1995, p. 53.

FERNÁNDEZ, I.; GIL, D.; CARRASCOSA, J.; CACHAPUZ, A.; PRAIA, J. Visiones Deformadas de La Ciencia Transmitidas por la Enseñanza. **Enseñanza de las ciencias**, p. 477-488, 2002.

FERREIRÓS, J.; ORDÓÑEZ, J. Hacia una filosofía de la experimentación. **CRÍTICA**, Revista Hispanoamericana de Filosofía. v. 34, n. 102, p. 47-86, 2002.

GARCIA, A. E. G.; ESTANY, A. Filosofía de las prácticas experimentales y enseñanza de las ciencias. **Praxis Filosófica**, n. 31, p. 7-24, 2010.

GIL PÉREZ, D.; MONTORO, I. F.; ALÍS, J. C.; CACHAPUZ, A.; PRAIA, J. Para uma imagem não deformada do trabalho científico. **Ciência & Educação**, v. 7, n. 2, p. 125-153, 2001.

GRANÉS, J. S. **La gramática de una controversia científica**: El debate alrededor de la teoría de Newton sobre los colores de la luz. Universidad Nacional de Colombia. EDITORIAL UNIBIBLOS: 2001.

HACKING, I. **Representar e Intervir**: tópicos introdutórios de filosofia da ciência natural. Rio de Janeiro: EdUERJ, 2012.

HACKING, I. Entrevista com Ian Hacking (por Paul Kennedy e David Cayley). [2007]. **Psicologia & Sociedade**, v. 21, n. 3, p. 465-470, 2009, p. 468.

HODSON, D. Teaching and Learning about Science Language: Theories, Methods, History, Traditions and Values. Sense Publishers: 2009.

HODSON, D. Hacia un enfoque más crítico Del trabajo de laboratorio. **Enseñanza de las ciencias**, v.12, n.3, p. 299-313, 1994.

HOYNINGEN-HUENE, P. Reconstructing scientific revolutions: Thomas S. Kuhn's. **Philosophy of science**. University of Chicago Press, 1993.

HOYNINGEN-HUENE, P. The Interrelations between the Philosophy, History and Sociology of Science in Thomas Kuhn's Theory of Scientific Development. **The British journal for the philosophy of science**, v. 43, n. 4, p. 487-501, 1992.

HOYNINGEN-HUENE, P. Context of Discovery end Context of Justification. **Studies in History and Philosophy of Science**, v.18, n. 4, p. 501-515, 1987.

KÖHNLEIN, J. F. K.; PEDUZZI, L. O. Q. **Sobre a concepção empirista-indutivista no ensino de ciências**. Trabalho apresentado no VIII Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Física. Águas de Lindóia-SP, 2002.

KUHN, T. S. **A estrutura das revoluções científicas**. São Paulo: Perspectiva, 2011a.

KUHN, T. S. **A tensão essencial: estudos selecionados sobre tradição e mudança científica**. São Paulo: Unesp, 2011b.

KUHN, T. S. **O caminho desde a estrutura**. Livraria UNESP, 2006, p. 104.

LAKATOS, I. History of science and its rational reconstructions. **In: Howson, C. (org.)**. Method and appraisal in the physical sciences. Cambridge, 2009.

MATTHEWS, M. R. História, filosofia, e ensino de ciências: a tendência atual de reaproximação. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 12, n. 3, p. 164-214, 1995.

McCOMAS, W, F.; ALMAZROA, H.; CLOUGH, M. The nature of science in science education: an introduction. **Science & Education**, v. 7, p. 511-532, 1998.

MENDONÇA, A. L. O. Ian Hacking – uma ponte entre a tradição e a pós-modernidade. In: **Hacking, I. Representar e Intervir: tópicos introdutórios de filosofia da ciência natural**. Rio de Janeiro: EdUERJ, 2012.

MOREIRA, A. M.; OSTERMANN, F. Sobre o ensino do método científico. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v.10, n. 2, p. 108-117, 1993.

NEWTON, I. A letter of Mr. Isaac Newton, professor of the Mathematicks in the University of Cambridge; containing his new theory about light and colours; sent by the author to the publisher from Cambridge, Febr. 6. 1671/72; in order to be communicated to the R. Society', **Philosophical Transactions of the Royal Society**, v.6, n.80, p. 3075-3087, 1672, p. 3076. Traduzido em SILVA, C. C., & MARTINS, R. A. A "Nova teoria sobre luz e cores" de Isaac Newton: uma tradução comentada. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v.18, p. 313- 27, 1996.

PAIXÃO, M. F. C. S. **História e Filosofia da Ciência: Construir uma Nova Imagem da Ciência na Formação de Professores**. Instituto Politécnico de Castelo Branco: Escola Superior de Educação. Castelo Branco, 2003.

PEDUZZI, L. O. Q. **Evolução dos Conceitos da Física**. 1. ed. Florianópolis: UFSC/EAD/CED/CFM, 2011. 130 p. (ISBN: 978-85-99379-92-9).

PEDUZZI, L. O. Q. Sobre a utilização didática da História da Ciência. In: Pietrocola, M.(org.). **Ensino de física: conteúdo, metodologia e epistemologia numa concepção integradora**. Florianópolis: Editora da UFSC, 2005.

PRAIA, J.; CACHAPUZ, A.; GIL PEREZ, D. A hipótese e a experiência científica em educação em ciência: contributos para uma reorientação epistemológica. **Ciência & Educação**, v. 8, n. 2, p.253-262, 2002a.

PRAIA, J. F.; CACHAPUZ, A. F. C.; GIL PÉREZ, D. Problema, teoria e observação em ciência: para uma reorientação epistemológica da educação em ciência. **Ciência & Educação**, v. 8, n. 1, p. 127-145, 2002b.

REICHENBACH, H. *La filosofia científica*. México: Fondo de cultura económica, 1953, p. 211.

REICHENBACH, H. **Experience and Prediction**. Chicago: University of Chicago Press, 1938.

REZENDE, F. S.; FERREIRA, L. N. A.; QUEIROZ, S. L. Concepções a respeito da construção do conhecimento científico: uma análise a partir de textos produzidos por estudantes de um curso superior de química. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, v. 9, n. 3, p. 596-617, 2010.

SCHIEMANN, G. Inductive justification and discovery. On hans reichenbach's foundation of the autonomy of the philosophy of science. In: Schickore, J.; Steinle, F (eds.). **Revisiting Discovery and Justification**, v. 14, p. 23–39, 2006.

SIEGEL, H. Justification, Discovery and the Naturalizing of Epistemology. **Philosophy of Science**, v. 47, n. 2, p. 297-321, 1980.

SILVA, C. C.; MARTINS, R. A. A Nova teoria sobre luz e cores de Isaac Newton: uma tradução comentada. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 18, n. 4, p. 313-27, 1996.

STEINLE, F. Concept formation and the limits of justification: “Discovering” the two electricities. **Revisiting Discovery and Justification**, v. 14, p.183-195, 2006.

STEINLE, F. Experiments in History and Philosophy of Science. *Perspectives on Science*, v. 10, n. 4, p. 408-432, 2002.

STEINLE, F. Entering new fields: exploratory uses of experimentation. **Philosophy of Science**, v. 64, 1997.

STURM, T.; GIGERENZER, G. How can we use the distinction between discovery and Justification? On the weaknesses of the strong programme in the sociology of science. . In: **Schickore, J.; Steinle, F (eds.)**. *Revisiting Discovery and Justification*, v. 14, p. 133-158, 2006.

WONG, S. L.; HODSON, D. From the Horse's Mouth: What scientists Say About Scientific Investigation and Scientific Knowledge. **Science Education**, Wiley Periodicals, p. 109-130, 2008.

CAPÍTULO 2

A estrutura conceitual e epistemológica de uma descoberta científica: reflexões para o ensino de ciências

2. A estrutura conceitual e epistemológica de uma descoberta científica: reflexões para o ensino de ciências¹

The conceptual and epistemological structure of a scientific discovery: reflections for science teaching

Resumo

Este artigo busca explicitar a estrutura conceitual e epistemológica de uma descoberta científica de modo a contrapor a dicotomia entre os contextos da descoberta e da justificativa, perpetuada por muito tempo na esfera científica. Para tanto, apresenta as ponderações de Hanson, Kipnis e Kuhn sobre esse tema. No ensino de ciências, discussões acerca do processo de uma descoberta ainda são raramente existentes. Desta forma, normalmente, são disseminadas várias imagens inadequadas sobre a ciência. Uma análise da terminologia descoberta nos livros didáticos aprovados no PNLD/2012 evidencia as concepções de ciência que se pode transmitir no ensino quando se utiliza, de maneira ampla e inadvertidamente, esse termo. Por fim, procura argumentar que o contexto da descoberta possui elementos complexos e lógicos, e está, de forma intrínseca, relacionado ao contexto da justificação.

Palavras-chave: Descoberta científica. Ensino de ciências. Livro didático. Contextos da descoberta e da justificativa.

Abstract

This article seeks to clarify the conceptual and epistemological structure of a scientific discovery in order to oppose the dichotomy between the contexts of discovery and justification, long perpetuated in the scientific sphere. It presents the weights of Hanson, Kuhn and Kipnis on this topic. In science education, discussions about a discovery process are rarely available. This way are usually disseminated several inappropriate images of science. An analysis of the discovery terminology in textbooks approved in PNLD/2012 shows the science conceptions that can be transmitted when those are used in teaching, broadly and inadvertently this termination. Finally, seek to argue that the context of discovery has complex and logic elements, and is intrinsically related to the context of justification.

¹Parte deste artigo foi apresentado no V Encontro Estadual de Ensino de Física - RS, Porto Alegre, 2013. O trabalho encontra-se disponível em: http://www.if.ufrgs.br/mpef/5eeefis/V_EEEFis-RS/Atas_V_EEEFis_RS.pdf

Keywords: Scientific discovery. Science education. Textbook. Contexts of discovery and justification.

2.1. Introdução

Em uma investigação científica, o estudioso elabora e testa hipóteses, erra, passa por situações inesperadas, observa, argumenta, interpreta etc., até que, ao final desse processo, diz-se que ele *descobriu algo* – em casos específicos, pois nem sempre uma investigação científica leva a uma descoberta. Ao final e durante essa investigação, é preciso criar uma justificativa – argumentos – para a pesquisa realizada, bem como para seus resultados. Dessa forma, em muitos casos, as questões relativas à gênese do conhecimento ofuscam-se diante da transcrição da validade do corpo teórico (STEINLE, 2006).

O desenvolvimento de um conhecimento científico não é tão simples, como muitas vezes se deixa transparecer. No ato de descobrir, o estudioso justifica suas ações, seus passos e seus progressos, seja divulgando explicitamente seu trabalho à comunidade científica ou compartilhando seus argumentos com os pares de forma indireta através de conversas, cartas, por exemplo. Todo argumento requer ‘verificação’, ‘confirmação’, ‘observação’, ‘interpretação’, ‘hipóteses’ que fazem parte da sua estrutura conceitual, ou seja, da estrutura da descoberta científica (HANSON, 1967). Assim, é imprescindível que se entenda e reconheça como algo ocorre e o que ele é para, de fato, se chegar a uma descoberta científica (KUHN, 2011a; 2011b).

Os filósofos da ciência, com pendores mais positivistas, ignoraram por muito tempo o contexto da descoberta. Sob a alegação de que esse contexto não possui elementos lógicos devendo, portanto, ser analisado por disciplinas fatuais, excluíram a descoberta de suas análises sobre a prática científica. No entanto, esses filósofos pouco podem discorrer sobre uma descoberta, visto que não analisaram sua natureza, sua essência, seu pormenor. Contudo, aqueles filósofos mais historicistas observaram que, ao analisar os processos da construção do conhecimento, não seria plausível admitir que os contextos da descoberta e o contexto da justificativa (DJ) fossem distintos e independentes um do outro; como por muito tempo se perpetuou no campo histórico e filosófico da ciência, principalmente, pela explicitação da distinção entre o procedimento científico e a reconstrução lógica do conhecimento apresentada à comunidade científica por Reichenbach em 1938, por exemplo. A dicotomia entre os contextos DJ delega ao contexto da justificativa maior

relevância epistêmica. Todavia, como será discutido neste artigo, o contexto da descoberta possui uma estrutura conceitual e epistemológica tão relevante à epistemologia e à filosofia da ciência, quanto os resultados científicos. Ademais, de acordo com a moderna filosofia da ciência, esses dois contextos não podem – a menos que se avenge equivocadamente à ciência deturpações sobre a sua natureza – ser distintos e analisados separadamente.

Conforme Arabatzis (2006):

(...) a justificativa da hipótese seria uma característica constitutiva da descoberta. O contexto da descoberta é “carregado” com o contexto da justificativa, porque “descoberta” é um termo que se refere a uma conquista epistêmica: se há sucesso em descobrir algo então, sem dúvida, esse algo existe (p. 217).

Uma das objeções, à luz da filosofia contemporânea, à dicotomia DJ argumenta que uma descoberta científica não possui aspectos lógicos e por isso não revela interesse para a filosofia da ciência e pode, claramente, ser distinta da justificação do conhecimento. Nessa perspectiva, este artigo busca explicitar a complexidade conceitual e epistêmica de uma descoberta científica afim de, sobretudo, contrapor a dicotomia entre os contextos DJ, perpetuada por muito tempo na esfera epistemológica e científica. Para tanto, apresenta as considerações de uma descoberta conforme Hanson, Kipnis e Kuhn. A seguir, discorre sobre uma análise desenvolvida sobre a *terminologia descoberta* presente em um segmento da eletricidade nos livros didáticos aprovados pelo PNLD/2012. Essa análise evidencia as imagens de ciência que se pode transmitir no ensino de ciências quando se utiliza, de maneira ampla e geral, esse termo. Por fim, busca-se argumentar que o contexto da descoberta possui elementos complexos e lógicos – e está, de forma intrínseca, relacionado ao contexto da justificação – demandando, portanto, uma análise pormenorizada do seu papel no desenvolvimento científico.

2.2. Hanson e a estrutura conceitual e epistemológica das descobertas

Hanson (1967) discute e exemplifica a complexidade conceitual de uma descoberta. Argumenta que os conceitos de ‘verificação’, ‘observação’ ou ‘hipótese’, em uma perspectiva fatural (empírica), expressam o que os cientistas fazem; no entanto também podem designar o que a ciência é.

Dessa forma, admite ser um equívoco pensar que a “descoberta nada tem haver com a estrutura conceitual dos argumentos e das teorias científicas” (p. 323).

No artigo *Uma anatomia da descoberta*, o autor explicita o significado da descoberta de um X, de X, daquele X e de X como Y, a fim de apresentar os diferentes eventos, estruturas e processos de uma descoberta. Ainda, apresenta diferentes categorizações de uma descoberta: “back-into”, “puzzle-out”, “subsume and reticulate” e “trip-over”, destacando a complexidade do contexto e a importância da sua análise filosófica. Dessa forma, admite ser um equívoco pensar que a “descoberta nada tem haver com a estrutura conceitual dos argumentos e das teorias científicas” (p. 323). Afinal, como adverte, “um conceito não analisado é um conceito desconhecido” (p. 321).

Na descoberta de *um* X, sobressaem-se elementos como objetos-nomes, processos ou eventos que possuem suas particularidades; esses valores outorgam atributos definidos à descoberta. Esse X remete-se, por exemplo, à descoberta de um planeta, de uma oxidação, de uma colisão. Em 1731, William Herschel descobriu *um* X; o planeta Urano². Envolvido no trabalho de mapear a esfera celeste, Herschel, enquanto se concentrava em uma determinada área celeste, deparou-se com a observação de um objeto discoidal que aparentava ser esverdeado e de sexta-magnitude. Com interesse nessa nova constatação, duas noites após as primeiras observações percebeu que o disco havia se movido. Desta forma, concluiu se tratar de um planeta. Por mais que o cientista estivesse, possivelmente, mapeando a esfera celeste com algum objetivo primário, a descoberta de Urano foi desprovida de uma expectativa teórica. Esse episódio exemplifica a descoberta de *um* X objeto.

Todavia, muitas descobertas remetem a um termo variável que leva seus valores a processos universais e abrangentes e a entidades-tipo. Neste caso, logra-se a descoberta *de* X. Nos estudos de Becquerel encontra-se a descoberta da radioatividade, que exemplifica esse conceito de Hanson (1967). Becquerel trabalhava com materiais fosforescentes que, excitados por luz, produziam uma impressão em chapas fotográficas. Na carência de luz solar – devido às condições climáticas de Paris, onde realizava suas pesquisas – guardou um cristal de urânio e algumas chapas fotográficas em uma gaveta. Ao revelar as chapas, dias após, deparou-se com impressões nas mesmas. Assim, mesmo na ausência de luz, o urânio foi capaz de perturbar chapas fotográficas (CORDEIRO, 2011). A esse estudioso é

²Adiante, discute-se a descoberta de Urano sob a interpretação de Kuhn. Segundo Kuhn, pode-se considerar a descoberta de Urano como de X como Y, visto que Herschel supôs a possibilidade se ser um cometa ou uma estrela nebulosa.

creditada a descoberta da radioatividade (espontânea); a descoberta *de X*, um processo abrangente e universal.

Há também a descoberta *daquele X*. Nessa conceitualização, a descoberta é uma propriedade de X, isto é, remete a um fato, a uma conclusão. J. W. Nicholson descobriu que o movimento do nono satélite de Júpiter possui um movimento retrógrado. Diferentemente das descobertas anteriores, essa se refere a algo mais específico, que pode inclusive ser examinado dentro de um quadro teórico já existente. O experimento de Davisson-Germer, por exemplo, evidenciava a difração dos elétrons quando arremessados em um cristal. A descoberta das manchas solares também exemplifica uma descoberta desse tipo. Os chineses, há mais de dois mil anos, já haviam observado o aparecimento de manchas solares quando em condições climáticas favoráveis (por exemplo, conseguiam vê-las, em algumas regiões específicas, quando o Sol estava nascendo ou se pondo no horizonte) (AROCA; SILVA, 2011). No entanto, não tinham como saber se esse era um fenômeno que se originava em sua superfície. No ocidente, com o auxílio do telescópio, Galileu observou as manchas solares e sustentou que elas, efetivamente, eram um fenômeno solar, tendo inclusive estimado a velocidade de rotação deste astro. O jesuíta Scheiner argumentava, por sua vez, que as manchas se deviam a determinados objetos/corpos que se interpunham entre o observador e o Sol. A disparidade nas explicações pautava-se, sobretudo, na concepção filosófica de Scheiner; adepto da filosofia aristotélica não podia admitir perturbações no Sol.

A descoberta de *um X como Y* refere-se a uma distinção entre as primeiras observações feitas a algo – até então não detectado – e a sua explicação (mais plausível). Neste caso, os valores remetem a um confronto sem identificação entre o que pode ser e o que se julga ser. Hanson (1967) exemplifica esse conceito com a descoberta dos anéis de Saturno. Para esse autor, Galileu o descobriu, embora nunca tenha visto esses anéis tal como o são. Ao lançar seu olhar ao telescópio apontado a Saturno, Galileu foi o primeiro a observar esses anéis, que aparentavam ser um globo com alças, interpretando-os como sendo três astros reunidos. Assim, descobriu um X (os anéis) como Y (astros reunidos). Após dois anos, Galileu observa Saturno completamente esférico e indaga:

Ao observar Saturno nestes últimos poucos dias, descobri-o sozinho, sem seus astros costumeiros, perfeitamente redondo e definido como Júpiter... Como isso é possível? Dissiparam-se os dois astros menores como manchas solares? Terão subitamente sumido e fugido? Ou terá Saturno devorado seus

próprios filhos? Ou foi a aparência um engano e uma ilusão? Não consigo analisar uma mudança tão nova, tão estranha e tão inesperada. A limitação do tempo, a fraqueza de meu intelecto, o terror de estar equivocado confundiram-me grandemente (RESTON, 1995, p. 142).

Vale ressaltar que Galileu não construiu uma explicação plausível para sua observação, visto que, posteriormente, levantou várias hipóteses sobre as causas do sumiço desses astros, após dois anos. Segundo Kuhn (2011a) “a descoberta de um novo tipo de fenômeno é um acontecimento complexo, que envolve o reconhecimento tanto da *existência de algo*, como de sua *natureza*” (p. 81).

O contexto da descoberta e o contexto da justificativa (DJ) não são dissociáveis; assim uma observação por uma observação não constitui uma descoberta. Hanson (1967) alerta que as descobertas de um X como Y requerem cuidado, pois, muitas vezes, quando não analisadas apropriadamente, podem ser sinônimos de meras ‘observações’ ou de ‘conclusões’ precipitadas e não, necessariamente, de um processo árduo de estudos, reflexões e interpretações.

Esses quatro conceitos de descoberta, evidenciam a lógica desse contexto, ainda que uma lógica ‘informal’, por não envolverem ‘regras definidas’, uma vez que apresentam características conceituais e se encontram em um contexto de estudo envolvendo atividades de interpretações, análises, revisões (...). Cada caso requer procedimentos diferenciados. Algumas descobertas podem ser interpretadas à luz de uma teoria já disponível, enquanto outras não. Certas descobertas podem se referir a propriedades de uma descoberta anterior, enquanto outras podem apresentar ineditismos universais. Hanson (1967) ainda menciona outras descobertas: *como X*, *se X*, *possibilidade de X*. Realça a preocupação de que os filósofos também devam se ater a essa pluralidade de descobertas existentes na prática científica e não remeter essa análise apenas para a história da ciência, a psicologia ou a sociologia. No prosseguimento de seu trabalho então, o autor discorre sobre determinadas categorias de descoberta, a fim de minimizar os equívocos conferidos a esse contexto, evidenciando para tanto que as descobertas podem ocorrer em distintos momentos procedimentais de uma investigação científica.

A primeira categorização apresentada é a descoberta ao acaso (*trip-over discovery*). Caracterizada pela ausência de qualquer expectativa ou antecipação em relação a algo, admite-se que, literalmente, o estudioso tropeçou em uma descoberta. Os estudos de Carl Anderson, com raios cósmicos, exemplificam um processo dessa tipificação. Anderson

trabalhava com Millikan, em 1930, em um projeto cujo propósito era o de medir o espectro de energia dos elétrons secundários produzidos pela incidência de raios cósmicos na atmosfera terrestre e em outros materiais. Nessa investigação, constatou-se que cerca da metade das partículas encontradas eram elétrons e que aproximadamente a outra metade eram partículas portadoras de carga positiva e unitária, como a dos elétrons (PEDUZZI, 2010). No entanto, Anderson e Millikan divergiam nas hipóteses sobre essas partículas positivas. Para Anderson, as partículas de carga positiva possuíam massas semelhantes a do elétron. Algum tempo depois, observou uma partícula atravessando a chapa de chumbo, (chapa que havia acrescentado ao dispositivo experimental); uma partícula leve, de baixa velocidade e carga positiva, movendo-se para cima. Era, então, um elétron positivo; o pósitron. Anderson não estava com expectativas de encontrar esse “rastros”. “Segundo Carl D. Anderson (...), seu descobridor, ela [a descoberta] foi inteiramente acidental” (PEDUZZI, 2010, p. 22).

Em qualquer evento casual, que se encontra no domínio dessa categorização (*trip-over*), emergem os pressupostos conceituais e teóricos subjacentes ao estudioso. Assim, admitir o ‘novo’, a partir de um acaso, não presume neutralidade já que os acidentes ou “erros” tornam-se descobertas pela sagacidade³ do estudioso em entender esse novo fato (ROBERTS, 1993). Anderson desenvolveu cálculos e conjecturas sobre a observação feita, e compreendeu que “a única conclusão possível parecia ser que a trajetória observada era realmente a de um elétron carregado positivamente” (ANDERSON, 1936; PEDUZZI, 2010, p. 24). Outros exemplos de descobertas ‘acidentais’ são a descoberta de Urano e a descoberta da maioria dos cometas.

Uma descoberta pode ser, também, do tipo resistiva (*back-into discovery*). Neste caso, a descoberta é evidenciada pela oposição teórica ou especulativa às expectativas do estudioso; o próprio investigador é, em princípio, “contra” a descoberta. Imerso em seus pressupostos e convicções, o estudioso não se submete facilmente às observações realizadas, ao dado empírico. Este tipo de descoberta realça a confiança do cientista em suas próprias concepções. Dirac, por exemplo, resistiu à concepção do pósitron, que emergia de sua teoria do elétron livre. De modo semelhante, Michelson não tinha dúvidas sobre a existência do éter; apesar dos sucessivos experimentos que realizou juntamente com Morley, eles não corroboraram esta sua certeza. Como salienta Hacking (2012), reportando-se a esse episódio:

³Termo utilizado em seu sentido amplo: perspicácia, persistência, curiosidade, astúcia.

Certos tipos de descobertas experimentais geram fatos importantíssimos que se tornam parâmetros a respeito dos fenômenos, com os quais toda teoria futura terá de lidar, e que, junto aos parâmetros teóricos comparáveis, acabam nos forçando a uma determinada direção (p. 358).

O resultado negativo da experiência de Michelson-Morley rapidamente foi relacionado, no âmbito didático, à teoria da relatividade especial; aceito, comumente, como um forte proponente para compreender a teoria de Einstein. No entanto, por vezes, ignoram-se as resistências a esse resultado experimental. Não apenas Michelson deixou de renunciar à sua convicção, como Poincaré e Lorentz relutaram em aceitar a não existência do éter.

Certamente, nem todas as descobertas são inesperadas ou não possuem uma expectativa teórica. A descoberta esperada/prevista (*puzzle-out discovery*) tipifica-se pela procura de respostas a uma indagação. As descobertas precisam ser decifradas e interpretadas, como um quebra cabeça, pois já há uma expectativa teórica e até psicológica do investigador. Em 1915, por exemplo, Lowell e Pickering haviam predito que deveria haver um novo planeta, além dos oito conhecidos; já que as órbitas de Urano e Netuno apresentavam discrepâncias. O grande desafio da época era, então, justamente o de observar/identificar esse corpo com as características específicas pressupostas teoricamente. Em 1931, depois de 15 anos de investigações e pesquisas, Clyde Tombaugh consegue localizar Plutão. Esses episódios ilustram a sagacidade do estudioso; sua persistência, sua curiosidade, sua astúcia.

Outra classificação de descoberta é a generalizadora (*subsume and reticulate discovery*). Esta se refere a uma descoberta de unificação. Busca consolidar duas ou mais teorias de forma teórica e/ou empírica para solucionar um problema ou um novo fenômeno. “Diz respeito àquela que subordina uma ampla gama de observações” (RAICIK; PEDUZZI, 2013, p. 4). A lei da gravitação, por exemplo, representa uma descoberta unificadora. Essa lei permite que se expliquem tanto movimentos celestes (movimento orbital dos planetas, dos satélites, dos cometas) quanto fenômenos terrestres (a queda dos corpos, o fenômeno das marés, etc.).

Newton passou a pensar que todos os corpos se atraíam com forças proporcionais aos produtos de suas massas e inversamente proporcionais às distâncias. Chegou, então, à teoria da gravitação universal. Rompeu com explicações mecanicistas para gravidade (como os turbilhões de Descartes) e

estendeu a noção de forças atrativas a todo o Universo (FERREIRA; MARTINS, p. 14, sem ano).

Ou seja, ele propôs o ‘poderoso conceito da atração universal’ no qual cada corpo do universo atrai todos os outros, “mantendo, assim, todo o universo sob *uma lei básica*” (RONAN, 1987, p. 99, grifo nosso).

Alguns estudos, no âmbito do eletromagnetismo, também ostentam descobertas desse tipo. Os resultados dos trabalhos de Oersted evidenciaram uma relação qualitativa entre eletricidade e magnetismo; o reconhecimento do efeito magnético produzido por uma corrente elétrica. A partir desta constatação, vários estudiosos (Faraday, Âmpère e outros) começaram a investigar esse assunto, consolidando ainda mais essa unificação.

(...) a magnetização de agulhas de ferro e de aço por correntes elétricas, verificada por Dominique François Jean Arago (1786-1853) e Joseph Louis Gay-Lussac (1778-1850) e a mensuração da força magnética produzida por uma corrente elétrica sobre o polo de uma agulha imantada, realizada por Jean-Baptiste Biot (1774-1862) e Felix Savart (1791-1841), tornavam cada vez mais sólida e inquestionável a relação entre eletricidade e magnetismo (PEDUZZI, 2009, p.108).

A síntese matemática do eletromagnetismo, elaborada por Maxwell, também exemplifica uma descoberta generalizadora. Ele incorporou os estudos da ótica ao eletromagnetismo – buscando uma unificação – fazendo “surgir uma nova teoria científica com amplo poder explicativo (...)” (PEDUZZI, 2009, p. 104). Maxwell reestruturou, assim, o eletromagnetismo clássico. Vale ressaltar que as descobertas com essa característica, onde há uma unificação de teorias, perpassaram por um processo lento de pesquisas, análises, estudos e participação de vários estudiosos.

Conforme Hanson (1967), um dos obstáculos conceituais que dificulta a compreensão de uma descoberta é a influência da subjetividade. Desta forma, explicitar os processos lógicos, complexos e conceituais envolvidos no ato de descobrir torna-se fundamental para o seu pleno entendimento. Caso inexistam essas discussões, corre-se o risco de ignorar a pluralidade de ideias e enaltecê-las a concepção de descoberta científica “como algo que ocorre de repente, em um dramático momento criativo da imaginação, um lampejo de visão ou uma experiência do tipo ‘aha’” (FRENCH, 2009, p. 16). Preocupando-se com os equívocos interpretativos

em relação a uma descoberta casual, Kipnis (2005) analisa, especificamente, descobertas com essa particularidade.

2.3. Kipnis e as descobertas casuais

Kipnis (2005) analisa não apenas os aspectos considerados lógicos em uma descoberta, mas também, enfaticamente, os ‘acidentes’ (eventualidades) abrangidos nesse processo. Para tanto, discorre sobre a possível descoberta acidental de Oersted em 1820, de que uma bússola situada sob um fio desvia-se de sua posição normal cada vez que o fio é conectado a ambos os pólos de uma pilha voltaica.

Assim que publicou sua descoberta, Oersted não salientou o procedimento que o levou a tal resultado, dando margem a diferentes interpretações. Desta forma, Ludwing Wilhelm Gilbert comentou que o acaso se fez presente a Oersted durante sua palestra e desse acaso surgiu a descoberta. No entanto, o próprio descobridor, logo após este comentário, argumentou que há muito procurava uma relação entre a eletricidade e o magnetismo e que, inclusive, previu que a agulha de uma bússola seria desviada na presença de uma corrente elétrica. Portanto, alegou que a descoberta em questão não foi fruto do acaso, como Gilbert havia expressado.

O assunto da casualidade ou não da descoberta de Orsted ressurgiu cinquenta anos depois, em uma carta que Christopher Hansteen direciona a Faraday. Nessa, Hansteen defende que Oersted já havia colocado o fio condutor em uma bateria galvânica em ângulo reto sobre a agulha magnética – e não observou movimentos – porém, durante uma aula em que utilizava uma potente bateria, colocou de modo improvisado o fio paralelo à agulha – observando assim o movimento da mesma. Para Hansteen aqui reside o acaso.

Kipnis (2005) argumenta haver incompatibilidade quanto ao entendimento do conteúdo da descoberta e do seu significado para Oersted e Hansteen. Enquanto que, para o primeiro, a descoberta pautava-se em uma ‘prova’ da junção entre eletricidade e magnetismo, para o segundo, baseava-se na transversalidade da força eletromagnética/magnética. O artigo de Kipnis (2005) busca explicitar os pormenores dessa descoberta – e não apenas exemplificá-la como feito aqui – apresentando argumentos que procuram justificar a incoerência na alegação de Hansteen.

Com o intuito de examinar, mais detidamente, o papel do acaso na construção do conhecimento científico, Kipnis (2005) analisa, ainda, os pormenores de um acaso. Para tanto, especifica as diferenças existentes

entre uma descoberta inesperada, irregular, não planejada e imprevista, a fim de valorizar ainda mais a serendipidade, através da distinção de seus elementos.

Assim, define como descoberta *inesperada* aquela que contém resultados novos e que não estavam, naquele momento específico, sendo esperados. A força magnética, por exemplo, por meio da eletricidade já era esperada por muitos estudiosos, porém a maneira de constatá-la ainda não o era. As descobertas *irregulares* referem-se à forma como a pesquisa foi preparada e realizada. Essa descoberta é falseada por diferentes fatores. Assim, um resultado negativo pode indicar um aparelho ou um procedimento inadequado. A descoberta *não planejada* pode ocorrer em dois casos distintos: (i) a partir de uma pesquisa, planeja-se o primeiro experimento a ser desenvolvido. Se o resultado for inesperado esse experimento dá origem a novos, que não poderiam ter sido previamente planejados. Oersted, por exemplo, previu (planejou) o movimento da agulha magnética através de uma corrente, mas não esperava uma declinação de 90°. (ii) os passos iniciais não são planejados, pois o estudioso está pesquisando sobre outro assunto. Oersted, de acordo com alguns historiadores, estaria estudando o aquecimento do fio no momento em que observou a agulha girar. Por fim, tem-se a descoberta *imprevista*. Esta se refere a um resultado esperado que não havia sido registrado ou anunciado antes da experiência. Oersted alegou que previu o movimento da agulha, mas não como seria esse movimento; “a predição só é importante se a descoberta é contestada, por exemplo, sobre sua prioridade ou sobre o acaso” (KIPNIS, 2005, p. 6).

Kipnis (2005) e Hanson (1967) buscaram evidenciar a complexidade de uma descoberta. Ainda que Kipnis tenha se restringido à descoberta “hansiana” *trip-over*, suas contribuições caracterizam a relevância lógica em um evento casual e a importância da análise dos muitos fatores envolvidos na prática científica para a compreensão de um acaso. Assim, mesmo que Oersted houvesse predito o movimento da agulha, “fatores lógicos, como hipóteses, não eliminam fatores acidentais” (KIPNIS, 2005, p. 20).

2.4. Kuhn e suas considerações às descobertas científicas

Admitir a distinção entre o contexto da descoberta e o contexto da justificativa (DJ) nos termos de Reichenbach (1938), de certa forma, condiz com a noção de descoberta como algo unitário que não prescinde somente de um lugar, de uma data e de um descobridor. Normalmente, quando não se contextualiza o processo de uma descoberta – explicitando sua gênese, seu desenvolvimento, seu processo temporal – esses elementos (onde,

quando e quem) sobressalientes no discurso, ofuscam a sua estrutura conceitual. A gênese do conhecimento torna-se insignificante nesta perspectiva, uma vez que se estimam apenas os resultados das pesquisas científicas (STEINLE, 2006).

Kuhn (2011b) argumenta que a descoberta científica possui uma estrutura e “um desenvolvimento complexo que se estende no tempo e no espaço” (p. 183). Seria inviável, em muitas descobertas científicas, elencar e perguntar-se sobre “onde” e “quem” visto que a noção de descoberta pode ser ‘extraordinariamente excêntrica’. Desta forma, ele apresenta dois tipos de descoberta.

No primeiro tipo, as descobertas não poderiam ter sido previstas com base nas teorias aceitas. Essas descobertas, como a do oxigênio, da corrente elétrica, dos raios X e do elétron, são mais problemáticas devido à perturbação que proporcionaram à teoria vigente. Kuhn (2011b) sustenta que pelo menos três cientistas – Carl Scheele, Joseph Priestley e Antoine Lavoisier – poderiam reivindicar a descoberta do oxigênio, dado que para esse autor “quem descobre algo tem também de estar ciente da descoberta, assim como saber o que foi descoberto” (p. 188).

Um segundo tipo de descoberta refere-se àquelas que já eram previstas teoricamente antes de serem descobertas. Neste caso, os cientistas já sabiam pelo que procurar, a exemplo do neutrino, das ondas de rádio e alguns elementos da tabela periódica. Essa descoberta relaciona-se com a que o Hanson (1967) denominou de “*puzzle-out discovery*”. Kuhn (2011b) argumenta que as descobertas desse segundo tipo facilitam a denominação de lugar e tempo, no entanto, nas descobertas do primeiro tipo não há referências suficientes para que o cientista ou o historiador apresente quando a descoberta, de fato, foi completada.

Hanson (1967) alega que Herschel descobriu o planeta Urano (descoberta de *um* X). No entanto, Kuhn (2011b) argumenta que se deve ter cuidado ao atribuir a Herschel esse crédito visto que esse cientista conclui que “há uma estranha estrela nebulosa ou talvez um cometa” (HERSCHEL, 1781 apud KUHN, 2011b, p. 189) e não, necessariamente, um planeta. Antes de 1781, muitos estudiosos, pelo menos dezessete, já haviam observado essa ‘anomalia’ e a interpretado como uma estrela. A distinção de Herschel está em ampliar as hipóteses, admitindo poder ser, também, um cometa. As observações adicionais, de que o objeto havia se movimentado, confirmaram a suposição do cometa. Assim, vários matemáticos se debruçaram a calcular a possível órbita do novo cometa, mas sem sucesso no ajuste matemático com as observações. Então, o astrônomo Lexell sugeriu se tratar de um planeta. Sem discutir os méritos de quem, de fato, supôs primeiramente ser um planeta (de acordo com

Hanson foi Herschel, e de acordo com Kuhn foi Lexell.) Kuhn (2011a) argumenta que “a descoberta de um novo tipo de fenômeno envolve reconhecer tanto *que* algo ocorre quanto *o que* ele é” (p. 189).

Logo, para Kuhn (2011a), toda descoberta começa com a consciência de uma anomalia, ou seja, com o reconhecimento de que, de alguma forma, algo está incoerente com as expectativas paradigmáticas – admitindo o período de ciência normal. Ou seja, “até que o cientista tenha aprendido a ver a natureza de um modo diferente o novo fato não será considerado completamente científico” (p. 78). Assim, sobressai nas entrelinhas da argumentação de Kuhn sua preocupação com a dicotomia dos contextos da descoberta e da justificativa.

Essa citação de Kuhn (2011a) fortalece a preocupação dos defensores do entrelaçamento entre os contextos, principalmente no que concerne à indistinção temporal do contexto da descoberta e do contexto da justificativa. Ou seja, só no momento do reconhecimento da anomalia é possível argumentar sobre a existência da descoberta. No processo/estrutura de uma descoberta científica, muitas vezes, busca-se resolver um quebra-cabeça. No entanto, antes que se abandone o paradigma vigente, muita pesquisa e reflexão são construídas no entorno dessa descoberta. Desta maneira, a resistência (a exemplo do que Hanson denominou de *back-into discovery*) “garante que os cientistas não serão perturbados sem razão” (KUHNN, 2011a, p. 92). Ademais, no processo de descoberta inferem-se fatores lógicos; hipóteses ou ‘perturbações’ que se entrelaçam à pesquisa. Ou seja, na prática científica, não há a dicotomia entre os contextos DJ.

A supervalorização do contexto da justificativa, principalmente no ensino de ciências, leva a dificuldades de compreensão da própria prática científica. A ciência, como se admite atualmente, possui um pluralismo metodológico e um dinamismo entre as teorias, as hipóteses e as experiências desenvolvidas. Desta forma, os contextos da descoberta e da justificativa, uma vez que são entrelaçados, não podem ser dicotomizados, ao menos quando se preza por um melhor entendimento sobre a ciência e sua natureza.

2.5. A terminologia descoberta e os livros didáticos

Nos últimos anos, a história da ciência vem conquistando espaço nos livros didáticos. No entanto, com frequência, esses materiais acabam apresentando uma história distorcida e concepções equivocadas sobre a ciência. Quando negligenciam o processo de desenvolvimento da ciência, acabam exibindo histórias sucintas ou superficiais demais, ilustrações de

impacto (grandes cientistas ou inventos) apenas com fins estéticos, seqüências cronológicas de teorias (PEDUZZI, 2005). Desta maneira, os livros enfraquecem todo o processo envolto em uma investigação científica, estereotipando a ciência com o discurso apresentado em suas entrelinhas.

Conforme sugerem os PCN+ (2002), a “física deve vir a ser reconhecida como um processo cuja construção ocorreu ao longo da história da humanidade, impregnado de contribuições culturais, econômicas e sociais” (p. 58). De acordo com as Orientações Curriculares para o Ensino Médio (2006):

Um tratamento didático apropriado é a utilização da história e da filosofia da ciência para contextualizar o problema, sua origem e as tentativas de solução que levaram à proposição de modelos teóricos, a fim de que o aluno tenha noção de que houve um caminho percorrido para se chegar a esse saber (BRASIL, 2006, p. 50).

(...) deve-se fazer a contextualização histórica dos problemas que originaram esse conhecimento científico e culminaram nas teorias e modelos que fazem parte do programa de conteúdos escolares a ser apreendido pelo aluno (BRASIL, 2006, p. 51).

Segundo Pena e Filho (2009), diversos autores apontam para a relevância de uma abordagem histórica em diferentes níveis de ensino. Desde os primeiros anos da década de noventa, os eventos nacionais e internacionais sobre Ensino de Física (SNEF, EPEF, REF, RELAEF)⁴ já ressaltavam a necessidade da história e filosofia da ciência nos currículos escolares. De acordo com Carvalho e Vannuchi (1996) “esta é a categoria cuja inclusão curricular apresenta maior consenso”.

De acordo com o PNLEM (2009), o livro didático subsidia a prática pedagógica do professor; assim uma de suas funções é a de “oferecer informações atualizadas, de forma a apoiar a formação continuada dos professores, na maioria das vezes impossibilitados, pela demanda de trabalho, de atualizar-se em sua área específica” (p. 17). Nesta perspectiva, apresenta-se como um instrumento eficaz para o ensino-aprendizagem;

⁴SNEF: Simpósio Nacional de Ensino de Física, 1991 e 1993. EPEF: Encontro de Pesquisadores em Ensino de Física, 1990. REF: Reunión Nacional de Educación en la Física, 1991. RELAEF: Reunião Latino-Americana sobre Educação em Física, 1992.

para a atividade docente e para a aprendizagem do aluno. No entanto, deve-se ter cuidado quanto à história apresentada nos livros didáticos. Conforme Forato *et al.* (2011), essas ressalvas feitas às deturpações históricas que são disseminadas nos materiais, e, conseqüentemente, na educação científica, “devem-se menos a um preciosismo histórico em si, e voltam-se muito mais à preocupação sobre a visão de ciência que tais versões fomentam em professores e estudantes” (p. 36).

De acordo com o Guia de Livros Didáticos PNLD/2012 a obra deve contemplar um tratamento da história da ciência com o desenvolvimento dos conceitos, evitando resumi-la a biografias de cientistas ou a descobertas isoladas e, ainda, suprimir visões empírico-indutivistas da ciência. No edital do PNLD/2007 acentua-se que os livros deveriam considerar que “a descoberta tem um ou mais autores e um contexto histórico que deve ser enfatizado e trabalhado” (p. 39), aspecto que se estende ao ensino em geral, considerando o amparo estrutural de uma descoberta.

Segundo o edital do PNLD/2012, os livros devem considerar que:

A Física, concebida ainda como uma atividade social e cultural humana, que é caracterizada pela sua historicidade, permite compreender que suas teorias e modelos explicativos não são melhores ou piores em si mesmos, nem são os únicos possíveis, nem são as últimas respostas que a humanidade poderá dar às nossas inquietações, nem às nossas necessidades (BRASIL, 2012, p. 37).

(...) os jovens são levados a pensar a ciência como um campo de construção de conhecimento, onde se articulam, permanentemente, teoria e observação, pensamento e linguagem. Nesse sentido, é absolutamente necessário que a obra, em todo o seu conteúdo, seja permeada pela apresentação contextualizada de situações-problema, que fomentem a compreensão de fenômenos naturais, bem como a construção de argumentações (BRASIL, 2012, p. 40).

Diante das recomendações, vê-se que se deve ressaltar o processo histórico da ciência evidenciando que as construções do conhecimento físico são permeadas pelos contextos sociocultural-histórico-econômicos. Visto ainda que nas recomendações se enaltece a importância do processo científico e não apenas os seus resultados, e que o desenvolvimento

histórico demanda uma contextualização evitando resumir a descobertas isoladas, deve-se compreender o que é, de fato, uma descoberta.

2.6. Análise dos livros de Física do PNLD/2012

A pesquisa desenvolvida visou verificar como os livros de física, aprovados no PNLD/2012, contextualizam a terminologia descoberta nos estudos iniciais da eletricidade, especificamente quando se referem aos trabalhos de Stephen Gray e Charles Du Fay.

A escolha dos livros didáticos para análise partiu de alguns critérios: inicialmente, sua aprovação no PNLD/2012. Em seguida, os que abordam a história da eletricidade – especificamente os estudos de Stephen Gray e Charles Du Fay – e os que apresentam, de fato, a palavra *descoberta* na redação do livro. Desta forma, dos 10 livros recomendados e aprovados no PNLD/2012, apenas 6 passaram por estes critérios.

Apesar de ser uma recomendação dos documentos oficiais a inserção da história da ciência nos livros didáticos, poucas são as obras que em sua “carta de apresentação” objetivam essa abordagem. No entanto, vê-se que, de maneira geral, elas buscam trabalhar de maneira contextualizada historicamente. Para não explicitar as obras citadas, optou-se por, aleatoriamente, atribuir-lhes letras representativas. A lista com todos os livros analisados encontra-se no apêndice deste artigo.

O livro **A** apresenta na unidade 1, um “tópico especial para você aprender um pouco mais”, que trata “as primeiras descobertas no campo da eletricidade” e tem por objetivo mostrar de maneira sucinta como evoluiu historicamente o estudo dos fenômenos relacionados ao efeito âmbar.

Efetivamente, recorrer à história como ferramenta pedagógica pode ajudar na compreensão do processo de construção de um corpo teórico. Ao longo do tópico, o livro ainda apresenta figuras que facilitam a visualização dos instrumentos desenvolvidos no período em questão. Por fim, apresenta algumas sugestões de atividades experimentais. Vê-se claramente a tentativa do autor de discutir alguns conceitos no campo da eletricidade, importantes historicamente; a concepção de eflúvio, fluidos elétricos, eletricidade vítrea e eletricidade resinosa.

O título do tópico: “As primeiras descobertas no campo da eletricidade” instiga a conhecer e entender uma descoberta. Descobrir algo, como já foi discutido nesse artigo, é um processo que envolve diferentes fatores e elementos; possui uma estrutura valiosa. Porém, esses fatores não são mencionados pelo livro; a palavra descoberta reaparece algumas vezes sem uma contextualização mínima. Desta forma, enaltece-se a imagem de

descoberta como algo simples, que pode ser transcrita como uma mera observação.

A citação a seguir do livro **A**, evidencia um fenômeno corriqueiro desde os gregos antigos, quando se começaram a observar as propriedades do âmbar: o afastamento entre os corpos depois de seu contato pela atração.

(...) quando um corpo leve é atraído por um objeto atritado, após tocar este objeto o corpo é repellido por ele. Este fenômeno só foi observado pela primeira vez (...) pelo jesuíta italiano Nicolo Cabeo. Em virtude dessa descoberta, a teoria do eflúvio teve de sofrer modificações, pois ela não era capaz de explicar o fenômeno da repulsão elétrica.

O livro didático afirma que o primeiro a observar o afastamento entre os corpos foi Cabeo e que a partir dessa observação ele “descobre que”. Sem evidenciar o valor das interpretações dadas ao fenômeno por outros estudiosos, transmite a ideia de que essa descoberta surgiu por um insight – Cabeo observou, logo descobriu. Essa observação feita (e possível “descoberta” como colocado) por Cabeo foi a repulsão elétrica. No entanto, esse conceito e termo só irão surgir anos depois, em 1733, com o estudioso Charles François de Cisternay Du Fay (1698 – 1739), que de fato explicará o afastamento dos corpos por processos elétricos (DU FAY, 1733; ASSIS, 2011; HEILBRON, 1979).

Em seus estudos iniciais, Du Fay acreditava que o afastamento entre os corpos (depois da atração elétrica entre os mesmos) se devia a uma atração desses corpos por outros nas imediações. Uma experiência indicada por René Reaumur fez Du Fay mudar essa sua conjectura. Através de diversas análises, hipóteses, reflexões, variações experimentais (tipo de materiais, tamanho dos corpos, etc.) de experimentos realizados por outros estudiosos como Reaumur e Hauksbee, esse cientista francês concluiu que o afastamento entre os corpos deve-se a um fenômeno elétrico: repulsão elétrica. Como enfatizam Wong e Hodson (2008), as observações não falam por si, elas devem ser interpretadas. Muitos cientistas já haviam observado o afastamento entre os corpos, como Otto von Guericke, que atribuiu a esse evento uma falta de afinidade entre os corpos envolvidos. Assim, Du Fay descobriu a repulsão no sentido de que a admitiu como real e, de fato, existente, procurou compreender o que era esse afastamento e por que ele ocorria, concedendo a este fenômeno um caráter elétrico.

A explicação dada por Cabeo ao fenômeno era de natureza mecânica; o afastamento entre os corpos nada mais era que a colisão entre

um objeto pesado e um leve (ASSIS, 2011). Ou seja, o termo descoberta, no sentido em que é apresentado no livro em questão, indica que a repulsão foi constatada e explicada por Cabeo, a partir de uma simples observação e que, aparentemente livre de qualquer pressuposto teórico, essa observação neutra o levou a uma ‘verdade’ científica – a repulsão elétrica.

A obra didática **B**, apesar de sua tentativa em trazer considerações históricas, apresenta interpretações anacrônicas (que leva o aluno a pensar que os termos utilizados atualmente são os mesmos empregados pelos cientistas). Buscando contextualizar os estudos iniciais da eletricidade, o livro alega que as forças elétricas e magnéticas eram consideradas distintas na época de Gilbert, por volta de 1600; no entanto, esses efeitos elétricos e magnéticos não eram interpretados como forças e sim como fluidos ou eflúvios. A respeito de Du Fay, menciona:

Nessa mesma época, o químico francês Charles François DuFay (1698-1739) descobriu que corpos eletrizados se atraem ou se repelem e sugeriu a existência dos dois tipos de eletricidade: repulsiva e atrativa (...).

A repulsão entre os corpos, como já foi mencionado, era observada e interpretada à luz das concepções de cada estudioso (choques mecânicos, ausência de afinidade entre os corpos, entre outros). O grande diferencial de Du Fay foi o de explicar esse fenômeno sob uma conjectura elétrica. A afirmação acima oculta uma discussão dessa fascinante interpretação, que se procedeu com uma ampla investigação experimental guiada pelas hipóteses e observações minuciosas desse estudioso. O parágrafo do livro, sem mais considerações, apresenta duas concepções importantes desenvolvidas por Du Fay; o reconhecimento da repulsão elétrica (já discutido nessa seção) e a existência de dois tipos de eletricidade (BOSS; CALUZI, 2007). A percepção da existência de dois tipos de eletricidade culminou no segundo princípio de Du Fay:

Este princípio é: existem duas eletricidades distintas, muito diferentes uma da outra, uma que eu chamo de eletricidade vítrea e a outra de eletricidade resinosa [...]. A característica dessas duas eletricidades é que um corpo de eletricidade vítrea, por exemplo, repele todos aqueles de eletricidade resinosa (DU FAY, 1733, p. 263-264).

A obra **B** apresenta as duas eletricidades como sendo de dois tipos diferentes; atrativa e repulsiva. No entanto, o que Du Fay considerou como distintos eram os materiais que determinavam – a partir da atração ou repulsão dos corpos envolvidos – que tipo de eletricidade teriam: vítrea ou resinosa.

O livro **C** apresenta um tópico denominado “conhecendo um pouco mais”, no qual busca apresentar “a descoberta da eletricidade”. Procurando contextualizar os estudos de Stephen Gray (1666-1736) menciona que:

Em 1729, o físico inglês Stephen Gray (?1666-1736), então com mais de sessenta anos de idade, fez a maior descoberta de sua vida: conseguiu conduzir a eletricidade de um corpo para outro através de fios de linho ou varas de bambu.

A questão que se levanta é a não contextualização de como se deu essa descoberta. Da maneira como aparece no livro, pode-se pensar que o processo se deu de diferentes maneiras – Gray poderia estar buscando incansavelmente por essa descoberta, pode ter ocorrido por acaso, etc. Além de, a maior “descoberta de sua vida”, transpassa a visão de que todo o trabalho de Gray resumiu-se nisso. No entanto, todas as suas contribuições para o campo da eletricidade foram importantes, dentre elas as concepções de isolantes e condutores.

Neste caso, não se exploram os fatores que permeiam a descoberta. Logo se induz a pensar que resultados são mais importantes que os processos. No entanto, conforme argumenta Arabatzis (2006), o pensamento utilizado na atividade de descobrir é tão importante quanto o raciocínio utilizado para sua justificação. Assim, discorrer sobre o processo de descoberta – o qual envolve o acaso, as hipóteses, as experimentações, as verificações e afins – faz-se tão necessário quanto ensinar seu produto.

O processo que conduziu à descoberta da eletrização por comunicação se dá num cenário em que se buscava, sobretudo, entender os fenômenos elétricos. Gray trabalhava com tubos de vidro, normalmente ociosos. Em uma ocasião decide fechar um tubo com rolhas, para simplesmente não entrar pó em sua parte interna; já que a poeira poderia atrapalhar a eletrização do corpo. Inesperadamente, ao atritar o tubo de vidro, ele observa que a rolha – que não havia sido atritada – atraiu para si uma pena. Nas palavras de Gray (1731) “eu estava muito surpreso e concluí que havia certamente uma virtude atrativa comunicada à rolha pelo tubo excitado” (p.20).

Essa descoberta se deu totalmente ao acaso. Como diria Hanson (1967), o estudioso tropeçou na descoberta. Gray estava despreparado para o inesperado, e ainda não havia um corpo teórico que explicasse tal fenômeno. No entanto, isso não implica ser ele um estudioso neutro. Diante da falta de uma teoria específica que esclarecesse o incidente, Gray poderia ter ignorado a observação feita; no entanto, à luz de suas concepções – inserido em estudos envolvendo conjecturas elétricas – buscou compreender esse acaso em sua investigação.

O livro **D** recai sobre a mesma falta de contextualização do processo da descoberta da eletrização por contato, apresentando o resultado (de uma investigação rigorosa) em poucas palavras, de forma a propiciar ou intuir que essa constatação se deu de forma simples.

Por volta de 1729, o inglês Stephen Gray (1666-1736) descobriu que a propriedade de atrair ou repelir podia ser transferida de um corpo para outro mediante contato. Até então, acreditava-se que somente por meio de atrito se conseguia tal propriedade.

É importante ressaltar que Gray descobriu que a “virtude” atrativa podia se transferir por contato de um corpo para outro, mas não a “virtude repulsiva”, dado que a repulsão elétrica foi descoberta posteriormente, em 1733. O que Gray buscou fazer foi utilizar diferentes materiais, variar a forma de sua disposição, entender o porquê dessa atração entre a rolha e a pena, enfim... Conforme Gil Pérez (*et al.*, 2001) “é preciso duvidar sistematicamente dos resultados obtidos e de todo o processo seguido para os obter, o que conduz a revisões contínuas na tentativa de obter esses mesmos resultados por diferentes caminhos e, muito particularmente, para mostrar coerência com os resultados obtidos noutras situações” (p. 137).

A terminologia descoberta aparece, ainda, como momentos de insights do estudioso, ou para referenciar títulos de tópicos e legenda de figuras. O livro **E**, sem qualquer preocupação em apresentar os desenvolvimentos dos estudos de Gray informa que:

Outro cientista que contribuiu para isso [entendimento das atrações entre os corpos] foi o inglês Stephen Gray (1670-1736) ao sugerir, em 1731, a existência de fluidos elétricos que dariam à matéria suas características elétricas. Além do conceito de fluidos elétricos, percorreu sobre como estes escoavam pelos corpos.

Não fica claro ao leitor quais as contribuições de Gray para a compreensão de como estes fluidos escoavam pelos corpos. Com esse trecho, o professor em sala precisa apontar diversos fatores contextuais (não apresentados pelo livro), a fim de esclarecer ao aluno o que, de fato, Gray desenvolveu. Possivelmente o livro refere-se à eletrização dos corpos por contato ou a distância. A obra ainda apresenta a legenda de uma figura – onde há dois oradores, provavelmente fazendo demonstrações, e um amplo número de espectadores – da seguinte maneira:

Palestra do físico Stephen Gray, por volta de 1730,
sobre as descobertas em eletricidade.

A obra **F**, apesar de procurar discorrer sobre alguns conceitos básicos da eletricidade como isolantes e condutores e a eletricidade vítrea e resinosa de Du Fay, fragiliza o potencial do termo descoberta. Explícita no título do Tópico “as primeiras descobertas” como se o ato de descobrir fosse o mesmo em todos os casos, como se não houvesse diferentes tipos de “descobertas” possíveis, cada uma com suas próprias estruturas.

Na maioria das obras, verifica-se a tentativa dos autores em resgatar a história da eletricidade; no entanto, há equívocos históricos e epistemológicos – “muitas vezes, as entrelinhas de um texto sugerem uma visão de ciência diferente daquela que se busca defender. Algumas concepções arraigadas acabam por surgir furtivas em breves comentários ou adjetivos revelando juízos de valor que comprometem o resultado final de um trabalho, no que diz respeito às imagens de ciência e de seu funcionamento” (FORATO; PIETROCOLA; MARTINS, 2011, p. 36).

2.6.1. Considerações à análise desenvolvida

Um dos problemas dos materiais didáticos é justamente o de apresentar apenas a justificativa de um conhecimento, ignorando o processo que levou a esse “produto final”. Não obstante, os livros que ainda procuram trazer uma abordagem do desenvolvimento construtivo de conceitos e teorias equivocam-se quanto à contextualização da descoberta. O livro didático é uma ferramenta pedagógica que subsidia a prática do professor, mas não deve ser a sua única fonte de informação e instrumentação. Assim, há maneiras de se propiciar discussões sobre a Natureza da Ciência (NdC) em sala de aula.

Cabe ressaltar, ainda, a importância do professor como sujeito fomentador de discussões de cunho histórico e filosófico no ensino. Assim, o estudo ressalta que a terminologia descoberta pode ser um meio para que, discussões com esse enfoque se façam presentes nas aulas de

ciências. O significado epistêmico da descoberta pode suscitar discussões sobre a importância dos erros, da casualidade, da dinâmica entre hipóteses e experimentações, dos diferentes métodos do desenvolvimento de uma pesquisa, da construção, de fato, humana e coletiva da ciência. Nesse sentido, é possível e recomendável discutir-se (tendo como pano de fundo essa terminologia) a complexidade da investigação científica.

Para além dessas considerações, pormenorizar a importância da análise concomitante entre o contexto da descoberta e o contexto da justificativa para a compreensão, não apenas do que vem a ser uma descoberta, mas da própria construção da ciência, torna-se profícua no ensino.

Dado que muitos livros didáticos não precisam, necessariamente, ater-se a aspectos históricos ou filosóficos com tamanho grau de minuciosidade, cabe ao professor oportunizar tais discussões no âmbito escolar. Para tanto, é necessário investir na formação inicial e na formação continuada dos professores, para se ter profissionais devidamente preparados, visto que “qualquer narrativa da história da ciência encerra uma visão de ciência e dos processos de sua construção” (FORATO; PIETROCOLA; MARTINS, 2011 p. 53).

Segundo Holton (2003 apud Forato *et al.*, 2011), uma alternativa para propiciar discussões no âmbito histórico-filosófico e epistemológico em sala de aula, seria aproximar os educadores e os historiadores da ciência. Considerando que há obstáculos a essa aproximação, sugere-se que os professores, ao menos, leiam os periódicos científicos, principalmente os que tratam da história da ciência (SILVA; PIMENTEL, 2008). Para além dessas sugestões, cabe trabalhar na formação dos futuros professores; seria prudente que o professor dispusesse de uma formação, ainda que mínima, da história e epistemologia da ciência, porém isso ainda é um desafio (FORATO; PIETROCOLA; MARTINS, 2011).

Massoni (2010), depois de uma longa investigação na literatura, mostra que diversos pesquisadores pontuam a inclusão de disciplinas de cunho epistemológico e filosófico da ciência nos cursos de licenciatura na área de ciências. Visto que a formação continuada de professores é um desafio, essas disciplinas na grade curricular propiciariam aos futuros docentes uma competência maior para tratar do assunto em sala de aula e consequentemente se teria uma melhoria no ensino de ciências. Dessa forma, ainda que os livros apresentem equívocos históricos e não contemplem discussões histórico-filosóficas, o professor subsidiaria tais incursões, já que teria formação suficiente para dialogar sobre as concepções não apresentadas pelos livros e que se fazem relevantes para a formação do aluno.

A análise contextual do termo descoberta nos livros investigados visa alertar sobre as possíveis contribuições que essa palavra suscita no âmbito da NdC, da investigação científica e de todo o processo de construção de um corpo de conhecimento e não julgar taxativamente o certo e o errado. Assim, procura-se propiciar reflexões à respeito da importância de se implementar discussões de caráter histórico-filosófico nos livros didáticos e, além disso, instigar o professor a discussões dessa natureza em sala de aula, a partir, por exemplo, de um episódio histórico específico. Considerando que os livros precisam contemplar diferentes enfoques (científico, tecnológico, social, etc.), a atuação e reflexão do professor sobre esses aspectos mais específicos – discussões histórico-filosóficas – torna-se fundamental.

2.7. Considerações Finais

A compreensão de uma descoberta científica ultrapassa a *reconstrução lógica* da investigação científica. O seu entendimento requer uma abordagem integrada entre história e filosofia da ciência. Nessa perspectiva, uma das argumentações que busca assegurar a distinção DJ – de que somente o contexto da justificação apresenta aspectos lógicos – torna-se inapropriada, como se procurou evidenciar nesse artigo. Uma descoberta científica pode, ainda que por meio de uma casualidade ou de um imprevisto, explicitar uma estrutura conceitual e epistemológica quando analisada, por exemplo, no âmbito histórico-filosófico da ciência.

A análise de uma descoberta pode, ainda, contrapor a alegação de que apenas as disciplinas fatuais, como a história da ciência, deveriam explorar esse contexto. A filosofia da ciência, uma disciplina normativa, nesse sentido, deveria se ater apenas ao contexto da justificativa. Contudo, determinadas questões envoltas em uma descoberta (Onde? Como? Quem? De que forma? Em que circunstâncias? Sob quais pressupostos teóricos (se existiam?) evidenciam a importância de uma análise também filosófica, e não apenas histórica, desse contexto. Como ressalta Arabatzis (2006), a pergunta aparentemente ingênua “quando e por quem algo foi descoberto?” não pode ser interpretada como um pedido de informação, mas como uma análise conceitual; “e uma análise conceitual (não apenas lógica) é um marca [também] da filosofia” (p. 227).

Como sempre há implicações filosóficas, explícita ou implicitamente, sobre o ensino de ciências, muitas ‘imagens’ e concepções são difundidas, pelos princípios e pela postura dos professores perante à ciência e nas entrelinhas dos materiais didáticos. Assim, a consciência da complexidade conceitual e estrutural de uma descoberta científica, a relação

existente entre os contextos da descoberta e da justificativa e os diferentes papéis do experimento na construção do conhecimento e seu diálogo com as hipóteses, por exemplo, podem e devem permear o ambiente de ensino.

Uma alternativa para tais discussões em sala de aula é por meio de episódios históricos, por exemplo. Contudo, a história apresentada nos livros didáticos, muitas vezes, enaltece imagens ‘infieis’ da construção do conhecimento científico; um método único e ingênuo da investigação, um gênio isolado e muitas obras valorizam apenas os conhecimentos aceitos atualmente, ignorando, por exemplo, os erros e a casualidade como parte do processo de desenvolvimento científico. Ao invés de explorarem pedagógica e epistemologicamente a história, a depreciam como meras descrições bibliográficas, por vezes.

Na análise realizada com os livros didáticos, notam-se elementos comuns apresentados na abordagem histórica da ciência, que indicam certas ideias de que uma descoberta surge de uma observação, “insights”, palpites, intuições e que essa não possui uma estrutura relevante. Conforme mencionado, mesmo que uma descoberta seja do tipo “trip-over”, que ocorreu por um acaso, essa casualidade só evoluirá, em termos de conhecimento e interpretação, pelo interesse do cientista e pelo envolvimento que empreenderá para compreender o novo fato. O investigador que vê apenas o que espera e descarta os resultados inesperados como sendo “errados” não fará nenhuma descoberta (ROBERTS, 1993).

Para não incidir em tais incorreções, principalmente no que concerne à terminologia descoberta, pode-se contextualizar melhor como se constroem conceitos e leis e não apenas os resultados de investigações. A história pode subsidiar discussões que são apontadas nos próprios documentos oficiais, evidenciando uma ciência com erros, problematizações, com as convicções específicas de cada época, destacando o processo social da construção do conhecimento e sua coletividade. A estrutura envolvida em uma descoberta ilustra a necessidade de combinar discussões históricas e filosóficas no livro texto e quando isso não ocorre, o professor precisa assumir esse importante papel.

Referências

ANDERSON, C. D. **The production and properties of positrons (1936)**. Nobel Lectures, Physics 1922-1941, Elsevier Publishing Company, Amsterdam, 1965.

http://nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1936/anderson-lecture.pdf

ARABATZIS, T. On the Inextricability on the context of Discovery and the context of justification. **Revisiting Discovery and Justification**, p. 215-230, 2006.

AROCA, S. B; SILVA, C. C. Ensino de astronomia em um espaço não formal: observação do Sol e de manchas solares. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 33, n. 1, 2011.

ASSIS, A. K. T. **Os fundamentos experimentais e históricos da eletricidade**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2011.

BOSS, S. L. B.; CALUZI, J. J. Os conceitos de eletricidade vítrea e eletricidade resinosa segundo Du Fay. **Revista Brasileira de Física**, v.29, n. 4, p. 635-644, 2007.

BRASIL. **PCN Ensino Médio**: Parâmetros Curriculares Nacionais. Parte III: Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias, p. 58, 2000.

_____. **PCN+ Ensino Médio**: Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais. Brasília: Ministério da Educação/Secretaria da Educação Média e Tecnológica, 2002.

_____. **PNLD/2007**. Edital de convocação para inscrição no processo de avaliação e seleção de obras didáticas a serem incluídas no Guia de Livros Didáticos de 1ª a 4ª série do PNLD/2007.

_____. **Orientações curriculares para o ensino médio**. Ciências da natureza, matemática e suas tecnologias / Secretaria de Educação Básica. – Brasília : Ministério da Educação, Secretaria de Educação Básica, 2006.

_____. PNLEM/2009. **Catálogo do Programa Nacional do Livro para o Ensino Médio**: Física. Secretaria de Educação Básica, Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação. Brasília: Ministério da Educação, Secretaria de Educação Básica, 2008.

_____. PNLD/2012. **Guia de livros didáticos**: Física. – Brasília: Ministério da Educação, Secretaria de Educação Básica, 2011.

_____. PNLD/2012. **Edital de convocação para inscrição no processo de avaliação e seleção de obras didáticas para o Programa Nacional Do Livro Didático PNLD 2012 – Ensino Médio.**

CARVALHO, A. M. P.; VANNUCHI, A. O currículo de Física: inovações e tendências nos anos noventa. **Revista Investigações em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, v.1, n.1, p. 3-19, 1996.

CORDEIRO, Marinês. **Dos Curie a Rutherford: Aspectos Históricos e Epistemológicos da Radioatividade na Formação Científica.** Florianópolis: UFSC, 2011. 234 p. Dissertação – Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.

DU FAY, C. F. C. Quatrième m'emoire sur l'électricité. De l'attraction et répulsion des corps électriques. **M'emoires de l'Académie Royale des Sciences**, pages 457-476, 1733. Tradução de Rafaela Rejane Samagaia Lamy Peronnet, Quarto «relatório de pesquisa» sobre eletricidade.

FERREIRA, J. M. H.; MARTINS, A. F. P. **Tópicos de História da Mecânica–Parte 3.** Disponível em: http://www.hfcjhidalgo.com.br/aulas/hfc_a05_topicos_de_historia_da_mecanica_3.pdf

FORATO. T. C. M.; PIETROCOLOA, 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.

FRENCH, S. **Ciência – Conceitos-chave em Filosofia**, Artmed, 2009.

GIL PÉREZ, D.; MONTORO, I. F.; ALÍS, J. C.; CACHAPUZ, A.; PRAIA, J. Para uma imagem não deformada do trabalho científico. **Ciência & Educação**, v. 7, n. 2, p. 125-153, 2001.

GRAY, S. A letter to Cromwell Mortiner, M. D. Secr. R. S. Containing Several Experiments concerning Electricity. **Philosophical Transactions**, v. 37, p. 18-44, 1731.

HACKING, I. **Representar e Intervir: tópicos introdutórios de filosofia da ciência natural.** Rio de Janeiro: EdUERJ, 2012.

HANSON, N. R. An Anatomy of Discovery. **The Journal of Philosophy**, v. 64, n. 11, p.321-352, 1967.

HEILBRON, J. L. **Electricity in the 17th & 18th Centuries**. Berkeley: University of California Press, 1979.

KIPNIS, N. Chance in Science: The Discovery of Electromagnetism by H.C. Oersted. **Science & Education**, v. 14, p. 1-28, 2005.

KUHN, T. S. **A estrutura das revoluções científicas**. São Paulo: Perspectiva, 2011a.

KUHN, T. S. **A tensão essencial: estudos selecionados sobre tradição e mudança científica**. São Paulo: Unesp, 2011b.

MASSONI, N. T. **A epistemologia contemporânea e suas contribuições em diferentes níveis de ensino de física: a questão da mudança epistemológica**. 2010. 412f. Tese (Doutorado). Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

PEDUZZI, L. O. Q. **Do próton de Rutherford aos quarks de Gell-Mann, Nambu....** Publicação interna. Departamento de Física, Universidade Federal de Santa Catarina, 2010.

_____. **A relatividade einsteiniana: uma abordagem conceitual e epistemológica**. Publicação interna. Departamento de Física, Universidade Federal de Santa Catarina, 2009.

_____. Sobre a utilização didática da História da Ciência. In: Pietrocola, M.(org). **Ensino de física: conteúdo, metodologia e epistemologia numa concepção integradora**. Florianópolis: Editora da UFSC, 2005.

_____. **As concepções espontâneas, a resolução de problemas e a História e a Filosofia da Ciência em um curso de Mecânica**. 1998. 850p. Tese (Doutorado em Educação) Centro de Ciências da Educação, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

PENA, L. A. F.; FILHO, A. R. O uso didático da história da ciência após a implantação dos Parâmetros Curriculares Nacionais para o ensino médio (PCNEM): um estudo a partir de relatos de experiências Pedagógicas publicados em periódicos Nacionais especializados em ensino de física

(2000-2006). **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 26, n. 1, p. 48-65, 2009.

RAICIK, A. C.; PEDUZZI, L. O. Q. Uma análise da terminologia *descoberta* e sua contextualização nos livros didáticos: os estudos de Gray e Du Fay. In: V Encontro Estadual de Ensino de Física - RS, Porto Alegre. **Atas...** 2013.

REICHENBACH, H. **Experience and Prediction**. Chicago: University of Chicago Press, 1938.

RESTON, J. **Galileu, uma vida**. Rio de Janeiro: José Olympio, 1995.

ROBERTS, R. M. **Descobertas acidentais em ciências**. Campinas, SP: Papirus, 1993.

RONAN, Colin A. **História ilustrada da ciência da Universidade de Cambridge**. Jorge Zahar Editor, 1987.

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.

STEINLE, F. Concept formation and the limits of justification: “Discovering” the two electricities. **Revisiting Discovery and Justification**, v. 14, p.183-195, 2006.

WONG, S. L.; HODSON, D. From the Horse’s Mouth: What scientists Say About Scientific Investigation and Scientific Knowledge. **Science Education**, Wiley Periodicals, p. 109-130, 2008.

Apêndice

Quadro 01 - Livros analisados e aprovados no PNLD/2012; autores por ordem alfabética.

Livro analisado	Autores	Referência
Compreendendo a física	Alberto Gaspar	GASPAR, A. Compreendendo a física: ensino médio . São Paulo: Ática, v. 3, 2010.
Física em contextos- Pessoal – Social – Histórico	Alexander Pogibin; Maurício Pietrocola; Renata de Andrade; Talita Raquel Romero	POGIBIN, A.; PIETROCOLA, M.; ANDRADE, R; ROMERO, T. R. Física em contextos - pessoal – social – histórico . São Paulo: FTD, v. 3, 2010.
Curso de Física	Antônio Máximo Ribeiro da Luz; Beatriz Alvarenga Alvarez	MÁXIMO, A.; ALVARENGA, B. Curso de Física . São Paulo: Scipione, v. 3, 2010.
Física aula por aula	Benigno Barreto Filho; Cláudio Xavier da Silva	SILVA, C. X.; FILHO, B. B. Física aula por aula: eletromagnetismo, ondulatório, física moderna . São Paulo: FTD, v. 3, 2010.
Conexões com a física	Blaidi Sant’Anna; Glória Martini; Hugo Carneiro Reis; Walter Spinelli	SANT’ANNA, B.; MARTINI, G.; REIS, H. C.; SPINELLI, W. Conexões com a física . São Paulo: Moderna, v. 3, ano 2010.
Quanta Física	Carlos Kantor; Lílio Paoliello Junior; Luis de Menezes; Marcelo Bonetti; Osvaldo Junior; Viviane Moraes Alves	KANTOR, C. A.; PAOLIELLO JR., L. A.; MENEZES, L. C.; BONETTI, M. C.; CANATO JR., O.; ALVES, V. M. Físicas, 3º ano: ensino médio . São Paulo: Editora PD, v. 3, 2010.
Física - ciência e tecnologia	Carlos Magno A. Torres; Nicolau Gilberto Ferraro; Paulo Antonio de	TORRES, C.M.A.; FERRARO, N.G.; SOARES, P.A. Física – ciência e tecnologia: volume 3 . São Paulo: Moderna, v. 3, 2010.

	Toledo Soares	
Física para o ensino médio	Fuke; Kazuhito	FUKE, L.F.; KAZUHITO, Y. Física para o Ensino Médio. São Paulo: Saraiva, v. 3, 2010.
Física	Gualter; Helou; Newton	BISCUOLA, G. J.; BÔAS, N. V.; DOCA, R. H. Física. São Paulo: Saraiva, v.3, 2010.
Física e Realidade	Aurelio Gonçalves Filho; Carlos Toscano	FILHO, A. G.; TOSCANO, C. Física e Realidade: ensino médio física. São Paulo: Scipione, v.3, 2010.

CAPÍTULO 3

**Um resgate histórico e filosófico dos estudos de
Stephen Gray**

3. Um resgate histórico e filosófico dos estudos de Stephen Gray

A history rescue and philosophical studies of Stephen Gray

Resumo

O século XVIII valoriza a experimentação na pesquisa científica. Os estudos de Stephen Gray exemplificam a relação existente entre as convicções teóricas do pesquisador e a experimentação que desenvolve. Nessa perspectiva, explicitam as diferentes funções que podem ter o experimento na atividade científica e a pluralidade metodológica existente nesse processo. Contextualiza-se, nesse artigo, o caminho histórico de algumas descobertas realizadas por esse estudioso como a conceitualização dos corpos isolantes e condutores e a condução elétrica. Ressalta-se, ainda, a importância de se analisar o contexto da descoberta no âmbito de um ensino não apenas de ciência, mas sobre a ciência.

Palavras-chave: Stephen Gray. Experimentação. Ensino de Ciências. Contexto da Descoberta.

Abstract

The eighteenth century appreciates experimentation in scientific research. The studies by Stephen Gray exemplify the relationship between theoretical convictions research and experimentation that develops. From this perspective, explain the different functions that the experiment plays in scientific activity and the existing methodological plurality in this process. It is contextualized, in this article, the historical path of some discoveries made by this scholar such as the conceptualization of insulating and conducting bodies and electrical conduction. Furthermore, it emphasizes the importance of analyzing the context of discovery within an education not only of science but *about* science.

Keywords: Stephen Gray. Experimentation. Science Education. Context of Discovery.

3.1 Introdução

Os estudos com a eletricidade iniciaram-se muito cedo. Desde os antigos gregos o efeito âmbar já se mostrava inquietante. Acredita-se que Thales de Mileto (625-546 a.C) tenha sido o primeiro filósofo natural a

observar criticamente que o âmbar quando atritado atraía para si pequenos corpos (ASSIS, 2011). Ele presumia que alguns corpos inanimados, como o âmbar e o ímã, possuíam “alma”, uma vez que apresentavam a propriedade de causar movimento nos corpos próximos. Ainda que o conhecimento fosse tênue, as primeiras explicações acerca do fenômeno, além das de natureza mística, argumentavam que o efeito âmbar ocorria devido a emanações provenientes dessa resina fóssil ou ainda pelo movimento circular do ar.

Um novo impulso ao estudo dos fenômenos elétricos dá-se apenas a partir do século XVII. Nesse ínterim, há uma escassez de registros que, de certa forma, justifica esse salto. Assim, é com a obra de William Gilbert (1544-1603), o *De Magnete*, publicada em 1600, que novas contribuições nessa área irão surgir. Gilbert estuda e discute, com certa originalidade, o fenômeno da atração ocasionado pelo âmbar e pelo ímã. Logo percebe que a atração causada pelo âmbar friccionado é um fenômeno diferente da atração das agulhas (objetos de ferro) magnéticas por um ímã. Estabelece-se então, nessa obra, a distinção entre os fenômenos elétricos e os fenômenos magnéticos.

Para Gilbert, o conhecimento científico deveria se firmar na experimentação (GILBERT, 1958). Sendo assim, ele inventou o versório¹ e sujeitou à sua investigação um grande número de materiais. Com esse instrumento, constatou que outros corpos se comportavam como o âmbar: o diamante, o azeviche, a safira, a opala, a ametista, o cristal de rocha, o vidro, várias pedras preciosas entre outros corpos (PEDUZZI, 2013; WHITTAKER, 1910). Desta forma, a atração passou a ser não mais uma virtude peculiar apenas do âmbar quando atritado, como ele acreditava até então. Nessa perspectiva, Gilbert apresentou duas classificações para as substâncias atritadas: as que se comportavam como o âmbar foram denominadas elétricos e as que quando atritadas não eram capazes de atrair pequenos corpos, foram denominadas de não elétricos. Cabe ressaltar que para ele, ao ser atritado, um elétrico emite um eflúvio material, que age diretamente sobre o objeto atritado e é responsável pelo efeito da atração. Ou seja, esse eflúvio era a causa do movimento.

A obra de Gilbert recebeu algumas críticas, principalmente em relação aos estudos magnéticos. No âmbito da eletricidade, Niccolo Cabeo (1586–1650) assinala um fato experimental não constatado por Gilbert, de

¹O versório é um instrumento que normalmente consiste de uma parte fixa, em relação à Terra, e um elemento horizontal capaz de girar livremente. Utilizado para constatar se um corpo se encontra eletrizado, ele é similar a uma bússola magnética, só que nesse caso não imantada. O versório pode ser construído com agulhas metálicas, com palha, ou ainda, com diversos materiais (ASSIS, 2011).

que um objeto atraído por um corpo eletrizado, depois de tocá-lo, afasta-se do mesmo. Segundo Cabeo, esse afastamento era devido a um choque mecânico entre os corpos; uma colisão entre um corpo leve e outro pesado.

No século XVII, ainda, concebeu-se uma gama de instrumentos que contribuíram, consideravelmente, para o desenvolvimento da eletricidade. Otto von Guericke (1602–1686), por exemplo, elaborou um dispositivo constituído de um globo de enxofre móvel em torno de um eixo de madeira. Este aparato dá a Guericke, normalmente, o título de ter sido o inventor da máquina eletrostática. No entanto, sua intenção com esse dispositivo foi desenvolver uma réplica da Terra e não uma máquina geradora de eletricidade. Realizando algumas experimentações, Guericke observou que uma penugem, inicialmente neutra, ao ser aproximada do globo, é atraída e repelida da sua superfície. Ele atribuiu a esse afastamento uma falta de afinidade entre os corpos. Ainda com sua máquina, conseguiu explicitar algumas das virtudes atribuída à Terra por ele, como a virtude conservativa e a virtude expulsiva. Ressalta-se que, para Guericke, apenas a virtude conservativa possuía caráter elétrico.

Sendo que a máquina de Guericke apenas representava uma réplica da Terra, o primeiro dispositivo desenvolvido com a finalidade de ser um gerador de eletricidade ocorreu no século seguinte, em 1705 (BONAUDI, 1993). Francis Hauksbee (1666-1713) substituiu o globo de enxofre por uma esfera de vidro que é colocada a girar por uma polia. Hauksbee desenvolve diversos experimentos, entre os quais, observa que a luz barométrica é causada pelo atrito do mercúrio com o vidro e, conseqüentemente, relaciona o efeito âmbar com essa luz. Trabalhando com sua máquina eletrostática, ele constata que não é necessário friccionar um vidro evacuado para fazê-lo brilhar. Basta aproximá-lo de um corpo eletrizado. Apesar das contribuições de Hauksbee, sua postura profissional é questionável. Quando curador² da Royal Society pode ter tido divergências com Stephen Gray a ponto de inibir a publicação de algumas de suas cartas. Os fenômenos elétricos tomaram tais proporções a ponto de muitas pessoas começarem a construir máquinas elétricas para tentar todos os tipos de experiências e, até mesmo, para exibi-las por dinheiro (BERNAL, 1969).

O século XVIII, principalmente nas primeiras décadas, foi marcado por novas conceitualizações e experimentações no âmbito dos estudos elétricos. Ainda que essas experimentações fossem simples e esses

²Curador: refere-se ao demonstrador oficial da Royal Society.

conceitos atualmente considerados triviais, esse período abrange uma considerável história. Inúmeros estudiosos haviam se dedicado a estudar os fenômenos elétricos; desta forma, muitos conceitos correntes nesse campo datam dessa época. Importa salientar, por exemplo, a conceitualização dos corpos que permitiam ou não a passagem da virtude elétrica – que viriam a ser chamados condutores e isolantes –, a condução da virtude atrativa e a compreensão da repulsão elétrica. Os primeiros conceitos foram desenvolvidos por Gray, que em seus estudos se deparou com situações inesperadas (casualidades), manteve conversas com outros estudiosos, como Wheler, e trabalhou com diversos aparatos experimentais.

De acordo com Heilbron (1979), nesse período da eletricidade, que compreende as primeiras décadas do século XVIII, houve grandes explorações, sistematizações e descobertas de fenômenos e conceitos não compreendidos ou esclarecidos até então. Por conseguinte, esse percurso histórico propicia reflexões e discussões acerca de aspectos epistemológicos da ciência, tradicionalmente, negligenciados no ensino. Sobretudo, permite compreender a ciência como um processo que se constitui ao longo do tempo; de maneira humana, coletiva, problemática.

A autenticação da investigação e da experimentação, como formas para atingir o conhecimento, também marca o movimento filosófico desse século. Ainda que o empirismo esteja altamente valorizado, percebe-se nos trabalhos de Gray que este passa longe de ser ingênuo e, ademais, que as experimentações qualitativas exerceram papéis expressivos nos estudos iniciais da eletricidade. Há explicitamente, nesse estudo, uma dinâmica entre as hipóteses e a experimentação desenvolvida. No percurso para compreender de maneira mais sistemática os fenômenos elétricos, Gray se depara com situações inesperadas, dúvidas, problematizações, constantes reflexões e conjectura diversas hipóteses que, dialogadas com as experimentações, propiciam um desenvolvimento ímpar no que tange aos estudos acerca da eletricidade.

Nesse contexto, este artigo visa apresentar um resgate histórico dos trabalhos em eletricidade desenvolvidos por Gray, explorando vínculos de dependência entre hipótese e experimentação nos seus estudos. Discorrendo sobre a gênese do conhecimento, vinculam-se discussões de cunho histórico e filosófico dos conceitos ‘descobertos’ por esse estudioso. Em um primeiro momento consideram-se os estudos de Gray, apresentando a sua descoberta da comunicação da virtude elétrica e a conceitualização dos condutores e dos isolantes. Enfatiza-se o diálogo entre as experimentações desenvolvidas por ele e as hipóteses que (re) orientaram os seus estudos. Nessa perspectiva, explicita-se as diferentes funções que podem ter o experimento para a atividade científica e a

pluralidade metodológica existente nesse processo. Ressalta-se, ainda, a importância de se analisar o contexto da descoberta no âmbito de um ensino não apenas de ciência, mas *sobre* a ciência.

3.2. Os estudos de Stephen Gray

Desde o início, os trabalhos científicos de Gray eram caracterizados por suas experiências simples, ‘na sua maior parte naturais, sendo introduzidos com muito pouca assistência da arte’; pelo seu estado de alerta para os efeitos imprevistos; por sua cautelosa explicação das anomalias (...) (HEILBRON, 1979, p. 243).

Stephen Gray (1666 – 1736) nasceu, possivelmente, em Canterbury na Inglaterra em 1666³. Seguiu a profissão de seu pai, que era tintureiro – atividade não muito lucrativa. Conjectura-se que Gray teve uma boa educação, visto que seu irmão mais velho fora prefeito e ele um cientista eminente (BOSS, CALUZI, 2010), ainda que não muito mencionado. Em 1732 foi eleito membro da Royal Society, sendo o primeiro a receber dessa sociedade a medalha Copley, devido às suas pesquisas em eletricidade (ASSIS, 2011). Seus estudos foram, principalmente, desenvolvidos na área da astronomia e da eletricidade (HEILBRON, 1979), todavia, ao longo de suas 23 publicações, Gray discorreu também sobre instrumentação científica e óptica.

Mesmo antes de se tornar membro da Royal Society, Gray já havia enviado cartas de suas pesquisas a essa instituição. Muitas de suas primeiras experiências podem ter sido inspiradas pelas leituras que fazia dos trabalhos publicados na *Philosophical Transactions*. Devido à sua condição financeira pouco privilegiada, Gray recebia esses volumes de Henry Hunt (funcionário da Royal Society) e Hans Sloane (secretário e, posteriormente, presidente da Royal Society). As primeiras cartas de Gray para Hunt e Sloane já evidenciavam um ‘prodígio’. Gray, com

então trinta anos, já mostrava ter desenvolvido, além de uma paixão pela investigação científica, uma habilidade expressiva na realização de experimentos

³Não há nenhuma fonte, ao menos conhecida, que explicita a data e o local exato do nascimento de Gray. Com base em suas próprias citações e em alguns documentos, conjectura-se que ele pode ter nascido em 1666 na cidade de Canterbury. Uma abordagem mais específica dessa tema se encontra em Boss, Assis e Caluzi (2012) e em Clark e Murdin (1979).

e em observações meticulosas (CLARK, MURDIN, p. 360, 1979).

Na época, o demonstrador de experimentos da Royal Society era Hauksbee, que já havia apresentado algumas de suas experiências sobre eletricidade. Possivelmente, Gray leu esses estudos, uma vez que recebia os exemplares da *Philosophical Transactions*. Em 1707/8^{4,5} Gray enviou uma carta à Royal Society anunciando algumas de suas ‘descobertas’ em eletricidade; no entanto, a mesma não foi publicada. De acordo com Clark e Murdin (1979) a carta provavelmente foi repassada à Hauksbee para que o mesmo desse seu parecer, visto que era ele o mais envolvido com os fenômenos e os estudos elétricos.

Hauksbee foi capaz de suprimir a publicação da carta de Gray; mas pouco depois, aparentemente, sentiu-se à vontade para publicar muitas das novidades de Gray (...) como sendo suas, como o pairar de uma pena acima de um bastão de vidro eletrizado (CLARK, MURDIN, p. 394, 1979).

Segundo Heilbron (1979), Hauksbee não só ‘roubou’ a experiência da pena, mas relatou o eflúvio luminoso da cera e do enxofre sem sequer mencionar Gray que, meses antes, enviou à Sociedade esta carta anunciando suas descobertas.

Tudo indica que Gray passou mais de onze anos sem submeter uma carta à *Philosophical Transactions*. Supostamente, ele pode ter sido desencorajado pela falta de interesse da Royal Society, pela ausência de prestígio na sociedade devido a sua condição financeira ou ainda pela posse de Newton como presidente da Instituição. Havia um confronto entre Newton e John Flamsteed (astrônomo, membro da Royal Society e amigo de Gray), e isso pode tê-lo prejudicado. “Se não bastasse a falta de reconhecimento, Gray teve de conviver com plágios” (BOSS, ASSIS, CALUZI, p. 33, 2012). Em 1721/2, Gray publica um artigo sobre diferentes

⁴ A carta se encontra em Boss, Assis, Caluzi (2012).

⁵ “A Inglaterra utilizou o calendário juliano até 1752; dessa forma, até 1752 o ano-novo inglês começava em 25 de março. Entretanto, ‘grande parte da Europa já havia adotado o calendário gregoriano’. Por isso, para citar datas até o dia 25 de março utilizava-se uma indicação de ano que contemplava os dois calendários, na qual colocavam-se dois números para expressar o último dígito, como 1707/8. O primeiro número indicava o ano no calendário juliano e o segundo indicava o ano no calendário gregoriano. Após 25 de março utilizava-se somente o ano comum a ambos os calendários” (BOSS, ASSIS, CALUZI, 2012, p. 26).

materiais que, quando atritados, conseguiam atrair uma pena presa em uma espécie de pêndulo⁶, e prossegue por mais um longo período sem submissões. Não obstante, a partir de 1731, Gray retoma com suas publicações, dentre as quais, explicita suas maiores descobertas.

Dada a dimensão da atividade científica, instituições como a Royal Society “financiadas pelas monarquias da época, facilitaram uma intensa troca de informações científicas” (ROCHA, 2011, p. 195). Foi como membro dessa instituição que Du Fay (como será discutido mais adiante) toma conhecimento dos estudos de Gray. Contudo, como evidenciam Boss, Assis e Caluzi (2012):

Só resta ‘imaginarmos o quanto a ciência da eletricidade teria se desenvolvido’ se Gray tivesse tido o apoio da Royal Society e de seus contemporâneos. Em vez disso, ele foi abandonado pela comunidade científica e deixado em investigações solitárias (...). ‘Somente depois da morte de Newton e do início da presidência de Sloane’ é que Gray se reaproximou da Royal Society (p. 34).

De fato, a ciência é permeada pelas relações sociais e de poder e, sem dúvida, determinadas condições “socioeconômicas e políticas têm de ser as certas para a ciência prosperar” (FRENCH, 2009, p. 124).

3.3. Descoberta casual: a comunicação da virtude atrativa

No artigo *A Letter to Cromwell Mortimer, M. D. Secr. R.S. Containing Several Experiments concerning Electricity; By Mr. Stephen Gray*, publicado em 1731/2 na *Philosophical Transactions* e considerado o trabalho mais importante de Gray (BOSS, ASSIS, CALUZI, 2012), ele explicita suas principais ‘descobertas’. Dentre elas, a descoberta de conceitos e as características de corpos elétricos e não elétricos e a comunicação da virtude atrativa.

Logo no início do artigo, Gray relata sua tentativa em eletrizar um metal. Entretanto, embora tivesse se empenhado aquecendo, martelando ou esfregando metais, não obteve sucesso na eletrização desses materiais⁷.

⁶Uma ilustração desses experimentos pode ser encontrada em Assis (2011).

⁷Atualmente é possível saber por que Gray não conseguiu tal feito. Isso porque, qualquer carga (*termo atual*) que o corpo adquirisse era perdida para o solo pela condução da mão e do corpo humano, visto que o metal é um condutor.

De fato, até 1729, não havia registro de que alguém tivesse conseguido este feito. Assim, com o desejo de encontrar novos resultados no âmbito dos fenômenos elétricos e intrigado com alguns deles (toma-se como exemplo, as indagações do por que alguns corpos atraem objetos e outros não), Gray prossegue com seus estudos utilizando um tubo oco de vidro a base de chumbo. O comportamento do tubo, de emitir luz quando atritado no escuro, levou Gray a suspeitar que ele comunicasse, também, a virtude elétrica para outros corpos. Isso o fez escolher esse material para suas novas experiências.

Com o propósito de manter o tubo de vidro limpo e sem o incômodo da poeira, Gray fecha as laterais do mesmo com rolhas. Com efeito, ele eletriza o tubo inicialmente sem as rolhas e após com elas, porém, nenhuma diferença perceptível na eletrização do tubo foi observada. Contudo, uma nova indagação e surpresa irão surgir.

(...) segurando uma pena defronte da extremidade superior do tubo, constatei que ela se dirigia para a cortiça, sendo atraída e repelida⁸ por ela [a rolha], assim como era [atraída e repelida] pelo tubo quando ele havia sido excitado por atrito [fig. 1]. Então segurei a pena defronte à extremidade plana da rolha, que a atraiu e repeliu muitas vezes; eu estava muito surpreso e concluí que havia certamente uma virtude atrativa comunicada à rolha pelo tubo excitado (GRAY, 1731-2a, p.20).



Figura 1 – A rolha que não havia sido eletrizada atraiu para si uma pena. Até então, sabia-se que apenas corpos eletrizados possuíam essa propriedade. Logo, o vidro havia comunicado sua virtude atrativa à rolha.

Gray não poderia supor que a rolha iria atrair a pena, dado que na época sabia-se que apenas corpos eletrizados possuíam essa capacidade e a

⁸Ressalta-se que na época desconhecia-se a natureza elétrica da repulsão; as explicações dadas a esse fenômeno referiam-se à falta de afinidade entre os corpos, a um choque mecânico, entre explicações de outra natureza.

rolha não havia sido eletrizada⁹. Desta forma, essa observação aconteceu inesperadamente, como ele mesmo afirmou: “*en estava muito surpreso*”. De acordo com Heilbron (1979), este é “um exemplo clássico de um acaso que favorece uma mente preparada” (p. 245). Por certo, a casualidade nesse caso fez Gray procurar entender o fenômeno que estava acontecendo, o porquê isso ocorreu e com quais materiais isso poderia novamente acontecer.

Assim, ainda que ele procedesse com novas experimentações, a fim de constatar o comportamento dos corpos e compreender esse fenômeno, a condução da eletricidade pode ser caracterizada como uma descoberta do tipo *trip-over*, segundo a designação de Hanson (1967). Embora Gray esperasse constatar algo utilizando vidro, havia um despreparo teórico/conceitual perante a eletrização da rolha, já que não existia um corpo de conhecimento estruturado que o auxiliasse na interpretação do fenômeno observado. Não obstante, cabe destacar que, em determinadas casualidades, emergem as convicções conceituais e teóricas implícitas ao estudioso. Esse episódio apresenta traços importantes da gênese da descoberta da comunicação da virtude elétrica; um acaso bem aguçado, analisado e estudado que, por isso, levou a uma descoberta notória na história da eletricidade.

Certo número de observações acidentais que logo conduziram a descobertas fundamentais tem aprofundado a opinião de que o acaso desempenha [ou pode desempenhar] um papel primordial na criação científica e que numerosas descobertas somente puderam realizar-se pelo concurso de circunstâncias bastante excepcionais (...) (TATON, 1955, p. 74).

Regido pela hipótese de que a rolha deveria transmitir, assim como fez o vidro, a virtude elétrica ao corpo a ela conectada, Gray dá continuidade às suas investigações. Dessa forma, tendo consigo uma esfera de marfim com um orifício através dela, Gray fixa essa esfera em uma vara de madeira de 4 polegadas de comprimento, anexando a outra extremidade na rolha (fig. 2). De fato, eletrizando apenas o vidro era possível perceber que a pena era atraída para a esfera de marfim e repelida pela mesma com ainda mais vigor do que em relação à rolha.

⁹Nesse caso, o vidro comportava-se como um isolante e a rolha como um condutor elétrico.

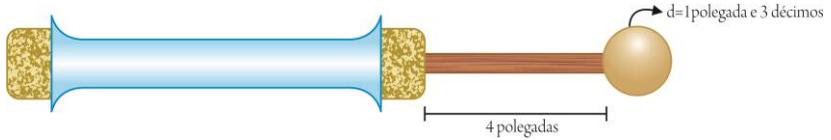


Figura 2 – O vidro eletrizado comunicou sua virtude atrativa através da rocha e da madeira possibilitando a eletrização da esfera de marfim.

Prosseguindo com uma série de experimentos a fim de verificar, observar e testar quais corpos também transmitem a virtude atrativa, Gray varia os componentes da experiência descrita anteriormente. Em suma, o mesmo efeito foi encontrado com varas de madeira de 8 e 24 polegadas, com a substituição da vara por fios de ferro e de latão e, ainda, com a utilização de uma linha *packthread* (barbante). Fazendo um laço ao tubo e suspendendo esferas de marfim, cortiça ou chumbo, ele observou que era possível obter também a eletrização desses corpos (GRAY, 1731-2a; ASSIS, 2011). Formidavelmente, Gray conseguiu fazer com que metais atraíssem corpos leves, façanha nunca conseguida até então, embora houvesse sido tentada desde a época de Gilbert. “Depois que descobri que os vários corpos mencionados (...) tinham uma eletricidade a eles comunicada, passei a ver então, com quais outros corpos o tubo teria o mesmo efeito” (GRAY, 1731-2a, p. 21). Assim, realizou diversos experimentos, conseguindo eletrizar moedas, pedaço de chumbo, uma chaleira de cobre que teve o mesmo comportamento quando cheia de água ou vazia, etc. (GRAY, 1731-2a).

Inegavelmente, a aquisição de novos conhecimentos e as novas *descobertas* não se dão, por vezes, com certezas, mas a partir de hipóteses que são abordadas na tentativa de obter respostas. Hipóteses que podem e orientam a procura de novos dados. Os novos fenômenos e os novos conceitos envolvem a observação de novas situações, que auxiliam na construção de argumentos (ARABATZIS, 2006). De acordo com Gil Pérez *et al.* (2001):

O fato de trabalharmos a partir de hipóteses introduz exigências suplementares de rigor: é preciso duvidar sistematicamente dos resultados obtidos e de todo o processo seguido para os obter, o que conduz a revisões contínuas na tentativa de obter esses mesmos resultados por diferentes caminhos e, muito particularmente, para mostrar coerência com os resultados obtidos noutras situações (p. 137).

Embora Gray já houvesse desenvolvido um grande trabalho e apresentado contribuições relevantes à eletricidade, não se deu por satisfeito. Envolvido com problematizações ainda não estudadas – como as maiores distâncias que se pode transmitir a eletricidade - ele continua instigado a analisar, compreender e revelar características da virtude elétrica.

3.4. A conceitualização dos corpos condutores e isolantes

Gray começou a dispor os materiais envolvendo comprimentos apreciáveis, tanto na vertical quanto na horizontal. Contudo, não sendo possível exceder esses comprimentos, devido ao espaço físico no qual os experimentos eram desenvolvidos, Gray dispõe seu experimento utilizando duas linhas de comunicação. Elabora um laço em cada extremidade de uma das linhas. Um dos laços é preso a um prego e este, por sua vez, preso a uma viga. O outro laço, pendurado para baixo, suportava a segunda linha de comunicação. Esta segunda linha suporta em uma de suas pontas uma esfera de marfim e na outra um tubo de vidro (fig. 3). Abaixo da esfera ficavam folhas de latão.

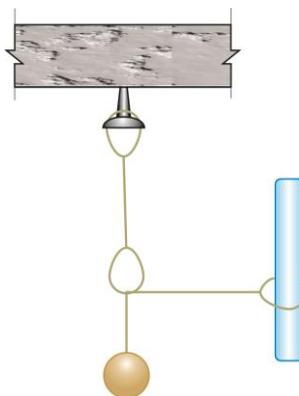


Figura 3 – Com esse arranjo experimental, a esfera de marfim não recebeu a virtude atrativa do tubo de vidro eletrizado.

Neste aparato experimental, ao eletrizar o vidro Gray não observou a eletrização da esfera de marfim. Constatando que nenhuma ou pouca virtude elétrica havia descido à esfera, ele concluiu que a virtude do vidro subiu, por meio da linha de comunicação, para a viga.

Em determinadas situações sobressaem-se as expectativas psicológicas do estudioso em relação à conclusão significativa de um fenômeno (HANSON, 1967). Por não ter conseguido êxito nesse experimento, Gray desiste de “fazer tentativas adicionais de transportar a eletricidade horizontalmente” (GRAY, 1731-2a, p. 25). Dessa forma, sua intenção se volta às experiências na vertical, onde planejou um experimento a ser executado no topo da cúpula da catedral St. Paul, em Londres. No entanto, seus estudos tomam um novo rumo quando, em julho de 1729, Gray faz algumas demonstrações e comentários de seus estudos à Granville Wheler (1701- 1770), membro da Royal Society.

Wheler, na primeira oportunidade, conjecturou a possibilidade de transportar a virtude elétrica horizontalmente (a fim de alcançarem distâncias mais consideráveis). Contudo, Gray lhe contou que não obteve sucesso na tentativa que havia feito e, relatando a sua experiência e os materiais que havia utilizado, seu amigo sugere a substituição de um dos materiais e de seu arranjo experimental (fig. 4).

Ele [Wheler] propôs um fio ou linha de seda para suportar a linha [de comunicação], na qual a virtude elétrica passava. Eu disse que assim poderia funcionar melhor devido à sua pequena espessura¹⁰ (...), e com o grande esforço que ele [Wheler] próprio empregou e o auxílio de seus empregados, obtivemos sucesso muito além da nossa expectativa. (GRAY, 1731-2a, p. 26-27, grifo nosso).

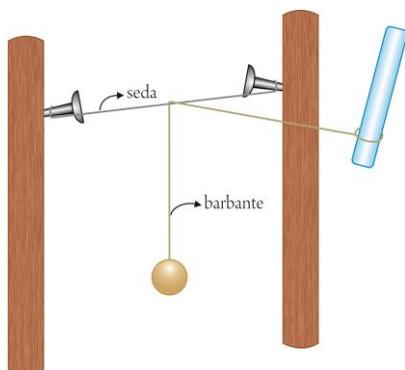


Figura 4 – Com esse arranjo experimental proposto por Wheler, a esfera de marfim ‘recebeu’ a virtude atrativa do tubo de vidro. Cabe salientar que no outro aparato

¹⁰ Gray e Wheler conjecturaram que a linha de seda, por ser mais fina que o prego, poderia ‘absorver’/‘levar’ menos virtude elétrica da linha de comunicação.

experimental (fig. 3), a linha de comunicação (barbante) estava diretamente em contato com o prego. Nesse novo experimento a linha de comunicação é apoiada em um suporte de seda, que substitui o prego.

Esse episódio, sem dúvida, exemplifica um momento em que a ciência é e pode ser construída coletivamente. São inúmeros os fatores (sociais, políticos, culturais...) presentes na ciência. Porém, muitas vezes, principalmente no ensino, algumas dessas influências são esquecidas e todo o desenvolvimento da ciência é visto de forma a propiciar um entendimento focado na individualidade do trabalho científico. De acordo com Gil Pérez *et al.* (2001), o conhecimento científico aparece “como obras de gênios isolados, ignorando-se o papel do trabalho coletivo e cooperativo, dos intercâmbios entre equipes” (p.133).

Algumas pessoas possuem mais curiosidade, percepção, interesse, perspicácia e desejo de compreender fenômenos novos do que outras, mas estes quesitos podem ser estimulados. Ao visitar seu amigo, Gray o instigou, de certa forma, a entender os seus experimentos elétricos. Reciprocamente, Wheler estimulou Gray, uma vez que tomou desejo pelo experimento que havia dado errado e pressupôs explicações para este efeito. Logo, a pessoa que vê apenas o que se espera e descarta os resultados inesperados como sendo “errados”, possivelmente, não fará descobertas (ROBERTS, 1993). Esse episódio apresenta a importância da interação científica e, ao contrário do que normalmente é perpetuado no ensino de ciências, que essa interação existe e é indispensável para o crescimento da ciência.

Com o sucesso adquirido ao utilizar linhas de seda ao invés de pregos, os dois estudiosos cogitaram aumentar a linha de comunicação significativamente, para verificar se haveria diferenças perceptíveis na eletrização da esfera; “o comprimento total da linha [de comunicação] era de 293 pés [88 m]” (GRAY, 1731-2a, p.28) (fig. 5). Cabe ressaltar que Gray e Wheler, nesse momento, acreditavam que a espessura do material que suportava a linha de comunicação era determinante para a condução da virtude atrativa. Dado que a seda por vezes se rompia, outros materiais foram utilizados como fios finos de ferro e fios de latão, ligeiramente mais espessos. Todavia, não obtiveram a eletrização da esfera com esses outros materiais.



Figura 5 – Gray atritando um tubo de vidro que está conectado à linha de comunicação. Figura extraída de Assis (2011).

Nesse curso, concluíram então que o fato da esfera não ter se eletrizado estava relacionado com o material que sustentava a linha de comunicação e não com seu diâmetro. Estava claro, assim, que não era a espessura do suporte que se mostrava relevante, mas o material do qual era feito.

Estávamos agora convencidos de que o sucesso que havíamos obtido anteriormente dependia das linhas [do material/tipo] que apoiaram a linha de comunicação, que eram de seda, e não devido ao fato de serem finas, como havia imaginado antes da experiência. O mesmo efeito que ocorreu aqui havia acontecido quando a linha que transportava a virtude elétrica era apoiada por *packthread* [barbante]; a saber, quando os eflúvios chegam ao fio ou barbante que apoia a linha [de comunicação], ele passa por elas indo até a viga de madeira a qual estão fixadas às extremidades do fio ou do barbante, e assim [o eflúvio elétrico] não vai adiante da linha [de comunicação] que devia leva-los até a bola de marfim. (GRAY, 1731-2a, p. 29).

Nessa parte específica do artigo, Gray explicita importantes constatações. Uma delas, já mencionada, refere-se à espessura do suporte utilizado. Outra é que o fio de ferro ou a linha de barbante permitiam a passagem da virtude elétrica, enquanto a seda não. Isto é, alguns materiais tinham a capacidade de conduzir a virtude elétrica enquanto outros não a possuíam. Ainda que Gray não tenha utilizado os termos isolante e condutor – os mesmos foram introduzidos por Jean Théophile Desaguliers, em 1736 (WHITTAKER, 1910, BINNIE, 2001)–, ele explicita a sua conceitualização. Vale lembrar que Gilbert inseriu os termos *elétricos* e *não elétricos*. Nesse caso, os corpos que conduzem a virtude elétrica (condutores) referem-se aos corpos não-elétricos e os que não conduzem tal virtude (isolantes) são os corpos elétricos.

Essas experiências desenvolvidas, dialogadas com as hipóteses, foram pensadas a fim de encontrar respostas, logo, a descoberta dos corpos que conduziam e os que não conduziam a virtude atrativa não se deu ao acaso. Ao mencionar “e não devido ao fato de serem finas, como havia imaginado antes da experiência” (GRAY, 1731-2a, p.29), Gray enaltece a ideia de procura. Conforme Hanson (1967), algumas descobertas são do tipo “puzzle-out”, ou seja, para serem decifradas. Como um quebra cabeças, Gray e Wheler tentaram entender os fenômenos observados para diferentes materiais, começaram a revelar características de certos corpos que podiam ser catalogadas. Assim, criou-se uma expectativa de um acontecimento ou de uma mudança. Um contexto diferente daquele, no qual a observação é totalmente inesperada, embora dependa dos pressupostos de cada estudioso.

Nesse caso histórico, o processo de formação dos conceitos de isolante e de condutor não passou por procedimentos pré-estabelecidos, mas por revisões, por contratempos, pelo desejo de conhecer e compreender novos fenômenos, de “verificar, otimizar e variar” (STEINLE, 1997) que estão interligados intensamente com o trabalho experimental dinamizado pelas hipóteses. Afinal, a experimentação envolve muitas ideias, pressupostos e diferentes tipos de compreensão (PRAIA; CACHAPUZ; GIL PÉREZ, 2002).

Dando continuidade a seus estudos, Wheler e Gray conseguiram transmitir a virtude atrativa por uma linha de aproximadamente 203 m. Para que a seda não se rompesse eles utilizaram mais de uma linha transversal (fig. 6), distribuindo assim o peso da linha de comunicação (possivelmente de barbante).

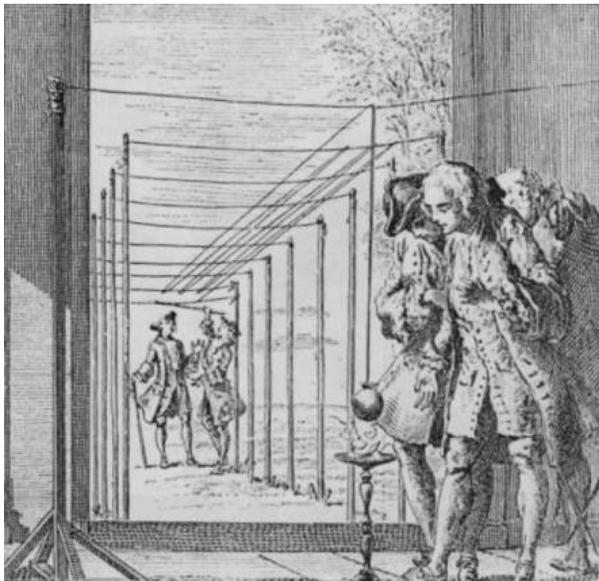


Figura 6 - Uma esfera atraindo lâminas metálicas estando presa a uma linha de comunicação de 203 m. Figura extraída de Assis (2011).

Prosseguindo com o seu relato, Gray explicita que a virtude elétrica pode ser transportada sem tocar a linha de comunicação, apenas aproximando o corpo eletrizado dela. Na descrição do experimento, ele menciona que pendurou um peso de chumbo em uma linha muito fina (*hairline*¹¹). Esta linha por sua vez estava pendurada a um prego que estava em uma viga. Ao aproximar o tubo de vidro atritado à esta linha, o peso de chumbo atraiu as folhas de latão que estavam ali próximas. Atualmente sabe-se que o tubo de vidro eletrizado polarizou por indução o peso de chumbo. Gray conseguiu transmitir a virtude atrativa sem contato em outras experiências, utilizando, por exemplo, aros de madeira. Ademais, constatou que os eflúvios elétricos têm o mesmo efeito em um círculo/aro na posição vertical e horizontal. Ressalta-se que na época a virtude atrativa era equivalente aos eflúvios elétricos. Assim, era comum que esses termos aparecessem como sinônimos nos relatos.

Ainda em seu artigo de 1731-2a, Gray discute a virtude atrativa que uma bolha de sabão, quando aproximada de um tubo de vidro eletrizado

¹¹No artigo, Gray não explicita de que material é feita a *hairline*. Segundo Assis (2011), ele poderia estar se referindo a seda ou a crina de cavalo, de qualquer maneira essa linha se comportava como um isolante elétrico.

possui, bem como a folha de diversos vegetais. Outra experiência, que se tornou muito famosa e foi reproduzida por outros estudiosos, consistiu em analisar se o corpo humano comunicaria a virtude elétrica. “Gray imaginou uma experiência sensacional que fez estremecer os que a ela assistiram, abafar gritos de espanto e até rezear pela vida de uma criança” (CARVALHO, 1973, p. 41). Apesar do tom poético da citação, Gray é mais sucinto e retraído em seu relato.

Ele suspendeu um menino entre 8 e 9 anos com cerca de 21kg, na posição horizontal sob duas linhas muito finas (fig, 7). Com a face voltada para baixo, Gray observou que ao aproximar um tubo eletrizado do garoto, sem tocá-lo, algumas lâminas de latão colocadas abaixo dele eram atraídas. Importa salientar que Gray já havia feito uma experiência no qual suspendeu um pintinho vivo pelas pernas e verificou que o peito dele ficava fortemente elétrico (GRAY, 1731-2a).

Por meio desses experimentos, pode-se verificar que animais recebem uma grande quantidade de eflúvios elétricos e que eles podem ser transmitidos através de diversos caminhos diferentes ao mesmo tempo e por distancias consideráveis, onde quer que eles [os eflúvios] encontrem uma passagem adequada para suas transmissões, e lá exercem o seu poder de atração (GRAY, 1731-2a, p. 42).

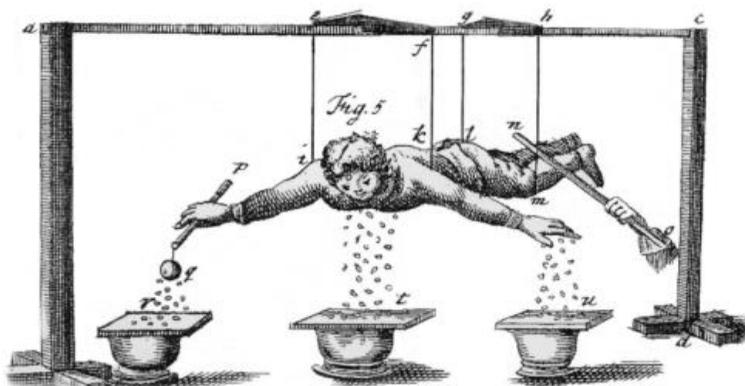


Figura 7 – Garoto suspenso por linhas de seda. Ao se aproximar um tubo eletrizado do garoto, constatava-se que ele atraía para si lâminas de latão, que estavam em sua proximidade. Figura extraída de Heilbron (1979).

Gray retoma com os experimentos no qual pendura um garoto em linhas isolantes em um artigo publicado em 1735/6 após Charles Du Fay ter publicado um artigo na *Philosophical Transactions* explicitando que refez essa experiência descrita por Gray e que com ela fez novas constatações. No final de seu mais importante artigo (1731a) Gray, infatigavelmente, acentuou que novos experimentos estavam sendo desenvolvidos com o intuito de descobrir a relação entre a atração dos corpos e as suas cores.

3.5. Considerações sobre os trabalhos de Gray: implicações para o ensino

Quando Gray retoma com suas publicações na *Philosophical Transactions*, em 1731, certas considerações da Royal Society reavivam seu desejo de explicitar seus outros trabalhos. No início de seu artigo *A Letter concerning the electricity of Water, from Mr. Stephen Gray to Cromwell Mortimer, M. D. Secr. R. S.*, ele ressalta que

A aprovação recebida anteriormente pela comunicação dos meus experimentos elétricos para a Royal Society [1731-2a], os seus mais generosos encorajamentos, foi um grande incentivo para que eu desse continuidade a eles [os estudos], para verificar quais descobertas adicionais posso fazer sobre o assunto dessa espécie de atração (GRAY, 1731-2b, p. 227).

Normalmente, o ensino de ciências reprime determinadas influências sofridas pela ciência. Consequentemente, inexistem discussões acerca das relações da ciência com a política, a economia, a cultura e a sociedade. Espelhando-se em uma ciência neutra socialmente, sem apreço à uma construção humana, os manuais didáticos e, inclusive, muitos docentes, perpetuam entre os alunos algumas deturpações do que vem a ser a ciência. Por sua vez, a história permite analisar em que momento determinados conhecimentos surgiram e, ademais, apreciar os fatores que influenciaram o desenvolvimento desse conhecimento e os valores subjacentes que o conduziram (FERNANDEZ; ESCANDELL, 1986).

Voltando-se ao passado conturbado de Gray com a Royal Society (possível negligência com suas correspondências no início da primeira década; a possibilidade do plágio de Hauksbee) o incentivo da Instituição, com a grande publicação de 1731, foi um estímulo para que Gray continuasse, não só com os seus estudos em eletricidade, mas com as suas publicações.

Os trabalhos de Gray, mais que meros experimentos e conceitos “simples”, evidenciam o quanto a experimentação dialoga com as hipóteses que são concebidas não só para o registro de um resultado, mas para dirigir e (re) orientar a investigação científica. Nos seus estudos, observa-se que cada novo experimento dependia de uma nova hipótese que auxiliava na construção de argumentos. Assim, vê-se que os contextos da descoberta e da justificativa são inerentes e naturalmente dependentes; o contexto da descoberta é permeado pelo da justificação. Nos estudos de Gray, percebe-se que não havia um roteiro de passos necessários e inalteráveis que o conduzisse às suas descobertas.

Não obstante, o ensino de ciências propaga comumente a ideia de que a investigação científica é norteada por um método científico. Essa concepção ingênua acaba “esquecendo - ou, inclusive, recusando - tudo o que se refere à criatividade, ao carácter tentativo, à dúvida” (GIL PÉREZ *et al.* 2001, p. 130). Contudo, percebe-se nos estudos de Gray que ele não buscava ou seguiu um guia de passos a fim de constatar um resultado específico. Pelo contrário, buscou entender uma casualidade, variar seus experimentos conforme às suas condições, ou seja, não seguiu o método científico.

Bernal (1969) alerta para

o perigo de considerá-lo [o método] como uma espécie de forma platônica ideal, como se fosse uma maneira correta de encontrar a verdade sobre a natureza ou sobre o homem, e que a única tarefa dos cientistas fosse de encontrar este caminho e permanecer nele (p. 35).

A descoberta da condução elétrica, fruto de um acaso, só foi perceptível à Gray devido ao cenário no qual se encontrava. Isso evidencia que uma experiência não vem a ser apenas corroboradora ou refutadora de uma teoria. A persistência de Gray em entender uma casualidade (a atração da pena pela rolha que não havia sido eletrizada) foi subsidiada por suas concepções, sua inserção nos estudos elétricos. Conforme Hanson (1985) a “observação científica é, portanto, uma atividade carregada de teoria” (p. 13), não há extrema neutralidade. Caso contrário, ele poderia ter ignorado este feito e não tê-lo relacionado com algum possível fenômeno elétrico. Evidentemente, uma casualidade só propiciará pesquisas posteriores se o estudioso reconhecer que este acaso, ou esta inesperada constatação, merece atenção (ROBERTS, 1993).

As experimentações desenvolvidas por Gray, Wheler e demais assistentes, evidenciam uma experiência exploratória (STEINLE, 1997;

2002), onde as observações e as experimentações não estavam sendo guiadas por uma teoria já estabelecida, mas pelo desejo de compreender e sistematizar os estudos elétricos. Os experimentos, neste caso, exerceram diferentes papéis no desenvolvimento das descobertas feitas. A importância de uma análise do processo científico e discussões de seus pormenores são evidentes nesse período histórico e incipiente da eletricidade. Ao explicitar a história da descoberta da comunicação da eletricidade, ou ainda dos conceitos de condutores e isolantes, entende-se a influência de aspectos humanos na ciência. Mais que um produto pronto e acabado, a ciência progride e, nesse percurso, vale-se de imprevistos, casualidades, persistências, conflitos, tentativas, erros, etc.

Por fim, os estudos desenvolvidos por Gray por meio de experimentos ‘simples’ e qualitativos oportunizaram a compreensão de fenômenos elétricos elementares. Isso se deu por meio de um diálogo entre as experimentações exploratórias e as diversas hipóteses que eram levantadas a fim de compreender o ainda incompreensível. A ciência não é estática. A experimentação dialoga com as hipóteses que orientam o trabalho científico e, por sua vez, as hipóteses orientam a experimentação.

Referências

ARABATZIS, T. On the Inextricability on the context of Discovery and the context of justification. **Revisiting Discovery and Justification**, v. 14, p. 215-230, 2006.

ASSIS, A. K. T. **Os fundamentos experimentais e históricos da eletricidade**. São Paulo: Livraria da Física, 2011.

BERNAL, J. D. **Science in History**. Volume 2: The Scientific and Industrial Revolutions. Penguin Books, 1969.

BINNIE, A. Using the History of Electricity and Magnetism to Enhance Teaching. **Science & Education**, v. 10, p. 379–389, 2001.

BONAUDI, F. Groping in the dark: magnetism and electricity form prehistory to (almost) Maxwell. **Nuclear Physics B-Proceedings Supplements**, v. 33, n. 3, p. 8-20, 1993.

BOSS, S. L. B; ASSIS, K. T. A.; CALUZZI, J. J. **Stephen Gray e a descoberta dos condutores e isolantes**: tradução comentada de seus

artigos sobre eletricidade e reprodução de seus principais experimentos. São Paulo: Cultura Acadêmica, 2012.

BOSS, S. L. B; CALUZI, J. J. Uma breve biografia de Stephen Gray (1666-1736). **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 32, n. 1, p. 1601 - 1609, 2010.

CARVALHO, R. **História da Electricidade Estática**. Coimbra: Atlântida editora, 1973.

CLARK, D. H.; MURDIN, L. The enigma of Stephen Gray astronomer and scientist (1666-1736). **Vistas in Astronomy**, v. 23, p.351-404, 1979.

GIL PÉREZ, D. *et al.* Para uma imagem não deformada do trabalho científico. **Ciência & Educação**, v. 7, n. 2, p. 125-153, 2001.

FERNÁNDEZ, A. C; ESCANDELL, M. C. Contra el mito de la neutralidad de la ciencia: el papel de la historia. **Enseñanza de las Ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas**, v. 4, n. 2, p. 163-166, 1986.

FRENCH, S. **Ciência – Conceitos-chave em Filosofia**, Artmed, 2009.

GILBERT, W. **De magnete**. New York: Dover Publications, 1958.

GRAY, S. An account of some new electrical experiments. **Philosophical Transactions**, v. 31, n. 366, p.104-107, 1720-1.

GRAY, S. A letter to Cromwell Mortiner, M. D. Secr. R. S. Containing Several Experiments concerning Electricity. **Philosophical Transactions**, v. 37, p. 18-44, 1731-2a.

GRAY, S. A letter concerning the Electricity of Water, from Mr. Stephen Gray to Cromwell Mortimer, M. D. Secr. R. S. **Philosophical Transactions**, v.37, p. 227-230, 1731-2b.

GRAY, S. Experiments and Observations upon the Light That is Produced by Communicating Electrical Attraction to Animal or Inanimate Bodies, Together with Some of its Most Surprising Effects; Communicated in a Letter from Mr. Stephen Gray, F. R. S. to Cromwell Mortimer, M. D. R. S. Secr. **Philosophical Transactions**, v. 39, p. 16-24, 1735-6.

HANSON, N. R. An Anatomy of Discovery. **The Journal of Philosophy**, v. 64, n. 11, p. 321-352, 1967.

HANSON, N. R. **Observación y explicación**: guia de la filosofía de la ciência: Patrones de descubrimiento – investigación de las bases conceptuales de la ciência. Alianza Editorial: 1985.

HEILBRON, J. L. **Electricity in the 17th & 18th Centuries**. Berkeley: University of California Press, 1979.

PEDUZZI, L. O. Q. Do efeito âmbar à garrafa de Leyden. Florianópolis: 2013. (*versão preliminar, publicação interna*).

PRAIA, J.; CACHAPUZ, A.; GIL PEREZ, D. A hipótese e a experiência científica em educação em ciência: contributos para uma reorientação epistemológica. **Ciência & Educação**, v. 8, n. 2, p.253-262, 2002.

ROBERTS, R. M. **Descobertas acidentais em ciências**. Campinas, SP: Papirus, 1993.

ROCHA, J. F. M. Origem e evolução no eletromagnetismo. In: ROCHA, J. F.; PONCZEK, R. I. L.; PINHO, S. T. R.; ANDRADE, R. F. S.; JUNIOR, O. F.; FILHO, A. R. (Org.). **Origens e evolução das ideias da física**. Salvador: EDUFBA, 2011.

STEINLE, F. Experiments in History and Philosophy of Science. **Perspectives on Science**, v. 10, n. 4, p. 408-432, 2002.

STEINLE, F. Entering new fields: exploratory uses of experimentation. **Philosophy of Science**, v. 64, p. 565-574, 1997.

TATON, R. **Casualidade e accidentalidade das descobertas científicas**. São Paulo: HEMUS Editora Ltda, 1955.

WHITTAKER, E. T. **A history of the theories of aether and electricity**: from the age of Descartes to the close of the Nineteenth Century. Londres: Longmans, Green and CO., 1910.

CAPÍTULO 4

**Um resgate histórico e filosófico dos estudos de
Charles Du Fay**

4. Um resgate histórico e filosófico dos estudos de Charles Du Fay

A historical rescue and philosophical studies of Charles Du Fay

Resumo

Charles Du Fay, um filósofo natural do início do século XVIII, entregou-se a uma intensa busca por encontrar mecanismos que pudessem explicar certos fenômenos elétricos, ainda não compreendidos na sua época. Realizando inúmeros experimentos em constante diálogo com as hipóteses desenvolvidas, ele enuncia dois princípios e “descobre” a repulsão como algo legítimo das interações elétricas. Nessa perspectiva, esse artigo ressalta, além do percurso histórico desse estudioso, a relevância da análise do contexto da descoberta, para que se possa compreender, com maior propriedade, a não neutralidade do estudioso, os erros que impulsionam aos acertos e os diferentes métodos de construção do conhecimento. Ademais, ressalta a importância de considerações históricas e filosóficas no ensino que visa discutir, além de conceitos físicos, concepções relativas à Natureza da Ciência.

Palavras-chave: Du Fay. Experimentos. Contexto da descoberta.

Abstract

Charles Du Fay, a natural philosopher of the early eighteenth century, indulged himself an intense search to find mechanisms that could explain certain electrical phenomena not yet understood in his time. Performing numerous experiments in constant dialogue with the developed hypotheses, “discovers” sets out two principles and the repulsion as something legitimate of electrical interactions. In this perspective, this article points out, beyond the historical course of this scholar, the importance of analyzing the context of discovery, more appropriately, so that they can understand the non-neutrality of the scholar, the mistakes that drive the successes and the different methods of knowledge construction. Moreover, emphasizes the importance of historical and philosophical considerations in education that discusses, in addition to physical concepts, conceptions related to Nature of Science.

Keywords: Du Fay. Experiments. Context of discovery.

4.1. Introdução

Ao longo de sua pesquisa científica, Charles François de Cisternay Du Fay se deparou com situações imprevisas, com erros, com experimentos desconcertantes e foi a partir de um árduo trabalho investigativo e exploratório que ele reconheceu a natureza da repulsão e enunciou dois princípios que conduziram a eletricidade a novos caminhos (BOSS; CALUZI, 2007). A análise de seus estudos permite evidenciar o diálogo entre seus constructos teóricos e as experimentações que desenvolveu. Contemporâneo de outros estudiosos envolvidos com pesquisas elétricas, como Hauksbee, Gray e Réaumur, Du Fay buscou encontrar regularidades nos fenômenos que já eram estudados e conferir a eles princípios gerais.

As “descobertas”¹ na eletricidade do início do século XVIII – como a repulsão elétrica, os dois tipos de eletricidade (vítrea e resinosa), os isolantes e condutores, a comunicação por contato e a distância percorrida pela virtude elétrica, etc. –, quando analisadas em seu contexto histórico-filosófico, permitem evidenciar a importância de aspectos subjetivos e lógicos presentes no contexto da descoberta e que são inerentes à ciência. Torna-se possível discutir, a partir de Du Fay, os papéis que um experimento pode assumir na pesquisa científica. Ademais, analisar o erro, a coletividade, a importância da persistência e, sobretudo, que as observações não são neutras; elas são subsidiadas por concepções teóricas de cada estudioso.

Contudo, no ensino de ciências a ausência de discussões de cunho histórico e filosófico, como normalmente ocorre nos manuais didáticos, pode gerar uma visão distorcida da dinamicidade científica. Equivocadamente, professores e livros didáticos, de modo geral, perpassam a imagem de que a investigação científica e a produção do conhecimento são procedimentos que envolvem aquele método científico, único e infalível (MOREIRA; OSTERMANN, 1993; KOHNLEIN; PEDUZZI, 2002; FERNÁNDEZ *et al.*, 2002); isento de erros, casualidades ou imprevistos. Contudo, é consenso entre os filósofos da ciência que o conhecimento não se constrói com uma sequência rígida de passos e segue um único método científico (FORATO *et al.*, 2011; GIL

¹Descobrir é muito mais do que uma mera observação ou um *insight*. A descoberta de algo é um processo complexo, que envolve o reconhecimento de sua existência e de sua natureza. Há vários tipos de descobertas científicas, cada qual com determinada estrutura conceitual. Uma discussão pormenorizada sobre este assunto pode ser encontrada, por exemplo, em Hanson (1967) e Raicik e Peduzzi (2015).

PÉREZ *et al.*, 2001). Segundo Kragh (2001), foi a própria história da ciência que ensinou à crença positivista que a ciência livre de considerações valorativas e culturalmente independente é um mito; mostrou também que o método científico, entendido como uma doutrina absoluta e canonizada, é um engano.

Com o propósito de desmistificar alguns desses estereótipos, por exemplo, vem se defendendo, enfaticamente, a inserção de estudos *sobre* a ciência no ensino (CLOUGH; OSLOM, 2008; PRAIA *et al.*, 2007; EL-HANI, 2006; LEDERMAN, 2007; PEDUZZI, 2005; MCCOMAS *et al.*, 1998; MATTHEWS, 1998, 1995; MARTINS, 2006; HODSON, 1986). Isso, de certo modo, significa explicitar os processos de desenvolvimento científico e as influências que a ciência sofre. Ou seja, em parte, propõe valer-se não apenas do contexto da justificativa, evidenciando resultados prontos, mas discorrer sobre o contexto da descoberta. Quando essa análise é explicitada, sobretudo com o uso de episódios históricos, percebe-se que não há, e não pode haver, uma dicotomia entre esses dois contextos. Todos os elementos de um contexto estão intrinsecamente ligados ao outro. A repulsão elétrica só pode ser uma “descoberta” atribuída a Du Fay, por exemplo, quando se analisa a gênese dessa descoberta, ou seja, ao se explorar a sua estrutura e os argumentos conferidos a ela. Quanto mais se pormenoriza a prática e o desenvolvimento científico, menos se percebe a separação entre os dois contextos (descoberta – justificativa) (STEINLE, 2006).

A história da eletricidade é nova se comparada com a de outras áreas do conhecimento, como a astronomia, a mecânica (ASSIS, 2011). Hoje, possuímos uma compreensão bastante razoável dos fenômenos elétricos devido aos conceitos que foram estruturados ao longo de sua história. O entendimento da repulsão elétrica, o reconhecimento do sistema de atração-contato-repulsão e a enunciação das eletricidades vítrea e resinosa, envolveu um processo rico entre as experimentações e as hipóteses desenvolvidas para compreendê-los. Comparado com o conceito de atração elétrica, a repulsão, por exemplo, levou muito tempo até que fosse descrita e explicada como um fenômeno, de fato, de natureza elétrica.

Neste artigo busca-se explicitar os estudos desenvolvidos por Charles Du Fay que exemplificam os distintos papéis que um experimento pode assumir na atividade científica. Sobretudo, que foram realizados em um período histórico onde o quadro conceitual na eletricidade era muito incipiente e comportava diferentes explicações para um mesmo fenômeno. Ademais, permeando as “descobertas” realizadas por esse investigador, procura-se evidenciar que a estrutura das mesmas não independe de sua

justificação, isto é, que uma “descoberta” é um processo complexo que envolve reconhecer a existência e a natureza de algo. Objetiva-se igualmente apresentar a razão para a atribuição da “descoberta” da repulsão elétrica ser dada a Du Fay, uma vez que esse fenômeno já era observado e estudado anteriormente. Por fim, ressalta-se a importância de considerações históricas e filosóficas no ensino que visa discutir, além de conceitos físicos, concepções relativas à Natureza da Ciência.

4.2. Os contextos da descoberta e da justificativa

No seu livro “Experiência e Predição”, publicado em 1938, Hans Reichenbach explicita a distinção entre o contexto da descoberta e o contexto da justificativa (DJ). Para esse filósofo, físico e matemático, os estudos apresentados à comunidade científica, e relevantes para a filosofia da ciência, deveriam apresentar uma *reconstrução lógica* do conhecimento, que não demandava, necessariamente, uma explicitação do seu desenvolvimento. Teria de haver uma significativa diferença entre como os trabalhos dos cientistas são apresentados aos seus pares e a forma pela qual eles foram realmente desenvolvidos.

O contexto da descoberta compreenderia os processos subjetivos da pesquisa científica (as ideias, a casualidade, os erros, os imprevistos) e deveria restringir-se ao interesse da história da ciência, da psicologia e da sociologia, disciplinas consideradas fatuais. O contexto da justificativa abrangeria uma reconstrução lógica da atividade científica; isento de aspectos “não-lógicos”, esse contexto deveria ser analisado pela filosofia e epistemologia da ciência, disciplinas de caráter normativo. Conforme Hoyningen-Huene (1987) esta distinção é fundamental para Popper, Carnap, Hahn, Neurath e Whewell.

Entretanto, a partir de 1960 iniciam-se reações a esta dicotomia, em autores como Hanson, Thomas Kuhn, Polanyi Michael e Paul Feyerabend. As críticas à distinção DJ explicitam a incoerência da separação entre a filosofia da ciência e a história na análise do procedimento científico. Nessa nova perspectiva, argumenta-se, por exemplo, que o tipo de pensamento envolvido no processo científico não difere fundamentalmente do raciocínio utilizado para a justificação, conseqüentemente, os contextos da descoberta e da justificativa são temporalmente indistintos. Nesse sentido, para uma análise mais pormenorizada e fidedigna do procedimento científico, alega-se que disciplinas empíricas são relevantes à epistemologia; elas podem explicitar elementos da atividade científica que possibilitam uma melhor compreensão do conhecimento e do seu desenvolvimento.

Embora a distinção entre os contextos DJ vise extinguir aspectos psicológicos e sociológicos do contexto da justificação, autores como Kuhn (2011) argumentam que esses elementos estão presentes nesse contexto, tanto na tomada de decisão e aceitação de um novo corpo de conhecimento pela comunidade científica, quanto individualmente pelos seus pares.

Outra objeção à dicotomia DJ refere-se à complexidade de uma descoberta científica. A compreensão de uma descoberta vai muito além da reconstrução lógica da investigação científica. O seu entendimento requer uma abordagem integrada entre história e filosofia da ciência, entre outras coisas. Uma descoberta não surge de uma mera observação, de um “insight” ou de um palpite; ela demanda reconhecer “tanto que algo ocorre quanto o que ele é” (KUHN, 2011, p. 189). O contexto da descoberta, portanto, envolve também aspectos lógicos da pesquisa científica.

As diferentes críticas à distinção entre os contextos da descoberta e da justificativa, no âmbito de uma nova perspectiva filosófica se comparada àquela do início do século XX, transcendem o ponto de vista de Reichenbach. Para além da distinção entre a maneira como a ciência é desenvolvida e como ela é apresentada para a comunidade, as objeções refletem uma nova postura da filosofia da ciência. Sobretudo, ela visa analisar a ciência como um processo que intercala as reconstruções lógicas e normativas com aspectos subjetivos presentes em seu processo.

4.3. Os estudos de Charles Du Fay

Charles François de Cisternay Dufay, um jovem tão diferente de Gray em temperamento, classe, educação (...). Em 1733 Dufay, aos 35 [anos], era enérgico, brilhante, minucioso e ordenado, já um dos principais membros da Academia de Ciências de Paris (...) (HEILBRON, 1979, p. 250).

Charles François de Cisternay Du Fay (1698 – 1739) nasceu em Paris em 1698. Seguiu a tradição da família que, por mais de um século, servia a Guarda Francesa. Ingressou como tenente em 1712, com apenas quatorze anos e permaneceu até 1723 quando, com a influência de sua família, candidatou-se e assumiu o cargo de químico adjunto na Academia Francesa de Ciências (HEILBRON, 1979; BOSS; CALUZI, 2007). No campo da eletricidade, suas maiores contribuições foram a distinção entre as eletricidades vítrea e resinosa, o reconhecimento do mecanismo de atração-contato-repulsão e, conseqüentemente, a “descoberta” da repulsão como um fenômeno genuinamente elétrico.

Sua família influente na sociedade e com boas condições financeiras oportunizou a ele fácil acesso na alta sociedade e na Academia. Sem experiências nos estudos científicos, Du Fay pode ter se beneficiado dessas circunstâncias sociais para alcançar, mais facilmente, o seu status. Um dos seus principais amigos, o cardeal Rohan, era um nobre e chefe eclesiástico da França. Rohan, em um momento fortuito, teria apresentado Du Fay para René Réaumur, um dos principais membros da Academia Francesa de Ciências. Isso culminou na sua aceitação como químico nessa instituição. Em resposta, Du Fay teria mencionado que:

Só você [Réaumur] que, por pura bondade, teve a gentileza de notar-me apenas para levantar meu grau de honra, [e] colocar a minha falta de mérito tão longe de mim. Eu posso, no entanto, garantir-lhe que esse sinal de favor vai me incentivar a tentar produzir, com trabalho árduo, o que de outra forma não possuo e que eu não pouparei esforços para justificar sua escolha à Academia. (DU FAY apud HEILBRON, 1979, p. 251).

Sua primeira publicação, ainda em 1723, discorria sobre estudos com fósforo de mercúrio. Em 1729 foi eleito membro da Royal Society, e três anos depois tornou-se intendente do Jardim *Du Roi* da França, onde trabalhou também com botânica. Foi nessa época que Du Fay teve contato com os trabalhos de Gray e Hauksbee, publicados na Royal Society. Conjectura-se que o interesse de Du Fay pelos fenômenos elétricos iniciou-se depois que ele leu os artigos acerca desse tema publicados na *Philosophical Transactions* (HOME, 1967; HEILBRON, 1980; BERNAL, 1969). Inclusive, em muitas de suas cartas, Du Fay se sente devedor de outros estudiosos, pela inspiração que seus trabalhos propiciaram.

Eu devo esta homenagem a esta ilustríssima corporação [Royal Society], não somente como um de seus membros, mas, neste aspecto, como um devedor dos trabalhos escritos pelo Senhor Gray e anteriormente pelo Senhor Hauksbee, ambos dessa sociedade (...) (DU FAY, 1733-4a, p. 258).

Em suma, Du Fay iniciou seus estudos repetindo sistematicamente as experiências de eletricidade desenvolvidas por outros estudiosos que, com igual interesse, buscavam compreender os intrigantes fenômenos elétricos. Cabe ressaltar que, “grosso modo, ninguém jamais repete um experimento” (HACKING, 2012, p. 331). Isto é, ao se “refazer” um

experimento, sempre se busca fazê-lo de maneira diferente; um material diferente, um direcionamento interpretativo distinto. Até o início do século XVIII, muitas características de alguns corpos, peculiares à eletricidade, haviam sido evidenciadas, mas a questão que norteou as novas pesquisas e, inclusive, os trabalhos desse estudioso referiam-se, sobretudo, à natureza desses fenômenos e os mecanismos que os norteavam (BINNIE, 2001).

4.4. Repulsão: um fenômeno genuinamente elétrico

Um dos trabalhos mais importantes de Du Fay foi publicado em 1733/4a² na *Philosophical Transactions*, intitulado *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.* Neste artigo ele apresenta, sucintamente, os estudos desenvolvidos e publicados em quatro memórias; ao todo ele publicou oito.

Na quarta memória, “*Quatrième mémoire sur l’électricité: De l’attraction et répulsion des corps électriques*” (DU FAY, 1733b), ele trata da atração e da repulsão entre os corpos. No início de seu relato, ele explicita a concepção que se tinha acerca da virtude elétrica: ela era uma virtude geral. O fato dos corpos atraírem ou repelirem uns aos outros estava associado a uma virtude que, na época, era considerada genérica e causa de ambos os fenômenos. A atração tornava-se, assim, a característica definidora da virtude elétrica. Hauksbee, por exemplo, explicava a repulsão através da teoria dos eflúvios. Nessa perspectiva, o mesmo eflúvio atrativo era, possivelmente, responsável pela repulsão. Niccolo Cabeo argumentava que um elétrico emitia pequenas partículas de seus poros, na forma de um eflúvio. Esse eflúvio afastava do corpo o ar de sua vizinhança e, depois de incidir sobre o ar não perturbado, rarefazendo o meio, esse ar retornava com rapidez para o elétrico.

Em geral, houve uma grande relutância em admitir a repulsão como um efeito oposto ao da atração elétrica (BONAUDI, 1993), devido as diferentes explicações dadas a esse fenômeno. Dessa forma, muitos

²⁶A Inglaterra utilizou o calendário juliano até 1752; dessa forma, até 1752 o ano-novo inglês começava em 25 de março. Entretanto, ‘grande parte da Europa já havia adotado o calendário gregoriano’. Por isso, para citar datas até o dia 25 de março utilizava-se uma indicação de ano que contemplava os dois calendários, na qual colocavam-se dois números para expressar o último dígito, como 1707/8. O primeiro número indicava o ano no calendário juliano e o segundo indicava o ano no calendário gregoriano. Após 25 de março utilizava-se somente o ano comum a ambos os calendários” (BOSS; ASSIS; CALUZI, 2012, p. 26).

estudiosos imaginavam que o eflúvio elétrico, responsável pela atração entre os corpos, ocasionava também, por algum mecanismo impreciso, mas de prevalência mecânico (colisões, rebotes), o seu afastamento. Cabe ressaltar que se encontra aqui uma das grandes percepções de Du Fay; reconhecer a natureza desse fenômeno que, até aquele momento, encontrava-se obscuro. Por fim, todas as explicações referentes à repulsão não explicitavam o seu caráter eminentemente elétrico. Por vezes, o fenômeno era interpretado apenas como uma repulsão “aparente” (ASSIS, 2011). Contudo, examinando com maior atenção o afastamento entre os corpos, Du Fay percebe que ele não era um fenômeno constante; em muitos casos, depois de ter havido a atração, não havia necessariamente, o afastamento. Este comportamento instável lhe chamou a atenção.

Inicialmente, observa que os corpos leves apenas eram repelidos por um elétrico quando aproximado de algum corpo de volume considerável.

(...) e isto me fez pensar que estes corpos tornaram-se elétricos quando aproximados do tubo, e que então eles também atraíam a penugem ou a folha de ouro, e que assim ele era ainda atraído ou pelo tubo ou pelo corpo vizinho, mas que não haveria jamais uma repulsão real (DU FAY, 1733b, p. 457).

Todavia, uma experiência sugerida por Réaumur vai lhe mostrar que esta sua conjectura estava incorreta. Ela consiste em aproximar um pedaço de cera da Espanha eletrizado de um pequeno monte de pó de escrever colocado na borda de uma carta (uma folha de papel ou talvez um pergaminho). Ao realizá-la Du Fay observa que as partículas do pó são afastadas para fora da carta, sem que se possa atribuir isto a atrações de corpos vizinhos.

Por vezes, como é o caso aqui, a experimentação não tem a única função de corroborar uma hipótese ou uma teoria; ela pode (re) orientar a pesquisa científica e a busca por novas explicações. O conhecimento experimental subsidia a projeção e a construção de aparatos como também permite manipular e desenvolver novos fenômenos. A natureza não se mostra por si só: ela se apresenta conforme a sua interação com o estudioso que a submete a uma condição específica. (IGLESIAS, 2004). A experiência desenvolvida por Du Fay, indicada por Réaumur, explicita mais uma vez a importância das experimentações qualitativas, no âmbito de uma experimentação exploratória (STEINLE, 2002), em que a evidência do jogo entre as hipóteses desenvolvidas e a experimentação é muito intensa.

Neste momento, Du Fay constata que a repulsão ocorria mesmo quando o arranjo de outros corpos na vizinhança havia sido modificado inteiramente. Assim, o efeito repulsivo ficou evidente; não poderia ser sustentado como uma consequência da atração. Por meio de um experimento ainda mais sensível (fig. 1), Du Fay corrobora este resultado.

Se colocarmos folhas de ouro sobre um cristal, e aproximarmos o tubo [de vidro eletrizado] por baixo, as folhas são repelidas para cima sem cair de volta sobre o cristal, e certamente não podemos explicar este movimento pela atração de nenhum corpo vizinho. A mesma coisa acontece através da gaze colorida e de outros corpos que deixam passar o escoamento elétrico, de modo que não podemos duvidar que não houvesse ali uma repulsão real na ação dos corpos elétricos (DU FAY, 1733b, p. 458).

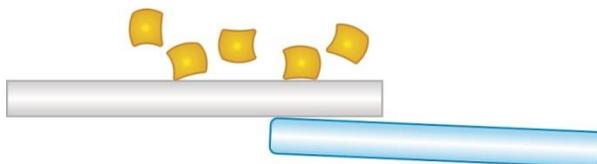


Figura 1 – Um das experiências que levou Du Fay ao reconhecimento da repulsão elétrica.

A partir dessas constatações, Du Fay atribui à repulsão um caráter elétrico. Nesta perspectiva, ele “descobriu” a repulsão elétrica (PEDUZZI, 2013; ASSIS, 2011; RONAN, 1983; HEILBRON, 1979; STEINLE, 2006). Ou seja, essa “descoberta” é atribuída a esse estudioso no sentido de que ele a admitiu como real e, de fato, existente. Assim, sua “descoberta” se deu pela justificativa de sua conjectura de que o afastamento entre os corpos é um evento elétrico. Como salienta Kuhn (2011, p. 81) permeando o contexto da descoberta vê-se, então, uma estrutura que não independe de sua justificativa, pois “é um processo complexo, que envolve o reconhecimento tanto da existência de algo, como de sua natureza”. Assim, pode-se dizer que:

A justificativa da hipótese seria uma característica constitutiva dessa descoberta. O contexto da descoberta é “carregado” com o contexto da justificativa, porque “descoberta” é um termo que se refere a uma conquista epistêmica: se há sucesso

em descobrir algo então, sem dúvida, esse algo existe (ARABATZIS, 2006, p. 217).

Em sua “descoberta” da repulsão elétrica em 1733, Du Fay já revelava uma expectativa teórica e psicológica. Ele esperava encontrar uma resposta ao afastamento de dois ou mais corpos depois dos mesmos terem se atraído, ao mesmo tempo em que precisava entender *o quê e por que* esse afastamento ocorria. De acordo com a classificação de Hanson (1967), essa “descoberta” é do tipo *puzzle-out*. Visto que muitos estudiosos já haviam observado o mesmo fenômeno, mas desenvolvido explicações que fugiam do escopo de interações elétricas, Du Fay o reconheceu e o descobriu, uma vez que atribuiu ao fenômeno de repulsão um caráter elétrico.

Não obstante, a atribuição dessa “descoberta” a Du Fay só se torna possível quando se analisa a gênese desse conhecimento. Somente analisando os trabalhos desse sábio e de seus pares é que se torna plausível argumentar que ele foi o descobridor da repulsão elétrica. Contudo, ainda que nomear alguém como descobridor de algo não seja o aspecto mais importante, com a história da eletricidade é possível explorar a gênese desse conceito e, por conseguinte, analisar o momento, e de que forma, foi atribuída a esse fenômeno a natureza elétrica. Sem uma análise histórica adequada – subsidiada por concepções filosóficas contemporâneas, como a análise concomitante dos contextos DJ – não seria possível conceber essa assertiva.

4.5. A enunciação de dois princípios gerais: o sistema ‘ACR’ e a eletricidade vítrea e resinosa

Com o intuito de analisar, sistematizar e encontrar um mecanismo simples que descrevesse o afastamento entre os corpos, depois de havido a atração, Du Fay refaz algumas experiências já desenvolvidas por outros estudiosos – com variações nas distâncias, nos tipos de materiais, no tamanho dos corpos etc. (PEDUZZI, 2013). Desta forma, o francês exercita e testa seus pressupostos teóricos. Como frizam Wong e Hodson (2008), as observações não falam por si; devem ser interpretadas. Buscando sempre uma regularidade, ele observa atentamente o comportamento dos corpos utilizados em suas experimentações. Com esse procedimento, conjectura que há uma relação entre os corpos que são ou não elétricos com os fenômenos de atração e repulsão. Essa constatação culminará no seu *primeiro princípio*.

Enfim, tendo refletido sobre o fato de que os corpos menos elétricos seriam mais vivamente

atraídos que os outros, eu imaginei que o corpo elétrico atrairia talvez aqueles que não são nem um pouco [elétricos] e afastaria todos aqueles que se tornaram elétrico pela aproximação e pela comunicação da virtude [elétrica] (DU FAY, 1733b, p. 458).

Du Fay comenta sobre uma experiência desenvolvida por Guericke, que consiste em manter uma penugem flutuando acima de uma esfera de enxofre atritada, mas que não obteve êxito em executá-la. “Esta falta de sucesso, vem do fato que a experiência não é detalhada o suficiente, ou do fato de que eu não a entendi bem” (DU FAY, 1733b, p. 458). Contudo, no artigo de 1733/4a, Du Fay comenta que efetuou esse experimento; “realizando o experimento relatado por Otto de Guericke” (p. 262). Por sua vez, Hauksbee também menciona que reproduziu esta experiência utilizando materiais mais simples. Com a configuração experimental de Hauksbee, Du Fay consegue (ou novamente consegue) realizar esta experiência. Ele esfrega um tubo de vidro para torná-lo elétrico e, segurando-o horizontalmente, deixa cair sobre este um pedaço de folha de ouro. A partir disso, ele apura que tão logo a folha de ouro toca no tubo ela é repelida perpendicularmente a uma distância que varia de acordo com o seu turbilhão elétrico³ (fig. 2). Du Fay alcançou distâncias de 8 e 10 polegadas.

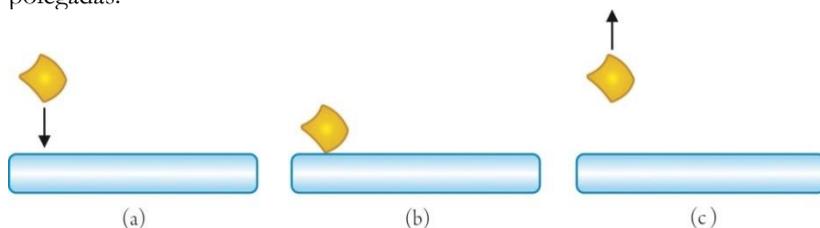


Figura 2 - Mecanismo de atração-contato-repulsão observado por Du Fay.

Acentuando sua suspeita inicial, Du Fay interpreta esse fenômeno da seguinte forma:

A explicação de todos esses fatos é bem simples, supondo o princípio que acabei de descrever; porque, na primeira experiência [fig. 12], quando se deixa cair a folha sobre o tubo [eletrizado], ele atrai fortemente esta folha que não é nem um pouco elétrica, mas assim que ela toca o tubo, ou que ela

³Turbilhão elétrico: equivalente à virtude elétrica; qualidade elétrica.

somente se aproxima dele, ela se torna elétrica, e por consequência ela é repelida, e mantém-se afastada até que o pequeno turbilhão elétrico que ela havia adquirido seja dissipado, ou pelo menos consideravelmente diminuído; não sendo mais repelida então, ela cai novamente sobre o tubo onde ela retoma um novo turbilhão (...) (DU FAY, 1733b, p. 459-460).

Du Fay explicita outras considerações a essa experiência. “Eu traria ainda uma observação curiosa, e que traz nova luz a esta hipótese” (DU FAY, 1733b, p. 460). Ele observou que aproximando o dedo ou outro corpo qualquer de volume considerável de uma folha de ouro suspensa – depois da mesma ter sido repelida por um tubo de vidro – a folha era atraída imediatamente e depois caía sobre o tubo de vidro novamente, onde adquiria um novo turbilhão elétrico e era então repelida. Du Fay explica, à luz de seu primeiro princípio, que assim que a folha de ouro toca o dedo ela lhe transmite toda a sua eletricidade, em consequência, perde toda a sua virtude elétrica e desta forma cai sobre o tubo. Ao cair ela é atraída e adquire um novo turbilhão elétrico. Se a folha de ouro encostar no dedo uma segunda vez, ela perde novamente sua eletricidade. “Vê-se a facilidade com que estas consequências advêm do princípio que havíamos suposto, e a forma como ele clareia todas estas experiências” (DU FAY, 1733b, p. 461).

Convicto de que já está de posse de um novo conhecimento, no artigo de 1733/4a, Du Fay explicita esse primeiro princípio da seguinte maneira:

Descobri um princípio muito simples, que explica grande parte das irregularidades e dos caprichos, se é que posso usar este termo, que parecem acompanhar a maioria dos experimentos em eletricidade. Este princípio é: corpos elétricos atraem todos aqueles que não estão desta forma, e os repelem assim que eles tornam-se elétricos, pela proximidade ou pelo contato com o corpo elétrico (...). Ao aplicar este princípio em diversos experimentos sobre eletricidade, fiquei surpreso com o número de fatos obscuros e intrigantes que clareou. (DU FAY, 1733-4a, p. 262- 263).

Assis (2011) menciona que esse primeiro princípio – comportamento regular de atração-contato-repulsão – foi considerado por

Du Fay uma grande “descoberta” “e isto com razão, já que a partir deste princípio é possível compreender uma grande quantidade de fenômenos elétricos” (p. 75). De acordo com Heilbron (1979), que denominou essa regularidade (atração-contato-repulsão) de ACR, essa “descoberta” explicou muitos fenômenos “bizarros” e, até então, “incompreensíveis”. Com esse princípio houve, com ainda mais ênfase, o reconhecimento pleno da repulsão elétrica. Wheler, em 1738, publica um artigo em que comenta que já havia descoberto essa regularidade ACR no verão de 1732, mas que não havia publicado nada sobre o assunto (HEILBRON, 1979). Ademais, ele não sugere nenhum mecanismo para explicar essa regularidade e deixa a Du Fay a honra dessa “descoberta”.

Esse primeiro princípio pode e deve ser visto no âmbito de uma “descoberta” mais universal. Foi por meio desse princípio que Du Fay constatou sua restrição – só era válido para dois corpos quando um deles tinha sido eletrizado por comunicação a partir do outro – e, a partir disso, enunciou o seu segundo princípio. Este outro princípio, mais abrangente, fomenta maiores interesses históricos, principalmente, por sugerir a existência de duas eletricidades. Segundo Arabatzis (2006), a geração de hipóteses e a forma final da justificação de uma descoberta são processos que não precisam coincidir. A justificação em si é um processo em constante evolução, por isso são raros, ou pouco frequentes, os casos em que a justificação de uma hipótese mantém a sua forma original e primeira.

Sendo assim, este episódio histórico exemplifica a incoerência, na perspectiva da moderna filosofia da ciência, da separação do contexto da descoberta do contexto da justificativa. Uma vez que a justificação é um processo em constante evolução, ao longo do processo da descoberta a justificação vai sendo (re) formulada. Logo, o contexto da descoberta e o contexto da justificação são processos temporalmente indistintos; a geração de hipóteses e a proposição de teorias visam a compreensão de um fenômeno e, de modo conseqüente, a resolução de um determinado problema. A investigação científica abrange muitas fases, cada qual envolve, mesmo que parcialmente, uma justificativa. Dessa forma, os contextos DJ são entrelaçados de tal maneira que não permitem, satisfatoriamente, uma análise dicotômica.

Du Fay prossegue com novas reflexões. Uma vez que os corpos tornados elétricos por comunicação ou pelo contato são repelidos por aqueles que os tornaram elétricos, ele se questiona se o mesmo acontece com todos os outros corpos elétricos, qualquer que seja o seu tipo. Ainda, se os corpos elétricos só diferem entre si pelo nível de eletricidade que possuem (DU FAY, 1733b; WHITTAKER, 1910; HEILBRON, 1979).

Sustentando no ar duas folhas de ouro com um tubo de vidro eletrizado, ele percebeu que elas sempre se mantinham distantes uma da outra. Isso condizia muito bem com o seu princípio: uma vez que ambas estavam eletrizadas deveriam estar se repelindo (fig. 3). Contudo, o que “desconcertou prodigiosamente” Du Fay foi sua seguinte experiência.

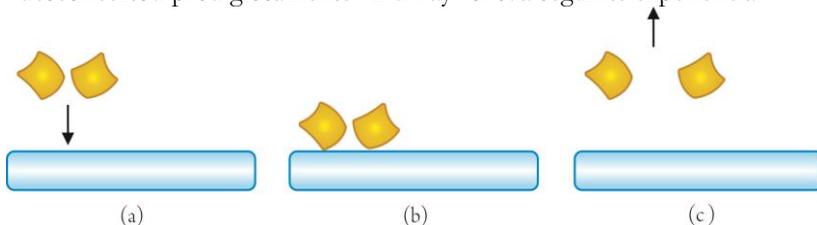


Figura 3 – Experiência com duas folhas de ouro suspensas por um tubo eletrizado. A distância (‘repulsão’) entre as folhas evidenciava a validade do primeiro princípio de Du Fay.

Em síntese, Du Fay suspendeu no ar uma folha de ouro por meio de um tubo de vidro eletrizado e aproximou da folha um pedaço de goma-copal eletrizado por atrito. A folha de ouro foi imediatamente atraída pela resina (fig. 4). Ele se diz surpreso com o resultado: “Confesso que esperava um efeito totalmente contrário, porque, segundo meu raciocínio, a copal que estava elétrica deveria afastar a folha que também estava” (1733b, p. 464). De acordo com seu primeiro princípio, ele esperava observar uma repulsão entre os corpos, já que dois corpos elétricos se repelem. No entanto, apesar de refazer a experiência inúmeras vezes, isso sempre acontecia utilizando âmbar, ouro ou cera da Espanha.

Depois de várias tentativas que não me satisfizeram, aproximei da folha de ouro repelida pelo tubo, uma bola [esfera] de cristal de rocha atritada e tornada elétrica, [e então observei que] ela repele esta folha da mesma forma que o tubo. Um outro tubo aproximado da folha, afasta-a do mesmo modo, enfim eu não pude mais duvidar que o vidro e o cristal de rocha, tenha feito o contrário que a goma copal, o âmbar e a cera de Espanha, de modo que a folha repelida por uns, por causa da eletricidade que ela contraiu, era atraída pelo outros; isto me fez pensar que talvez houvesse dois tipos de eletricidade diferentes (...) (DU FAY, 1733b, p. 465).



Figura 4 – Uma folha de ouro suspensa por um tubo de vidro eletrizado foi atraída por um goma-copal também eletrizado. Essa experiência foi “desconcertante” para Du Fay, pois contrariava seu primeiro princípio. Contudo, como sempre existem contrapontos, foi essa experiência que propiciou a enunciação de outro princípio, ainda mais relevante para os estudos elétricos.

Uma das primeiras impressões de Du Fay, além da surpresa, foi de refletir sobre como este fato havia passado despercebido, até aquele momento, por aqueles que se debruçavam nos estudos elétricos. Ainda, afirma que ele mesmo relutou em acreditar nessa nova característica da eletricidade, supostamente por contrariar seu primeiro princípio. A casualidade, nesse caso, levou Du Fay a se questionar sobre a validade de seu princípio anterior e para quais materiais isso poderia novamente ocorrer; “tais acidentes só encontram as pessoas que os merecem” (HANSTEEN, 1857), ou seja, quem tem pressupostos, interesses e habilidades suficientes para reconhecê-los. O “erro” constatado no primeiro princípio propiciou a Du Fay enunciar o seu segundo princípio, que no artigo de 1733/4a é exposto da seguinte maneira:

Por acaso lançou-se em meu caminho outro princípio, mais universal e extraordinário que o anterior, que lança uma nova luz sobre o tema eletricidade. Este princípio é: existem duas eletricidades distintas, muito diferentes uma da outra, uma que eu chamo de eletricidade vítrea e a outra de eletricidade resinosa. A primeira é aquela do vidro, pedra-cristal, pedra preciosa, pelo de animais, lã e muitos outros corpos. A segunda é aquela do âmbar, [resina] copal, goma-laca, seda, linha, papel, e um vasto número de outros materiais. A característica dessas duas eletricidades é que um corpo de eletricidade vítrea, por exemplo, repele todos aqueles que possuem a mesma eletricidade e, ao contrário, atrai todos aqueles de eletricidade resinosa (...). Deste princípio podemos, com a mesma facilidade, deduzir a explicação de um grande número de outros fenômenos. É provável que esta verdade nos leve a descobertas adicionais em muitas outras coisas (DU FAY, 1733-4a, p. 263-264).

No âmbito de uma visão de ciência considerada infalível, o erro é algo inaceitável. Contudo, como enfatiza Bachelard (2011), o erro faz parte do verdadeiro trabalho intelectual; é com a sua retificação que a ciência progride. Assim, o erro pode se manifestar (e muitas vezes o faz) como útil e positivo. “Para Bachelard, o erro tem uma função constitutiva importante na ciência, porque as verdades são sempre provisórias” (PEDUZZI, 2011). O caso de Du Fay ilustra isso. O erro constatado no primeiro princípio o levou à outra enunciação, ainda mais geral que a anterior. Segundo Lopes (1996), que faz menção à Bachelard, “o erro deixa de ser interpretado como um equívoco, uma anomalia a ser extirpada. Ou seja, com Bachelard, o erro passa a assumir uma função positiva na gênese do saber (...)”. (p. 252).

De acordo com Hanson (1967), a “descoberta” de Du Fay pode ser denominada de trip-over. Nesse tipo de “descoberta” não há um corpo teórico ainda totalmente formado referente ao fenômeno em questão. Nesse episódio histórico, a experiência apresentou um resultado inesperado, que permitiu à Du Fay classificar as substâncias em dois grupos diferentes, de acordo com seu comportamento. Segundo Praia *et al.*, (2002), a construção do conhecimento científico é pautada em um constante jogo entre as hipóteses que são formuladas e as expectativas lógicas ou não, que se sobressaem na pesquisa desenvolvida; é “um constante vaivém entre o que pode ser e o que ‘é’, uma permanente discussão e argumentação/contrargumentação entre a teoria e as observações e as experimentações realizadas” (p. 255).

É possível elucidar, com esse caso específico, a dinâmica que existe entre hipótese e experimentação no desenvolvimento do conhecimento científico. Inicialmente Du Fay formulou uma hipótese, corroborada pela experimentação, que resultou em seu primeiro princípio. No entanto, ele se deparou com resultados inesperados quando variou os materiais. Esse processo culminou com a enunciação de outro princípio, ainda mais universal, que se tornou uma de suas grandes contribuições para o campo da eletricidade.

Nos seus estudos, Du Fay explicita o método utilizado para a identificação da espécie de eletricidade de cada corpo. Ele argumenta que basta eletrizar uma determinada substância e aproximá-la de um material já categorizado, como o vidro ou o âmbar, e analisar se os corpos se repelem ou se atraem. Em suas palavras:

É preciso somente eletrizar uma linha de seda, que sabemos pertencer a [classe de] eletricidade resinosa, e verificar se aquele corpo eletrizado a atrai ou a repele. Se ele a atrair, certamente é da classe de

eletricidade que chamo de vítrea, e se ele a repelir é da mesma classe de eletricidade da seda, que é a resinosa (DU FAY, 1733-4a, p. 264-265).

Du Fay conclui sua quarta memória explicitando “duas novas verdades sobre esta matéria [eletricidade] e dois princípios dos quais não tínhamos até então a menor suspeita” (ibid, p. 475). A primeira “verdade” refere-se aos corpos elétricos que, depois de atrair determinadas substâncias só passam a repeli-las quando elas também se tornam elétricos pelo contato ou pela aproximação de ambos; a repulsão é um fenômeno elétrico. A segunda refere-se às duas eletricidades distintas, a saber, a vítrea e a resinosa.

Por fim, a insistência de Du Fay por organizar, regularizar e sistematizar os fenômenos elétricos até então conhecidos, antes de se lançar às novas experimentações, enriqueceram o seu trabalho e lhe proporcionaram descobrir essas “verdades” antes mencionadas, de grande importância para a história e o desenvolvimento da eletricidade.

4.6. Outros estudos elétricos

Ainda, no âmbito dos estudos elétricos, Du Fay desenvolve inúmeros experimentos utilizando fitas de cores diferentes. Stephen Gray havia afirmado que os corpos podem atrair mais ou menos de acordo com suas cores. Isso incentivou Du Fay a verificar tal hipótese, contudo, ele se depara com diferentes resultados.

Inicialmente, Gray eletrizou diversas fitas coloridas de mesmo tamanho e mesmo peso e verificou que o verde, o azul e o violeta atraíam mais fortemente que as outras cores (BOSS; CALUZI, 2007). Em um experimento que consistia em colocar gazes de diferentes cores em cima de um arco de madeira e sobre as gazes folhas de ouro, Du Fay observou que a folha de ouro foi atraída por todas as gazes, exceto a branca e a preta. Isso o levou a acreditar que as cores influenciavam muito para a eletricidade (DU FAY, 1733-4a). No entanto, modificando seu aparato experimental, ele obteve novos e contraditórios resultados. Verificou que, aquecendo ou umedecendo as fitas coloridas, todas elas atraíam as lâminas de ouro, aparentemente, em igual intensidade. Ainda explicita que lançando as cores de um prisma sobre uma gaze branca, essa gaze não apresentou nenhuma diferença em sua atração. “Por esta razão, a diferença não provém da cor em si, mas do material que é empregado para este fim” (DU FAY, 1733-4a, p. 260).

Na síntese de suas quatro memórias (1733-4a), Du Fay também comenta sobre os experimentos de Gray acerca da condução da virtude

elétrica através de um garoto suspenso por linhas de seda⁴. Du Fay pendurou a si próprio e observou com isso ‘coisas extraordinárias’.

Enquanto eu estava suspenso nas linhas, se o tubo eletrizado fosse colocado próximo às minhas mãos, ou minhas pernas, e então se outra pessoa se aproximasse de mim e passasse a sua mão a uma distância de aproximadamente uma polegada da minha face, pernas, mãos ou roupas, imediatamente emitiria de meu corpo uma ou mais picadas, com estalos, causados tanto na pessoa quanto em mim. Há uma pequena dor, semelhante a uma picada de alfinete ou queimadura de uma faísca, que é tão perceptível através das roupas quanto sobre a mão ou a face. No escuro estes estalos são, como pode ser facilmente imaginado, como muitas faíscas de fogo (DU FAY, 1733-4a, p. 261-262).

Ele ainda comenta que o mesmo efeito de estalos e faíscas ocorre com um animal vivo. Cabe salientar que Gray já havia mencionado a possibilidade de verificar a comunicação da virtude elétrica pendurando um animal, inclusive ele o fez com um pintinho vivo. Em 1735, Gray publica outro artigo na *Philosophical Transactions*, em que apresenta sua imensa satisfação por saber que Du Fay havia refeito sua experiência e, mais do que isso, feito novas descobertas como a do efeito luminoso.

Isso me traz uma satisfação que não é pequena, que minhas descobertas elétricas foram não apenas confirmadas por um filósofo [natural] tão sábio como o Sr. Du Fay, mas que ele tenha feito várias novas descobertas (GRAY, 1735, p. 17).

Ao final de sua síntese, Du Fay explicita a importância dos trabalhos de Gray para as suas descobertas e não reluta em admitir que foi a partir dos trabalhos desse estudioso (de outros investigadores e de vários trabalhos como apresenta em diferentes momentos nas suas publicações) que se inclinou para os estudos elétricos.

Imploro a Vossa Alteza [Charles, Duque de Richmond e Lenox] para comunicá-la a Royal Society e, em particular para o senhor Gray, que trabalha neste tema com muita aplicação e sucesso,

⁴Para maiores detalhes desse experimento sugere-se a leitura de Assis (2011).

para quem reconheço minha dívida pelas descobertas que fiz e também por aquelas que poderei fazer futuramente, visto que é dos escritos dele que eu tomei a decisão de dedicar-me a este tipo de experimento (DU FAY, 1733-4a, p. 265-266).

Em mais um momento da história, verifica-se a cooperação e a coletividade, ainda que evidenciada por meio de cartas e do diálogo direto entre os estudiosos, que se fazem presentes na atividade científica e norteiam o desenvolvimento científico. Esta característica esta cada vez mais presente na física atual, globalizada e marcada pela construção de redes de cooperação que trabalham para além dos limites territoriais, políticos, acadêmicos.

4.7. Considerações sobre os trabalhos de Du Fay: implicações para o ensino

Os estudos de Du Fay, especificamente a “descoberta” da repulsão elétrica e a enunciação de seus dois princípios, propiciam marcantes considerações epistemológicas, filosóficas e históricas para o ensino de ciências. Sobretudo, permitem ressaltar a complexidade do contexto da descoberta e alguns dos elementos subjetivos pertencentes e inerentes à ciência. A experimentação exploratória (STEINLE, 2002, 1997), que possibilita objetar a dicotomia entre os contextos da descoberta e da justificativa, está presente em seus estudos. Du Fay estava imerso em um momento histórico no qual inexistia um corpo teórico científico bem definido para os conceitos – considerados hoje triviais quando não analisados em seu contexto histórico (ASSIS, 2011). Os seus estudos, com evidente pluralidade metodológica, foram conduzidos por aspirações epistêmicas de “descobrir”, entender, compreender. Ou ainda, pelo anseio de alcançar regularidades empíricas elementares. Entretanto, uma maneira de especificar tal tipo de experimentação é estudar suas características através de uma análise dos pormenores da construção e da prática científica; concomitantemente aos contextos da descoberta e da justificativa. Dessa forma, torna-se possível compreender melhor a construção da ciência e analisá-la no âmbito da sua gênese e da sua validação.

Muitos estudiosos antes de Du Fay haviam observado o afastamento entre os corpos, depois da sua atração. Contudo, a observação de um fenômeno não presume uma “descoberta”. Descobrir requer argumentação, na qual é preciso dispor-se a querer entender o fenômeno e

explicá-lo. Ainda assim, muitos livros didáticos não contextualizam, normalmente, quando apresentam uma “descoberta” científica. No caso específico da repulsão elétrica, ao discorrer sobre o assunto, os livros abordam o seu descobridor como sendo aquele que observou e registrou o fenômeno; não fazem menção as distintas interpretações que permearam as explicações desse fenômeno até Du Fay (RAICIK; PEDUZZI, 2013). Sobretudo, sem uma contextualização adequada, uma “descoberta” não passa de um simples ato de lampejo. Quando, ao se discutir a “descoberta” da repulsão elétrica, atribui-se a Du Fay essa conquista rompe-se com a concepção de “descoberta” como sinônimo de observação ou vice-versa. Argumentando-se e contextualizando-se uma determinada “descoberta”, como a da repulsão, evidencia-se a estrutura conceitual e epistemológica desse contexto e a complexidade envolvida em uma investigação científica.

Percebe-se nos estudos de Du Fay o quanto ele se fez valer dos questionamentos e das problematizações. Com a repulsão entre os corpos foi assim. Ele iniciou seus estudos, especificamente nessa área, por perceber que esse afastamento não possuía uma regularidade. Assim, buscou um mecanismo que pudesse favorecer esse afastamento e, sobretudo, procurou e ansiou por uma explicação mais plausível àquela que se tinha para a repulsão entre os corpos. Permeando o contexto da descoberta vê-se, então, uma estrutura que não independe de sua justificação; é, como evidencia Kuhn (2011), um processo complexo que envolve reconhecer a existência e a natureza de algo. A indicação experimental de Reaumur à Du Fay exemplifica esse vínculo; a partir da comunicação e divulgação de seus estudos, Du Fay redireciona e dá novos rumos à sua pesquisa, reconhecendo o conceito e interpretando o fenômeno da repulsão elétrica.

O segundo princípio de Du Fay – ainda que “questionável”, já que atualmente se sabe que materiais podem carregar-se positiva ou negativamente, dependendo do material com os quais são atritados – é importante tanto do ponto de vista histórico, por propiciarem novos desenvolvimentos conceituais no campo da eletricidade, quanto didático. Suas discussões mostram que mesmo ideias, hipóteses e experiências “simples”, em princípio, são valiosas quando devidamente contextualizadas e analisadas. Os estudos de Du Fay podem também contraexemplificar algumas imagens problemáticas da natureza da ciência, como a empírico-indutivista, a individualista e elitista, a apromblemática e ahistórica, e a rígida – algorítmica, exata, infalível (GIL PÉREZ et al. 2001). Esse notável exemplar histórico desmistifica um dos grandes estereótipos da ciência: que ela é uma verdade permanente e inquestionável!

A enunciação do segundo princípio foi propiciada pelo “erro” constatado no primeiro. Esse, por sua vez, foi fruto de uma casualidade. Ao modificar as configurações de suas experiências, Du Fay percebeu que um dos fenômenos contradizia sua premissa. Dois corpos elétricos foram atraídos ao invés de se repelirem conforme, nessa perspectiva, deveria ocorrer. Contudo, como já foi mencionado, uma casualidade (ou um acidente), pode se tornar digna de atenção e propiciar novas investigações científicas, desde que percebida como tal. Assim, apenas uma mente propensa e imersa em determinados assuntos estaria apta para determinadas “descobertas” a partir de um acaso. Como enfatizam Kipnis (2005) e Hanson (1967), um acaso possui suas complexidades e seus pormenores devem ser explicitados. Desta forma, os autores caracterizam a relevância lógica em um evento casual e a importância da análise dos muitos fatores envolvidos na prática científica para a compreensão plena de um acaso – como, por exemplo, a inserção do estudioso em determinado contexto teórico interligado à casualidade ou ainda a expectativa ou não daquele acaso.

Por fim, a explicitação do contexto da descoberta em concomitância com o contexto da justificativa viabiliza uma análise mais aprofundada do procedimento científico e, por conseguinte, os fatores que o influenciam. Com isso, torna-se admissível analisar-se a estrutura envolvida em uma “descoberta” científica – e consequentemente extinguir a noção de observou-se, logo se descobriu que – que demonstra a necessidade de combinar discussões históricas e filosóficas no âmbito didático; “toda opção didática à história da ciência tem um embricamento inevitável com a filosofia da ciência” (PEDUZZI, 1998, p. 55). A explicitação da gênese do conhecimento, do processo do desenvolvimento científico e de alguns percalços da ciência, permite que se explore o real papel do experimento nas pesquisas científicas. Nem sempre ele serve para corroborar ou refutar uma teoria. Estas são alguns dos aspectos da natureza da ciência que não podem ficar ausentes da sala de aula, sob pena de tornar o ensino de física uma tarefa de memorização de fórmulas, sem significado, sem reflexão sobre o sentido e a importância da ciência na vida moderna, altamente tecnológica.

Referências

ARABATZIS, T. On the Inextricability on the context of Discovery and the context of justification. **Revisiting Discovery and Justification**, v. 14, p. 215-230, 2006.

ASSIS, A. K. T. **Os fundamentos experimentais e históricos da eletricidade**. São Paulo: Livraria da Física, 2011.

BACHELARD, G. **A formação do espírito científico: contribuição para uma psicanálise do conhecimento**. Rio de Janeiro: Contraponto, 2011.

BERNAL, J. D. **Science in History**. Volume 2: The Scientific and Industrial Revolutions. Penguin Books, 1969.

BINNIE, A. Using the History of Electricity and Magnetism to Enhance Teaching. **Science & Education**, v. 10, p. 379–389, 2001.

BONAUDI, F. Groping in the dark: magnetism and electricity from prehistory to (almost) Maxwell. **Nuclear Physics B-Proceedings Supplements**, v. 33, n. 3, p. 8-20, 1993.

BOSS, S. L. B.; ASSIS, K. T. A.; CALUZZI, J. J. **Stephen Gray e a descoberta dos condutores e isolantes**: tradução comentada de seus artigos sobre eletricidade e reprodução de seus principais experimentos. São Paulo: Cultura Acadêmica, 2012.

BOSS, S. L. B.; CALUZI, J. J. Os conceitos de eletricidade vítrea e eletricidade resinosa segundo Du Fay. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 29, n. 4, p. 635-644, 2007.

CLOUGH, M. O.; OSLON, J. K. Teaching and assessing the nature of science: An Introduction. **Science & Education**, v. 17, p.143–145, 2008.

DU FAY, F. R. 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**, v. 38, p. 258-266, 1733-4a.

DU FAY, F. R. S. Quatrième mémoire sur l'électricité. De l'attraction et répulsion des corps électriques. Tradução Livre: Rafaela Rejane Samagaia. **Mémoires de l'Académie Royale des Sciences**, p. 457-476, 1733b.

EL-HANI, C. N. Notas sobre o ensino de história e filosofia das ciências na educação científica de nível superior. In: Silva, C. C. (Org.). **História e**

Filosofia da Ciência no Ensino de Ciências: Da Teoria à Sala de Aula. São Paulo (Brasil): Editora Livraria da Física. p. 3-21, 2006.

GIL PÉREZ, D. *et al.* Para uma imagem não deformada do trabalho científico. **Ciência & Educação**, v. 7, n. 2, p. 125-153, 2001.

FERNÁNDEZ, I et al. Visiones Deformadas de La Ciencia Transmitidas por la Enseñanza. **Enseñanza de las ciencias**, p. 477-488, 2002.

FORATO. T. C. M.; PIETROCOLOA, 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.

GRAY, S. Experiments and Observations upon the Light That is Produced by Communicating Electrical Attraction to Animal or Inanimate Bodies, Together with Some of its Most Surprising Effects; Communicated in a Letter from Mr. Stephen Gray, F. R. S. to Cromwell Mortimer, M. D. R. S. Secr. **Philosophical Transactions**, v. 39, p. 16-24, 1735-6.

HACKING, I. **Representar e Intervir:** tópicos introdutórios de filosofia da ciência natural. Rio de Janeiro: EdUERJ, 2012.

HANSON, N. R. An Anatomy of Discovery. **The Journal of Philosophy**, v. 64, n. 11, p. 321-352, 1967.

HANSTEEN, Ch.: 1857, 'Letter to Faraday, December 30, 1857'. In: Jones, B. (ed.), **The Life and Letters of Faraday**, London, 1870.

HEILBRON, J. L. Experimental natural philosophy. In: Rousseau, G. S.; Porter, R. (ed.), **The Ferment Knowledge:** Studies in the Historiography of Eighteenth-Century Science, Cambridge University Press, 1980.

HEILBRON, J. L. **Electricity in the 17th & 18th Centuries.** Berkeley: University of California Press, 1979.

HODSON, D. Philosophy of Science and Science Education. **Journal of Philosophy of Education**, v. 20, n. 2, p. 215-225, 1986.

HOME, R. W. Francis Hauksbee's theory of electricity. **Archive for history of exact sciences**, v. 4, n. 3, p. 203-217, 1967.

HOYNINGEN-HUENE, P. Context of Discovery and Context of Justification. **Studies in History and Philosophy of Science**, v. 18, n. 4, p. 501-515, 1987.

IGLESIAS, M. El giro hacia la práctica en filosofía de la ciencia: una nueva perspectiva de la actividad experimental. **Opción**, n. 20, v. 44, p. 98-119, 2004.

KIPNIS, N. Chance in Science: the discovery of Electromagnetism by H.C. Oersted. **Science & Education**, v. 14, p. 1-28, 2005.

KÖHNLEIN, J. F. K.; PEDUZZI, L. O. Q. **Sobre a concepção empirista-indutivista no ensino de ciências**. Trabalho apresentado no VIII Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Física. Águas de Lindóia-SP, 2002.

KRAGH, H. **Introdução à historiografia da Ciência**. Tradução de Carlos Grifo Babo. Porto: Porto, 2001.

KUHN, T. S. **A estrutura das revoluções científicas**. São Paulo: Perspectiva, 2011.

LEDERMAN, N. G. Nature of science: past, present, and future. In: Abell, S. K.; N. G. Lederman (Eds.). **Handbook of research on science education**. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, p. 831-880, 2007.

LOPES, A. R. C. Bachelard: o filósofo da desilusão. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v.13, n.3, p. 248-273, 1996.

MARTINS, R. A. Introdução: história da ciência e seu uso na educação. In: Silva, C. C. (Org.). **Estudos de história e filosofia das ciências: subsídios para aplicação no ensino**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2006.

MATTHEWS, M. R. In Defense of Modest Goals When Teaching about the Nature of Science. **Journal of Research in Science Teaching**, vol. 35, n. 2, p. 161-174, 1998.

MATTHEWS, M. R. História, filosofia, e ensino de ciências: a tendência atual de reaproximação. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 12, n. 3, p. 164-214, 1995.

McCOMAS, W. F.; ALMAZROA, H.; CLOUGH, M. The nature of science in science education: in introduction. **Science & Education**, v. 7, p. 511-532, 1998.

MOREIRA, A. M.; OSTERMANN, F. Sobre o ensino do método científico. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v.10, n. 2, p. 108-117, 1993.

PEDUZZI, L. O. Q. Do efeito âmbar à garrafa de Leyden. Florianópolis: 2013. (*versão preliminar, publicação interna*).

PEDUZZI, L. O. Q. **Evolução dos Conceitos da Física**. 1. ed. Florianópolis: UFSC/EAD/CED/CFM, 2011. 130 p. (ISBN: 978-85-99379-92-9).

PEDUZZI, L. O. Q. Sobre a utilização didática da História da Ciência. In: Pietrocola, M.(org.). **Ensino de física: conteúdo, metodologia e epistemologia numa concepção integradora**. Florianópolis: Editora da UFSC, 2005.

PEDUZZI, L. O. Q. **As concepções espontâneas, a resolução de problemas e a História e a Filosofia da Ciência em um curso de Mecânica**. 1998. 850p. Tese (Doutorado em Educação) Centro de Ciências da Educação, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

PRAIA, J.; GIL PÉREZ, D.; VILCHES, A. O papel da natureza da ciência na educação para a cidadania. **Ciência & Educação**, v. 13, n. 2, p. 141-156, 2007.

PRAIA, J.; CACHAPUZ, A.; GIL PEREZ, D. A hipótese e a experiência científica em educação em ciência: contributos para uma reorientação epistemológica. **Ciência & Educação**, v. 8, n. 2, p.253-262, 2002.

RAIČIK, A. C.; PEDUZZI, L. O. Q. A estrutura conceitual e epistemológica de uma descoberta científica: reflexões para o ensino de ciências. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 32, n. 1, 2015. No prelo.

RAICIK, A. C.; PEDUZZI, L. O. Q. Uma análise da terminologia *descoberta* e sua contextualização nos livros didáticos: os estudos de Gray e Du Fay. In: V Encontro Estadual de Ensino de Física - RS, Porto Alegre. **Atas...**2013.

ROBERTS, R. M. **Descobertas acidentais em ciências**. Campinas, SP: Papirus, 1995.

RONAN, Colin A. **História ilustrada da ciência da Universidade de Cambridge**. Jorge Zahar Editor, 1983.

STEINLE, F. Concept formation and the limits of justification: "Discovering" the two electricities. **Revisiting Discovery and Justification**, p.183-195, 2006.

STEINLE, F. Experiments in History and Philosophy of Science. **Perspectives on Science**, v. 10, n. 4, p. 408-432, 2002.

STEINLE, F. Entering new fields: exploratory uses of experimentation. **Philosophy of Science**, v. 64, p. 565-574, 1997.

WHITTAKER, E. T. **A history of the theories of aether and electricity: from the age of Descartes to the close of the Nineteenth Century**. Londres: Longmans, Green and CO., 1910.

WONG, S. L.; HODSON, D. From the Horse's Mouth: What scientists Say About Scientific Investigation and Scientific Knowledge. **Science Education**, Wiley Periodicals, p. 109-130, 2008.

CAPÍTULO 5

Potencialidades e limitações de um módulo de ensino: uma discussão histórico-filosófica dos estudos de Gray e Du Fay

5. Potencialidades e limitações de um módulo de ensino: uma discussão histórico-filosófica dos estudos de Gray e Du Fay

Potentials and limitations of a teaching module: a historical- philosophical discussion of the studies of Gray and Du Fay

Resumo

Este artigo analisa os resultados obtidos com a aplicação de um módulo de ensino em uma disciplina de História da Ciência. Os dados foram obtidos através de um questionário aberto que demandou dos alunos uma análise histórica e filosófica de um período específico da eletricidade e uma apreciação crítica do módulo implementado na disciplina. Em termos gerais, a proposta do módulo se mostrou eficaz promovendo uma satisfatória articulação entre o conteúdo histórico e aspectos específicos da filosofia da ciência.

Palavras-chave: Módulo de ensino. História da Ciência. Filosofia da Ciência.

Abstract

This paper examines the results obtained with the implementation of a teaching module in a discipline of History of Science. Data were collected through a questionnaire which demanded the students a historical and philosophical analysis of a specific period of electricity and a critical assessment of the implemented module in the discipline. In general terms, the proposed module was effective promoting a satisfactory articulation between the historical content and specific aspects of the philosophy of science.

Keywords: Teaching module; History of Science; Philosophy of Science.

5.1 Introdução

A inclusão da História e Filosofia da Ciência (HFC) no ensino vem sendo defendida na literatura há bastante tempo

(CLOUGH; OSLOM, 2008; PRAIA *et al.* 2007; EL-HANI, 2006; LEDERMAN, 2007; PEDUZZI, 2005; McCOMAS *et al.* 1998; MATTHEWS, 1998; MARTINS, 2006; HODSON, 1986). Argumenta-se que, por meio dessa abordagem, o aluno pode se tornar mais crítico, sobretudo, acerca de aspectos epistemológicos da ciência. Nesta perspectiva, a HFC pode contribuir para, por exemplo, a compreensão do contexto sociocultural e científico de cada época, a desmistificação do método científico, a assimilação da interferência dos aspectos humanos e subjetivos no desenvolvimento científico, a clareza da noção de uma ciência mutável e instável (PEDUZZI, 2005; MATTHEWS, 1995).

Na área da física, disciplinas com enfoque histórico e filosófico estão presentes em várias universidades brasileiras (TENFEN, 2011). Entretanto, alguns aspectos relacionados à natureza da ciência, como o seu processo dinâmico, complexo e pluralmente metodológico, por vezes, são negligenciados. Conseqüentemente, a formação inicial de professores e cientistas fica ainda mais comprometida. Como aponta Massoni (2010), os professores, mesmo aqueles que tiveram uma formação adequada, parecem não estar preparados para operacionalizar e gerar reflexões sobre a Natureza da Ciência (NdC) em sala de aula. Sem a devida contextualização, tal como a histórica, a ética, a social e a filosófica (MATTHEWS, 1995), a educação científica fomenta concepções problemáticas sobre a ciência.

Um dos estereótipos, tradicionalmente disseminado em diferentes níveis de ensino, refere-se à imagem da investigação e da produção do conhecimento pautada em um método científico (GIL PÉREZ *et al.*, 2001; FERNÁNDEZ *et al.*, 2002; KOHNLEIN; PEDUZZI, 2002; MOREIRA; OSTERMANN, 1993). Em uma perspectiva positivista, a experimentação faz parte desse método, e é entendida como um meio para refutar ou corroborar uma teoria. Essa concepção, amplamente difundida no ensino de ciências, gera dificuldades quanto à compreensão da relação entre hipótese e experimentação no desenvolvimento científico, por exemplo.

O certo é que muitos estudantes acabam não compreendendo e não analisando criticamente a dialética científica e sua pluralidade metodológica. Assim, perpetuam-se visões ou imagens de ciência equivocadas (GIL PÉREZ *et al.*, 2001; McCOMAS *et al.*, 1998; REZENDE *et al.*, 2010). Efetivamente, quando se reflete a história da ciência à luz da

moderna filosofia da ciência percebe-se, entre outras coisas, que o desenvolvimento científico é incompatível com a ideia de um único método (rígido e infalível) e que a experimentação tem múltiplas funções na estruturação e consolidação de conhecimentos.

Steinle (2002) menciona que o experimento, no domínio de suas diversas funções, pode gerar e nortear novos conhecimentos. Em alguns períodos históricos – principalmente quando não há um corpo teórico ainda estruturado – a dinâmica entre hipótese e experimentação toma proporções tais, que não é possível atribuir ao experimento a única função de servir à teoria. Nesses momentos, os experimentos podem ser considerados *exploratórios* (STEINLE, 1997). Estes são conduzidos pelo desejo de compreender a natureza, pela busca de regularidades elementares, pela procura de novas descobertas. Não se enquadram, portanto, em um roteiro prescritivo.

A partir do século XX, no campo da filosofia da ciência, começou-se a debater, mais enfaticamente, a visão preponderante da experimentação. No âmbito de uma nova reflexão à ciência, os filósofos passaram a analisar mais detidamente, sobretudo a partir da década de 80, o significado da experimentação e os historiadores buscaram examiná-la no seu âmbito cultural, social e retórico (STEINLE, 2002). O papel subsidiário da experimentação é revisto, então, dado o reconhecimento da sua complexidade e das suas diferentes relações com a construção do conhecimento.

O filósofo da ciência Ian Hacking (2012), em seu livro “Representar e Intervir”, publicado originalmente em 1983, buscou resgatar a importância epistêmica da experimentação e argumentar que ela tem vida própria. Algumas experimentações “criam fenômenos que não existiam anteriormente em um estado puro” (p. 57). Esses fenômenos são frutos, não raro, de um intenso diálogo entre o experimento e as hipóteses que foram desenvolvidas antes e durante esse processo de construção. Neste contexto, a experimentação deixa de ser apenas corroboradora ou falseadora de uma teoria, passando a possuir um papel independente dela ou, ainda, uma função de mesma magnitude (GARCIA; ESTANY, 2010).

Não obstante, apesar dessas novas e relevantes considerações, o ensino, inadvertidamente, continua a desenvolver barreiras para uma melhor compreensão do papel do

experimento na ciência e, conseqüentemente, o de sua relação com as hipóteses. Uma das causas disso é a ênfase atribuída apenas aos resultados científicos. Segundo Garcia (2011) “devemos reconhecer que a nova imagem da ciência está orientada por uma relação entre a teoria e o experimento muito mais profunda e com maior riqueza conceitual” (p. 68).

Essas discussões requerem uma análise não apenas do produto científico, mas do seu processo. Com isso, a dicotomia entre os contextos da descoberta e da justificativa (DJ), disseminada por muitos anos entre filósofos, historiadores e sociólogos, também precisa ser revista. Para Reichenbach (1953), que foi o primeiro a explicitar essa distinção, o contexto da descoberta – que se refere ao processo e desenvolvimento científico – escapa de uma análise lógica, já que não possui regras que permitam “construir uma máquina descobridora que assumiria a função criadora do gênio” (p. 211).

Nesse panorama, o contexto da descoberta está relacionado, principalmente, com as origens psicológicas e deveria ser de interesse apenas da história, da psicologia e da sociologia. O contexto da justificativa, por sua vez, busca avaliar epistemologicamente tais ideias. Por conseguinte, a lógica só se preocupa com o contexto da justificativa, e o mesmo deveria ser de domínio da filosofia da ciência.

No entanto, argumenta-se, à luz da moderna filosofia da ciência, que tanto as disciplinas fatuais, como a história, a psicologia e a sociologia, quanto as normativas, como a filosofia da ciência, devem analisar os contextos inseparavelmente. Através de uma exploração concomitante desses dois contextos é possível analisar a dialética existente entre hipótese e experimentação na construção do conhecimento científico. Steinle (1997) argumenta que a compreensão da experimentação só pode ser plenamente alcançada por meio da história e da filosofia da ciência. Assim, a separação dessas duas áreas do conhecimento torna-se, no mínimo, questionável.

Para se discutir as relações entre hipóteses e experimentação, através de dimensões histórico-filosóficas, é preciso reconhecer que o saber passa por transformações. A admissão de que o “conhecimento trabalhado na escola difere daquele conhecimento produzido originalmente implica na aceitação da existência de processos transformadores que o modificam” (ALVES FILHO; PINHEIRO; PIETROCOLA,

2005, p. 78). Ademais, ainda que o saber passe por transformações (saber sábio → saber a ensinar → saber ensinado), isso não justifica a negligência de aspectos relevantes sobre a construção do conhecimento científico em sala de aula. Esses processos, no âmbito do saber ensinado (domínio predominante do professor) também dependem de uma concepção epistemológica que o docente tem sobre a ciência.

Nesta perspectiva, desenvolveu-se um módulo de ensino em uma disciplina de história da ciência do Departamento de Física da Universidade Federal de Santa Catarina. Utilizou-se como estudo de caso os trabalhos desenvolvidos por Stephen Gray e Charles Du Fay. Iglesias (2004) ressalta que, ao se trabalhar pontos específicos da história, através de estudos de caso, por exemplo,

encontra-se que não é a teoria que sempre guia a ciência, que a relação entre teoria e experimento tem sido diversa e não unitária (...). Descobre-se então que existem diversos modos em que a teoria tem se relacionado com o experimento. Algumas vezes se começa com observações para os quais não havia uma teoria que pudesse abarcar-las (explicá-las) (...) (p. 112).

A história da eletricidade, sobretudo a partir do século XVIII, apresenta muito fortemente a valorização do experimento para o desenvolvimento de novos conceitos nessa área do conhecimento. Os estudos de Gray e Du Fay propiciam analisar os diferentes papéis do experimento e seu diálogo com as hipóteses que estavam sendo formuladas, através de uma discussão acerca do contexto da descoberta e da justificativa.

Este artigo objetiva analisar o módulo de ensino à luz da transposição didática. Em um primeiro momento discutem-se as transformações pelas quais passam os saberes em uma transposição, identificando na sequência didática desenvolvida o seu “problema científico”. Posteriormente, discorre-se sobre os elementos do módulo de ensino, seus objetivos e o contexto da sua aplicação. A seguir, discutem-se os resultados obtidos com o módulo, por meio da análise de um questionário aberto. Por fim, discorre-se sobre as potencialidades (ou não) dessa transposição

didática, explicitando se ela respondeu ao seu “problema científico” (ASTOLFI; DEVELAY, 1990).

5.2. Transposição Didática

A transposição didática é um conceito cunhado, inicialmente, por Michel Verret em 1975 e investigado por Yves Chevallard, na década de 80 do século passado. Chevallard (1991) se propôs a analisar as diferentes transformações pelas quais passa o saber, desde sua origem na produção científica até sua inserção na sala de aula. Nessa perspectiva, todo o “trabalho que transforma um objeto do saber a ensinar em um objeto de ensino é denominado *transposição didática*” (CHEVALLARD, 1991, p. 45, grifo do autor).

De acordo com Marandino (2004), o livro *A didática das ciências*, de Astolfi e Develay (1990), foi um dos trabalhos que mais divulgou o conceito de transposição didática entre os pesquisadores de ensino das ciências no Brasil. Neste livro os autores argumentam que existe “uma ‘epistemologia escolar’ que pode ser distinguida da epistemologia em vigor nos saberes de referência” (ASTOLFI; DEVELAY, 1990, p. 48). O saber de referência é aquele produzido pelos cientistas, denominado “saber sábio”.

Este “saber sábio”, que reside na esfera científica, sofre modificações, pois no âmbito escolar não é este o conhecimento ensinado; “o conteúdo escolar é um objeto didático produto de um conjunto de transformações” (ALVES FILHO, 2000, p. 220). Assim, o saber como conteúdo escolar, consignado nos manuais didáticos, é o “saber a ensinar”. O saber da sala de aula, de domínio predominante do professor, difere dos saberes anteriores, ainda que seja influenciado pelos mesmos, e é designado de “saber ensinado”.

Segundo Chevallard (1991), o processo de transposição do saber sábio ao saber a ensinar passa por descontextualização, despersonalização e dessincretização. Esses processos fazem com que o saber perca o seu contexto epistemológico e histórico. Desta forma, com “o saber a ensinar é obtido um saber com uma nova roupagem, uma organização a-histórica, um novo nicho epistemológico e de validade dogmatizada” (ALVES FILHO, 2000, p. 127).

O saber a ensinar passa por processos de reformulações e reorganizações. Por vezes, isso “resulta em uma configuração *dogmática, fechada, ordenada, cumulativa* e, de certa forma, *linearizada*” (ALVES FILHO, 2000, p. 226, grifo do autor). Normalmente, o professor reproduz o conhecimento e, conseqüentemente, a concepção epistemológica dos manuais didáticos; assim essas concepções acabam se perpetuando no ensino.

Becker (1993 *apud* PAIS, 1999) desenvolveu uma pesquisa analisando a epistemologia do professor. Como resultado, constatou que

o pensamento predominante na prática docente, quanto ao significado epistemológico da sua disciplina, é de natureza essencialmente empírica e que normalmente é muito difícil o professor se afastar dessa posição. O que acaba predominando é uma visão estratificada e isolada da educação, o que leva a uma prática pedagógica fundamentada sobretudo na repetição e na reprodução do conhecimento (p. 20-21).

No entanto, sendo a transposição didática apenas um instrumento, o professor possui um papel importante na relação ternária do sistema didático (saber, professor, aluno). Assim, deve romper com as imagens estereotipadas da ciência, dentre elas a neutra e a empirista. Essas imagens são, geralmente, perpassadas nos manuais didáticos; contudo, o professor pode e deve buscar elementos mais adequados aos objetivos de sua sequência didática, a fim de minimizar a descontextualização, a despersonalização e a dessincetização presentes nesses materiais. É nessa perspectiva que as escolhas feitas na definição de um conteúdo a ser discutido em sala de aula não dependem apenas do saber acadêmico, mas de múltiplos fatores sociais (CAILLOT, 1996).

É importante que o professor reconheça a existência da transposição didática para desenvolver um ensino mais contextualizado (ALVES FILHO; PINHEIRO; PIETROCOLA, 2005) e, notoriamente, sem os estereótipos abordados por muitos livros didáticos. No entanto, isso exige uma constante vigilância epistemológica. Ou seja, os docentes precisam de uma formação adequada para que possam, ao menos, reconhecer os saberes e

como esses são expostos nos materiais didáticos. Ademais, identificar as lacunas que esses saberes podem trazer, especialmente em relação à História da Ciência e às concepções do trabalho científico. (CORDEIRO; PEDUZZI; 2012).

Uma transposição didática pode ser analisada à luz de algumas características, como: o seu *problema científico*, o qual se refere à questão que se pretende estudar, e as suas *atitudes e funções sociais*, que estão relacionadas à imagem de ciência e da atividade científica que se deseja promover entre os alunos, ou seja, às práticas futuras que a atividade, as discussões e as concepções debatidas irão suscitar.

Nessa perspectiva, desenvolveu-se um módulo de ensino, cuja sequência didática é pautada em uma perspectiva histórica e filosófica dos estudos iniciais da eletricidade. As imagens de ciência que se deseja fomentar nos estudantes, referente às *atitudes e funções sociais*, visam, sobretudo, a sua prática futura. Neste módulo, evidencia-se o processo do conhecimento científico como um jogo de hipóteses, uma permanente discussão e argumentação/contrargumentação entre teoria, observação e experimentação (PRAIA *et al.*, 2002). Compreender a dinâmica metodológica da ciência é relevante para o aluno em formação. Além de explicitar a importância dos seus procedimentos, permite discorrer sobre os diferentes papéis do experimento na pesquisa científica. Ademais, a reflexão sobre a natureza do conhecimento não é uma prerrogativa apenas do futuro professor, mas também do futuro cientista, tanto no que se refere a sua formação geral como quando ministrar aulas.

A contribuição da didática das ciências, particularmente o enfoque trazido por certos elementos da transposição didática (CHEVALLARD, 1991, MARTINAND, 2003, ASTOLFI; DEVELAY; 1990), pode auxiliar no desenvolvimento de materiais pedagógicos com conteúdos de História e Filosofia da Ciência para o ensino (FORATO *et al.*, 2012). Visto que a transposição didática “não é boa nem é ruim” (ALVES FILHO, 2000, p. 224), pode-se analisar se uma determinada transposição responde ao seu ‘problema científico’, ou seja, atinge o seu objetivo.

A questão que delimitou a análise do presente estudo – e que se refere ao *problema científico* – é: o módulo de ensino (composto por um texto, artigos, trechos de vídeos, atividade didática e seminários), que explora o conceito de experimentação

exploratória e a relação entre os contextos da descoberta e da justificativa, a partir dos estudos de Gray e Du Fay, contribui para que o aluno compreenda o diálogo entre hipótese e experimentação na construção do conhecimento relativo a esse episódio histórico específico?

5.3. Aspectos metodológicos da pesquisa

5.3.1. O módulo, seus objetivos e o contexto da sua implementação

Em muitas instituições de ensino superior, a História da Ciência é tratada em uma disciplina específica do currículo de um curso de física (TENFEN, 2011). A disciplina Evolução dos Conceitos da Física da Universidade Federal de Santa Catarina, oferecida aos alunos da licenciatura e do bacharelado, na última fase do curso, é um exemplo. Esta disciplina possui uma carga horária de 72h, é obrigatória e objetiva analisar, histórica e epistemologicamente, os desenvolvimentos conceituais das teorias físicas, desde os gregos antigos até o século atual, ensejando tópicos sobre a relação ciência e sociedade.

Com o intuito de discutir mais enfaticamente alguns pontos histórico-filosóficos de um dos segmentos dessa disciplina que aborda o eletromagnetismo, desenvolveu-se o módulo “Uma discussão histórico-filosófica da eletricidade: os estudos de Gray e Du Fay”. No primeiro semestre de 2013, este módulo foi implementado durante quatro aulas de 50 minutos. Nesse semestre letivo, excepcionalmente, todos os quinze alunos que cursaram a disciplina eram estudantes do bacharelado.

O módulo foi constituído por um texto, dois artigos, três trechos de vídeos, dois seminários e uma atividade didática, realizada em sala de aula.

Os seminários foram desenvolvidos durante as quatro aulas, que comportaram apresentação em *slides*, atividade didática e convites a discussões. Uma das características da disciplina – o posicionamento crítico dos alunos acerca dos textos, com leitura prévia dos mesmos, antes de cada aula – norteou o desenvolvimento e a implementação dessas aulas, mantendo-se a essência metodológica da disciplina.

O texto “Do efeito âmbar à garrafa de Leyden” (PEDUZZI, 2013) apresenta um resgate histórico dos estudos

elétricos desde os gregos antigos até a garrafa de Leyden. Entre outras coisas, discute as percepções iniciais que se tinha acerca dos fenômenos elétricos, explicitando alguns dos primeiros instrumentos desenvolvidos, como o perpendicular, o versório e a máquina eletrostática. Nas seções referentes aos estudos desenvolvidos por Gray e Du Fay, discorre sobre o contexto das descobertas desses dois estudiosos explorando, sobretudo, um campo incipiente de conceitualização na qual se encontra a eletricidade nesse período. Aborda, ainda, o surgimento do primeiro dispositivo capaz de acumular e tornar disponível o fluido elétrico – a garrafa de Leyden – e as contribuições de Benjamin Franklin à ciência da eletricidade.

Os artigos “Uma abordagem histórica e experimental à eletricidade em uma disciplina sobre a evolução dos conceitos da física” (RAIČIK; PEDUZZI, 2013a) e “Uma discussão sobre os contextos da descoberta e da justificativa nos estudos de Du Fay” (RAIČIK; PEDUZZI, 2013b) contemplam, respectivamente, discussões sobre a dinâmica entre hipótese e experimentação nos estudos iniciais da eletricidade e uma análise de cunho histórico-filosófico dos contextos da descoberta e da justificativa nos estudos de Du Fay. Assumindo-se a leitura prévia destes artigos (e do texto), procurou-se discorrer, ao longo dos seminários, sobre as relações existentes entre as convicções teóricas de um investigador e as experimentações que desenvolve em sua pesquisa, e, conseqüentemente, o envolvimento intrínseco entre os contextos DJ.

Com o uso dos três vídeos, objetivou-se promover uma melhor visualização de alguns fenômenos ‘elementares’ da eletricidade. Dois trechos foram selecionados do documentário da BBC “Shock and Awe. The Story of Electricity”, que apresenta a espetacular luz azulada emitida por um vidro e o aparato experimental utilizado por Gray em uma de suas famosas experiências com o “garoto suspenso por fios”. O vídeo “La danse des feuilles d’or” demonstra uma experiência similar à realizada por Du Fay. Buscou-se potencializar didaticamente esses vídeos, aliando-os a comentários ou a fatos históricos pertinentes.

A atividade didática proposta com eletroscópios procurou explorar o conceito de *experimentação exploratória* (STEINLE, 1997; 2002), despertando a reflexão do aluno quanto aos materiais que estavam sendo utilizados. Buscou-se, assim, propiciar condições para que o desenvolvimento da atividade dependesse das

hipóteses elaboradas pelos alunos. Cada estudante recebeu um conjunto de sete figuras; representavam eletroscópios de alumínio e de cartolina (carregados e não carregados eletricamente), uma madeira, um canudo plástico e uma madeira revestida em parte por um canudo plástico. Com as mesmas, eles deveriam montar um esquema representacional de dois eletroscópios que, unidos pelo canudo, pela madeira ou pela madeira-canudo, implicaria nos dois eletroscópios carregados no final (se esse sistema fosse, de fato, realizado empiricamente). Para tanto, como orientação inicial, eles deveriam partir de um eletroscópio ‘teoricamente’ já eletrizado. Com essa dinâmica, instigou-se os alunos a refletirem sobre as propriedades desses materiais a fim de introduzir, posteriormente, o contexto histórico da descoberta dos corpos isolantes e condutores.

O módulo “Uma discussão histórico-filosófica da eletricidade: Os estudos de Gray e Du Fay” tem os seguintes objetivos: i) explorar vínculos de dependência entre hipótese e experimentação nos estudos de Gray e Du Fay; ii) avaliar a capacidade dos alunos em evidenciar a dinâmica entre hipótese e experimentação, através de uma análise crítica sobre os contextos da descoberta e da justificativa nos estudos de Gray e/ou Du Fay. A pesquisa visa contribuir para que o aluno compreenda o diálogo entre hipótese e experimentação na construção do conhecimento científico, especificamente na elaboração dos conceitos iniciais da eletricidade desenvolvidos por esses estudiosos, por meio de uma análise concomitante entre os contextos DJ.

5.3.1.1. Primeira e segunda aulas

Em um primeiro momento, buscou-se fomentar discussões sobre a investigação científica; a relação existente entre as convicções teóricas dos estudiosos com as experimentações que desenvolvem e o vínculo dos contextos da descoberta e da justificativa. Isso foi explorado por meio de slides e exposição oral. Procurou-se, principalmente, discutir que a prática científica é, muitas vezes, permeada por situações inesperadas, dúvidas, problematizações, erros, constantes reflexões, diversas hipóteses que, em diálogo com as experimentações, propiciam um desenvolvimento ímpar no que tange aos estudos científicos. Por serem do curso de bacharelado – e, portanto, não estarem habituados a discussões *sobre* a ciência – os alunos demonstraram

bastante interesse por esse momento da aula, mais enfaticamente, nos elementos lógicos e complexos que podem estar contemplados em uma descoberta científica. Isso fica mais evidente até mesmo em uma descoberta casual, pois faz emergir os pressupostos teóricos do estudioso que, para entender ‘o novo’, precisa reconhecer a sua existência e a sua natureza. Enquanto estudantes de física, alguns deles, manifestaram incômodo por não possuírem no currículo disciplinas que discutam aspectos relativos à Natureza da Ciência além da disciplina Evolução dos Conceitos da Física.

Um segundo momento tratou dos estudos iniciais da eletricidade. Apresentou-se e discutiu-se as primeiras conjecturas feitas pelos filósofos naturais acerca do efeito âmbar e dos efeitos da pedra-ímã. O texto base para isso foi “Do efeito âmbar à garrafa de Leyden” (PEDUZZI, 2013). Durante as aulas, alguns materiais complementares foram utilizados para subsidiar o diálogo em sala e as experimentações desenvolvidas. Dentre eles, a obra “Fundamentos experimentais e históricos da eletricidade” (ASSIS, 2011). Esse livro permitiu o desenvolvimento e o debate acerca de algumas experiências bastante comuns nos estudos da eletricidade; como a atração de papéis com um tubo de PVC eletrizado. A problematização suscitada aos alunos, a partir desse experimento, pautou-se na sua simplicidade e na sua relevância na história da eletricidade. Essas interlocuções de demonstrações experimentais e questionamentos acerca de alguns fenômenos e experimentos elétricos os instigou, sobretudo, a analisar a História da Ciência sob o contexto de determinada época. Isso se refletiu nas discussões que se seguiram, e também nas considerações feitas no questionário respondido posteriormente, onde eles manifestaram que essa é uma experiência simples, mas que aborda conceitos físicos relevantes. Outros alunos explicitaram que, na perspectiva de hoje, essa experiência elementar da eletricidade pode ser considerada trivial, porém, quando das primeiras observações desse fenômeno ela certamente não o foi, devido ao inusitado efeito que apresenta. Cabe ressaltar que muitos alunos preferiram não se posicionar sobre a questão levantada. Possivelmente, porque os comentários dos demais colegas condiziam com o que iriam expressar ou, ainda, por não estarem acostumados a debater em sala de aula, uma vez que esse hábito não é usual em outras disciplinas do currículo.

Após a introdução do desenvolvimento inicial da eletricidade, contextualizando o efeito âmbar e discorrendo sobre alguns instrumentos elétricos como o perpendicular e o versório, apresentados em sala de aula (ASSIS, 2011), passou-se um trecho do vídeo “Shock and Awe. The Story of Electricity” (com duração de 6min e 11s) que exibe a luz azulada emitida por um vidro eletrizado quando aproximado de um corpo condutor. O vídeo despertou interesse não apenas por ilustrar a fabulosa luz, mas também por esse fenômeno ser visto como mágico ou místico, naquele contexto histórico. Como salientou um dos alunos, esse efeito luminoso já é impressionante e estimulante para um estudante de hoje, logo, naquela época, a sua visualização deve ter sido realmente nova e extraordinária.

Para iniciar a discussão da ‘descoberta’ dos conceitos de condutores e isolantes, propôs-se uma atividade didática (descrita na seção 5.3.1) utilizando eletroscópios representativos. Em função disso, e como parte de uma estratégia pré-concebida, instigou-se a reflexão do que vem a ser uma experiência exploratória (STEINLE, 2002; 1997). Esse momento do seminário oportunizou uma dinâmica maior entre os alunos, o professor-pesquisador e a atividade em si; relação corroborada na análise do questionário. Os alunos não conseguiram, de imediato, compreender o procedimento da atividade, ainda que uma descrição estivesse projetada em *slide*. Nessa perspectiva, algumas explicações mais pontuais (referentes a sua realização) foram feitas individualmente. O material experimental (figuras de papel) foi entregue com um clipe de metal, que não fazia parte da experiência. Muitos alunos, por não compreenderem adequadamente a atividade, entenderam que esse clipe poderia ser utilizado como parte do “experimento”. Um aluno questionou, ao final da atividade, se a mão (apresentada em uma figura do *slide*) era uma variável no sistema em análise. Novamente, o professor-pesquisador buscou explicitar melhor como a atividade poderia ter sido desenvolvida e os materiais que, realmente, faziam parte dela. A mão, nesse caso, não era, em princípio, um componente da atividade, mas se fosse, novas maneiras de resolver o sistema proposto seriam possíveis. Contudo, isso só foi discutido, sucintamente, depois que a atividade já havia sido explorada pelos alunos, uma vez que esse questionamento foi posterior a ela.

Embora a atividade não tenha ficado muito clara na perspectiva desses alunos (essa mesma atividade havia sido

desenvolvida e validada em uma outra turma da mesma disciplina), eles se envolveram de maneira muito positiva. Houve, inclusive, conversação e debate entre eles, que procuraram entender que papel cada material poderia desempenhar para que ambos os eletroscópios pudessem ficar eletrizados. Visto que, comumente, os alunos estão acostumados a desenvolver atividades experimentais mais tradicionais, em que se preenchem tabelas a partir de um procedimento explícito do que deve ser feito, essa atividade, ainda que representacional, permitiu analisar a diferença entre atividades experimentais prescritivas e aquelas que possibilitam uma maior reflexão e tomada de decisão por parte do ‘investigador’, nesse caso os alunos. Também evidenciou a possível resistência dos alunos para atividades que fogem do usual. Na seqüência dessa atividade, o professor-pesquisador demonstrou, com materiais concretos, a eletrização de ambos os eletroscópios a partir da sua união por um palito de madeira.

Mesmo que os estudantes já tivessem cursado a disciplina Física Geral III, cabe salientar que a atividade conseguiu envolver os alunos para, além de exercitar a dinâmica de desenvolver hipóteses e a “experimentação”, fomentar reflexões sobre os conceitos tratados. A maioria deles mostrou surpresa com a constatação da madeira (de pinos; específica utilizada na atividade) ter comportamento de condutor nas experiências de eletrostática. Um aluno problematiza: mas uma madeira pode, realmente, ser um condutor? E continua: se eu precisasse escolher entre ficar sobre um plástico ou sobre uma madeira para me isolar, sem dúvida, escolheria a madeira. Mais uma vez foi acentuado que existem diferentes tipos de madeiras e, em experiências usuais de eletrostática, esse material – como visto em sala e como também específica Assis (2011) – se comporta como um condutor.

5.3.1.2. Terceira e quarta aulas

A terceira e a quarta aulas tiveram exposição similar às primeiras; *slides*, exposição oral, proposta de discussões, demonstrações experimentais e trechos de vídeos. A partir da atividade desenvolvida na aula anterior, iniciou-se a terceira aula com o contexto histórico da conceitualização dos corpos isolantes e condutores descoberta por Stephen Gray no início do século XVIII. O trecho do vídeo “Shock and Awe. The Story of Electricity” (com duração de 2min e 50s) foi introduzido,

especialmente, para a visualização da experiência desenvolvida por Gray em que mantém um menino suspenso por fios. Os alunos, de certa forma, ficaram surpresos por apreciarem a casualidade presente nos estudos de Gray que, bem analisada e estudada, propiciou a descoberta dos corpos que transmitem ou não a ‘virtude’ elétrica.

Posteriormente, discorreu-se sobre os estudos de Charles Du Fay, explicitando os motivos pelos quais se atribui a ele a ‘descoberta’ da repulsão elétrica. Nessa aula, a partir das considerações de Hanson (1967) e Kuhn (2011a; 2011b), por exemplo, ponderou-se acerca da estrutura conceitual e epistemológica de uma descoberta científica e sua complexidade em um processo histórico. No desenrolar dos estudos da repulsão elétrica, buscou-se demonstrar a experiência realizada por Du Fay em que mantém uma folha de ouro flutuando sobre um tubo de vidro eletrizado. Contudo, devido a condições atmosféricas, ou de outra natureza, não se obteve sucesso na sua realização utilizando um tubo de PVC e um papel laminado (ASSIS, 2011). De qualquer modo, apresentou-se o vídeo “La danse des feuilles d’or” (com duração de 1min e 11s), que exhibe essa experiência com os mesmos tipos de materiais usados por Du Fay. A experiência avivou ainda mais o interesse dos alunos, uma vez que, de fato, ela é bastante instigante. Mesmo conhecendo os conceitos físicos envolvidos nesse fenômeno, os alunos comentaram que o efeito do mesmo parecia mágica. O uso do vídeo, neste caso, foi imprescindível, uma vez que a experiência concreta não pôde ser realizada com sucesso.

Nessas aulas, assim como nas anteriores, foram feitas várias citações originais, tanto dos trabalhos de Du Fay como dos de Gray. Nessa perspectiva, um aluno questionou: as citações diretas de Du Fay podem ser encontradas em um livro por ele publicado? O professor-pesquisador comentou então que, nesse período histórico, os estudiosos enviavam cartas às instituições científicas (Royal Society e Academia Francesa de Ciências, por exemplo) que, posteriormente, eram publicadas em seus periódicos (Philosophical Transactions, Comptes Rendus, Mémoires de l’Académie Royale des Sciences). Outro aluno perguntou: que pessoas tinham acesso a essas cartas? Mencionou-se que, em princípio, eram os membros dessas instituições; contudo, isso não se restringia apenas a eles. Evidentemente, o constante diálogo entre os estudiosos (através de cartas pessoais,

reuniões, conversas informais) também propiciava a disseminação de conhecimentos.

Problematizações do tipo: como se deu o processo dessa descoberta e como ela deve ser analisada em seu contexto histórico, nortearam a apresentação dos conteúdos. Fez-se também, durante essas aulas, considerações sobre a importância do erro na ciência, das casualidades, do imprevisível e, acima de tudo, das convicções teóricas dos estudiosos em cada um desses momentos. Em termos epistemológicos buscou-se, sobretudo, contrapor-se a concepção empírico-indutivista da ciência, comumente disseminada no ensino (GIL PÉREZ *et al.*, 2001, FERNÁNDEZ *et al.*, 2002) e explicitar a relevância da gênese do conhecimento tanto para a compreensão da atividade científica (com toda a sua subjetividade) quanto para a análise de uma descoberta. Em geral, observou-se que os alunos demonstraram um interesse relevante com as discussões *sobre* a ciência. Ademais, manifestaram apreciar as metodologias utilizadas nessas aulas; que não foram apenas expositivas. Essas considerações preliminares foram corroboradas posteriormente quando das respostas dos alunos a questão 2 do questionário.

5.3.2. Natureza metodológica da pesquisa e os instrumentos de coleta de dados

A pesquisa desenvolvida é de natureza qualitativa. Bogdan e Biklen (1994) apresentam características básicas para diferentes abordagens desse tipo de pesquisa: i) A pesquisa qualitativa tem o ambiente natural como sua fonte direta de dados e o pesquisador como seu principal instrumento; ii) Os dados coletados são predominantemente descritivos; iii) A preocupação com o processo é muito maior do que com o produto; iv) O “significado” que as pessoas dão às coisas e à sua vida são focos de atenção especial pelo pesquisador; v) A análise dos dados tende a seguir um procedimento indutivo.

De acordo com Erickson (1986) a pesquisa qualitativa é, sobretudo, interpretativa, uma vez que busca compreender os significados atribuídos pelos sujeitos a eventos e objetos em suas ações em um determinado contexto. Na perspectiva dessa forma de pesquisa, os dados coletados possuem caráter, normalmente, descritivos (BODGAN; BIKLEN, 1994). Assim, os resultados são apresentados por descrições e narrativas, por exemplo,

acompanhados dentre outros documentos, por fragmentos de entrevistas ou questionários (TRIVINOS, 1987).

A observação direta permite que o pesquisador se aproxime da perspectiva dos sujeitos (LUDKE; ANDRE, 1986). Contudo, importa destacar que o ato de "observar" difere de simplesmente olhar; observar demanda especificar, dentre outras coisas, os sujeitos e, a partir disso, prestar atenção em suas características.

Os questionários abertos também são úteis para estudar os processos e os produtos que interessam ao investigador em uma pesquisa qualitativa. Eles se caracterizam

por perguntas que levam o entrevistado a responder com frases ou orações. Portanto, o pesquisador não está interessado em antecipar as respostas, e sim, deseja maior elaboração das opiniões do entrevistado (...). Uma das grandes vantagens de perguntas abertas é a possibilidade de o entrevistado responder com maior liberdade, não estando restrito a marcar uma ou outra alternativa (RICHARDSON, 1985. p. 209).

No entanto, a indagação proposta aos sujeitos da pesquisa deve, imprescindivelmente, estar clara, precisa e apontar, sobretudo, a essência do problema (TRIVINOS, 1987).

5.4. O questionário

O questionário proposto aos alunos na presente pesquisa constou como uma das avaliações da disciplina e deveria ser desenvolvido individualmente e dentro de um prazo estipulado. Em pesquisas que utilizam questionários abertos, é fundamental a consideração de que os sujeitos, geralmente, escrevem suas ideias, suas análises, e isso exige deles tempo e esforço (TRIVINOS, 1987).

O questionário compreendeu as seguintes questões:

1. (Q1) A partir do seminário “Uma discussão histórico-filosófica da eletricidade: os estudos de Gray e Du Fay” [parte 1 e parte 2], dos artigos “Uma discussão sobre os contextos da descoberta e da justificativa nos estudos de Du Fay”, “Uma

abordagem histórica e experimental à eletricidade em uma disciplina sobre a evolução dos conceitos da física” e do texto “Do efeito âmbar à garrafa de Leyden”:

• Desenvolva uma análise crítica sobre os contextos da descoberta e da justificativa, a partir dos estudos de Gray e/ou Du Fay, evidenciando a dinâmica existente entre hipótese e experimentação no processo de construção do conhecimento científico.

2. (Q2) O módulo relativo a um segmento da história da eletricidade é parte de uma pesquisa de mestrado. Assim, que comentários e sugestões você teria quanto:

a) A dinâmica em sala de aula; b) A atividade proposta com os eletroscópios; c) Aos textos e artigos; d) Aos vídeos.

O embasamento metodológico para a análise qualitativa do questionário encontra-se na Teoria Fundamentada de Strauss (MASSONI, 2013). A construção de *categorias iniciais* partiu de uma *microanálise* que, segundo Strauss, envolve a apreciação do documento “linha por linha”. Nesse procedimento inicial, examina-se uma palavra ou frase que pode ser analiticamente interessante. É essencial, e prolífico também, nessa etapa da análise, formular perguntas e fazer comparações que levem a pesquisa a gerar resultados claros e positivos.

Na questão 1 (Q1), a categoria de análise *axial*, isto é, aquela que expressa o eixo principal de interesse, pautou-se na *explicitação da dinâmica entre hipótese e experimentação e análise concomitante entre os contextos DJ*. Na questão 2 (Q2), a análise assentou-se no *contraponto entre os objetivos de cada item do módulo e os aspectos levantados pelos alunos*.

O processo de codificação aberta, ainda utilizado nessa análise, permite que se identifique e classifique os dados, conforme as categorias elaboradas anteriormente. Mais precisamente, possibilita selecionar as informações e explicar fatos ou fenômenos. Quando o estudo apresenta uma categoria central, essa codificação pode ser do tipo *seletiva*.

Por fim, na teoria fundamentada, o objetivo da análise é “escrever o resultado através de declarações concisas, coerentes que ofereçam uma explicação dos fenômenos estudados” (MASSONI, 2013, p. 15). Ou seja, “responder à pergunta de pesquisa instigante proposta inicialmente” (ibid., p. 16) que, neste

estudo, como já foi explicitado, é: *o módulo de ensino (composto por texto, artigos, trechos de vídeos, atividade didática e seminários) que explora o conceito de experimentação exploratória e a relação entre os contextos da descoberta e da justificativa, a partir dos estudos de Gray e/ou Du Fay, contribui para que o aluno compreenda o diálogo entre hipótese e experimentação na construção do conhecimento relativo a esse episódio histórico específico?*

Os dados e a discussão dos resultados são apresentados em dois momentos. Inicialmente, o foco da análise se atém ao desenvolvimento individual dos alunos na questão 1 (Q1). Na sequência, analisa-se o alcance do módulo de ensino (suas potencialidades e limitações) de acordo com os dados da questão 2 (Q2).

5.4.1. Análise e discussão dos dados

Os dados analisados neste artigo referem-se apenas as respostas dissertativas do questionário proposto aos estudantes. A amostra, para a discussão dos resultados, foi constituída pelos 15 alunos que cursaram a disciplina Evolução dos Conceitos da Física. A ênfase dada a alguns estudantes, em particular, deve-se ao maior interesse demonstrado pelos mesmos na apreciação do módulo de ensino; selecionados com base no processo de *codificação*. Essa diligência é evidenciada nos posicionamentos críticos concebidos que, sobretudo, acentuam o envolvimento e a reflexão necessária que demandavam ambas as questões, a partir das categorias estabelecidas desde a *microanálise*. Além da explicitação da dinâmica entre hipótese e experimentação nos estudos de Gray e Du Fay, na questão 1, eles enfatizaram mais intensamente a importância da análise concomitante dos contextos DJ para a compreensão do próprio procedimento científico. Estes mesmos alunos, na questão 2, analisaram criticamente cada componente do módulo apontando seus aspectos profícuos e, inclusive, manifestando sugestões pertinentes para o mesmo.

5.4.1.1. Análise da questão 1 (Q1)

No desenvolvimento de sua análise, o aluno A1 conseguiu evidenciar, a partir dos estudos de Gray, que a dicotomia entre os contextos da descoberta e da justificativa é incoerente. Ele

identificou elementos considerados “irracionais”, ou pertencentes apenas ao contexto da descoberta, como fundamentais para a justificativa. *Vê-se, portanto, que a dinâmica entre hipótese e experimentação é a de articular e dialogar entre aquilo que se observa, se obtém experimentalmente e se teoriza. Os fatores lógicos de sua primeira hipótese, tidos como pertinentes ao contexto de uma justificativa, tiveram um papel importantíssimo para Gray em suas experimentações, mas foi a casualidade e sua criatividade, tidos como inerentes ao contexto da descoberta, que o levaram às conclusões corretas ao desenvolvimento de um corpo teórico.* Ainda, sinalizou que o experimento possui diferentes papéis no desenvolvimento de determinados conceitos, e que não detém apenas a função de corroborar ou refutar uma teoria, mas a de nortear novas investigações.

O aluno A2 enfatizou que a descoberta dos condutores e isolantes apenas se concretizou *após uma longa dança entre hipóteses e experimentos.* O aluno A1, também exprimindo essa relação e ressaltando o erro na ciência, menciona que nessa descoberta *houve um desenvolvimento conceitual, desde uma hipótese errônea sobre a espessura das tiras, até uma conclusão correta sobre a constituição das tiras,* ou seja, essa descoberta tem em seu contexto *uma estrutura que não independe de sua justificação, pois foi um processo que necessitou de que os cientistas reconhecessem tanto da existência de algo novo, quanto de sua natureza.* A1 acrescentou ainda que o novo rumo dos experimentos de Gray após a sua interação com Wheler evidencia a dinâmica de articulação entre os experimentos e as hipóteses, *uma vez que os experimentos foram sempre guiados de forma exploratória pelas ideias e pressupostos – as hipóteses – dos cientistas.* A10 enfatizou que *as mudanças nas experiências geraram novas hipóteses, e como essas novas hipóteses geram a criação de novos experimentos, convergiram para a descoberta de novos fenômenos e conceitos.* Como explanação geral, A7 comenta que *embora exista o clássico “método científico” (...) a história da ciência nos mostra que (...) há um eterno jogo entre teoria e experimento, onde os dois alternam-se como locomotivas que puxam o desenvolvimento científico.*

Os alunos A1, A2, A3, A4, A6, A8 e A11 acentuam que é possível identificar nos estudos de Gray e Du Fay a evolução de suas ideias, a relevância de seus pressupostos e persistência para o desenvolvimento dos seus estudos e a compreensão das casualidades que permearam seus trabalhos. Ou seja, como apresenta A11, *é perceptível nas investigações de Gray e Du Fay, sobre a eletricidade, o “vai e vem” entre os dois contextos (descoberta e justificativa) e suas respectivas hipóteses e experimentações.* Reforçando que uma

descoberta científica envolve processos mais complexos que uma mera observação, A4 salienta que nos estudos de Du Fay um aspecto notável é *que as observações sozinhas não expressam nada, o que se deve fazer é interpretá-las*. Nesse mesmo sentido, o aluno A1 contempla os fatores que compõe uma casualidade, os imprevistos e os erros na ciência. Explicitando os estudos de Gray, ele argumenta que *são nestas casualidades e impossibilidades que se percebe o quão importantes são as motivações dos cientistas, bem como suas intuições, criatividade, habilidades e tenacidade* e, ademais, ressalta a importância da sagacidade dos estudiosos *em perceber um novo fenômeno em erros e em acidentes, pondo em evidência que somente enxergam tais fenômenos quem tem habilidades e pressupostos suficientes para tanto*. A8 menciona que uma casualidade, ou um incidente, como no episódio da rolha e a pluma com o Gray, *põe em início uma cadeia de outros experimentos, tentativas e erros, interpretações e uso da criatividade na solução da problemática*. O aluno A3, também destacando os pressupostos dos cientistas, expõe que *a própria experiência de mundo e conhecimentos científicos previamente adquiridos [pelo estudioso] (...) são responsáveis pela forma como o cientista, ao chegar em uma potencial descoberta, formulará sua justificativa e administrará o diálogo entre suas hipóteses e experimentos*.

Os alunos A1, A2, A3, A4 e A5 explicitam a importância do contexto da descoberta para a compreensão do desenvolvimento científico e argumentam sobre a sobreposição dos contextos. A4, por exemplo, diz que *fatores “externos” como o puro e simples acaso que ocasione um erro na experimentação ou a criatividade do experimentador têm impacto sobre a construção do conhecimento*. O aluno A3 ressalta que *ao deparar-se [Du Fay] com essa nova descoberta acidental é [foi] preciso atribuir a ela uma nova justificativa*. Os dois contextos devem ser analisados sobre uma mesma perspectiva e, inclusive, para uma análise crítica da história como destaca o aluno A5, mencionando que *o contexto da descoberta e da justificativa é de importância para uma visão mais crítica da história da ciência, nos permitindo compreender os processos desenvolvidos pelo estudioso para desenvolver conhecimento*. Como expõe A6, *descoberta e justificativa, são as duas faces de uma mesma moeda*.

A12, A13, A14 e A15, limitaram-se a fazer resumos dos estudos de Gray e Du Fay, e assim não responderam a questão. Já A1, A3, A4, A7, A8 e A10 conseguiram explicitar, de forma bastante satisfatória, a dinâmica entre hipótese e experimentação a

partir de uma análise crítica dos contextos DJ, com base nos estudos de Gray ou de Du Fay.

A *microanálise* desenvolvida a partir das respostas discursivas dos alunos, como as exemplificadas nesta análise, permitiu levantar as seguintes *categorias iniciais*: a) existência de diálogo entre o que se observa e o que se pensa; b) geração de novas hipóteses a partir de variações nos experimentos; c) impacto de erros e acasos na construção do conhecimento; d) observações, sem interpretações, não expressam nada; Estas categorias reforçam as *categorias axiais* já descritas; explicitação da dinâmica entre hipótese e experimentação e análise concomitante entre os contextos DJ.

Embora certos alunos não tenham alcançado, a contento, o propósito do módulo, os demais conseguiram atingir, em boa medida, seus objetivos. Assim, a partir da análise dessa questão, com base nas *categorias axiais* e *iniciais* levantadas, é possível concluir que o módulo proporcionou uma adequada reflexão crítica sobre as insuficiências da distinção entre os contextos DJ e sobre a complexidade inerente a relação entre hipótese e experimentação no episódio histórico considerado. Além disso, o módulo desenvolvido suscitou outras considerações *sobre* a ciência. Os estudantes expuseram a importância dos pressupostos de cada estudioso para a (re) orientação de seus trabalhos, para a identificação de algo novo em suas pesquisas e, também, o envolvimento que existe entre os pares no âmbito científico. As respostas dos alunos, em termos gerais, contemplam a história de Gray e/ou Du Fay sob uma perspectiva histórico-filosófica. Evidenciam que ideias e experimentos que atualmente são simples e triviais não se apresentam assim, quando analisados em seu contexto histórico.

5.4.1.2. Análise da questão 2 (Q2)

Para melhor explicitar os resultados dessa questão separou-se cada elemento do módulo de ensino (Elemento 1: a dinâmica em sala de aula; Elemento 2: a atividade didática proposta com os eletroscópios; Elemento 3: os textos e artigos; Elemento 4: os vídeos). Um dos estudantes, A15, não respondeu a questão. E outro A6, aparentemente não compreendeu a função de cada componente do módulo frente a seus objetivos – isso fica

evidente quando diz, por exemplo, que *detalhes referentes aos experimentos acabam sendo desnecessários* ou, ainda, que *seria mais interessante um menor foco na análise histórica do período*. Desta forma, após a *microanálise* desenvolvida, o aluno não se adequou como um dado relevante, com base no processo de *codificação*.

a) Análise do elemento 1: a dinâmica em sala de aula

Durante a intervenção na disciplina Evolução dos Conceitos da Física procurou-se articular o processo de construção de certos conceitos da eletricidade com: demonstrações experimentais (tal como a atração de pequenos pedaços de papéis por um canudo, o pairar de um corpo sobre outro, pelo mecanismo ACR – atração-contato-repulsão – e a atração de objetos por um versório); seminários na forma de *slides* e oratória; discussões acerca da relação entre hipótese e experimentação e a dicotomia entre os contextos da descoberta e da justificativa.

A2, além de ressaltar a importância da disponibilização dos textos e artigos antes da intervenção, explicita que as *discussões acerca das relações entre hipótese e experimentação e dos contextos da descoberta e da justificativa se deram naturalmente acerca da exposição dos acontecimentos e do embasamento acerca do assunto pelos artigos disponibilizados*. O aluno A7 diz que, *longe da figura clássica de um seminário (...) as atividades destas duas aulas [dois períodos equivalentes a quatro aulas] foram muito dinâmicas, com um constante intercâmbio entre apresentador e plateia*. Em relação às atividades demonstrativas, o aluno coloca que *a chave para este sucesso, na minha opinião foi a inserção das atividades de intervalo [demonstrações experimentais], como a atividade do eletroscópio, o experimento de levitação da folha metálica e os vídeos*. O aluno A1 menciona as discussões fomentadas a partir *da primeira demonstração, durante a qual se esfregou um cano num tecido, fazendo-o atrair pedaços de papel sobre a mesma. A discussão "isto é um fenômeno claramente elétrico?" que se seguiu a esta demonstração foi particularmente rica e proveitosa, estabelecendo uma dinâmica de discussão que se seguiu ao longo do resto do seminário; senti-me muito mais impelido a participar da aula depois de tais demonstração e discussão*.

O aluno A8 realça que os experimentos desenvolvidos foram algo novo e construtivo. Além disso, como relata A5, a apresentação experimental *ajuda na visualização da experiência relatada*

nos textos, que nem sempre ficam muito claras. A13 diz que é muito intrigante rever os simples experimentos e tentar analisar no contexto da época estudada como era a interpretação desses fenômenos, mesmo que já se saiba os conceitos envolvidos nos mesmos.

As falas dos alunos revelam que a dinâmica de sala de aula foi produtiva e proporcionou um envolvimento, esperado, entre o professor-pesquisador e os alunos, como mostram as *categorias iniciais* levantadas: a) discussões acerca da relação entre hipótese e experimentação de forma natural; b) intercâmbio entre pesquisador e aluno; c) importância das atividades demonstrativas. Além disso, a maneira como o módulo foi desenvolvido – as interlocuções com os vídeos, as demonstrações, a atividade e os textos – propiciou uma maior relação do aluno com o contexto histórico em si e, de maneira não estática e não passiva, sua participação nas discussões e nas atividades suscitadas nos seminários.

b) Análise do elemento 2: a atividade proposta com os eletroscópios

Através da atividade com os eletroscópios, pretendeu-se explorar o conceito de experimentação exploratória. Por meio de um *arranjo experimental* que os alunos deveriam esquematizar, buscou-se despertar a reflexão do estudante em relação aos materiais que estavam sendo utilizados, dinamizando as hipóteses que eles fariam sobre os mesmos. Com um conjunto de figuras (descrito na seção 5.3.1) eles deveriam montar um esquema de dois eletroscópios que, unidos por um determinado material, implicaria nos dois eletroscópios carregados no final (se esse sistema fosse, de fato, realizado empiricamente). Para tanto, como orientação inicial, eles deveriam partir de um eletroscópio ‘teoricamente’ já eletrizado (fig.1).

Contudo, alguns aspectos da dinâmica da atividade, por não terem sido bem entendidos acabaram trazendo algumas dificuldades para os alunos. O aluno A1 frisa que *o grande valor da dinâmica* reside no fato de cada aluno ter recebido o seu próprio material (o conjunto de figuras) e, além disso, pela atividade ter propiciado e incentivado o diálogo com os colegas; *não foi somente uma explicação sobre os fenômenos, mas uma atividade na qual todos os alunos puderam participar ativamente em sua contextualização no assunto.* Entretanto, realça que o professor-pesquisador poderia ter

explicado de maneira mais clara e enfática o procedimento da atividade; *achei a explicação da dinâmica um tanto confusa, no início. Como acentua o aluno A13, particularmente não entendi o que era realmente para ser feito até uma explicação particular. A10 ressalta que talvez seja interessante gastar um pouco mais de tempo para explicá-la, ou seja, descrevê-la com mais detalhes.* Com o intuito de deixar os alunos refletirem mais acerca da atividade e explorar o conceito de experimentação exploratória, o professor-pesquisador não pretendeu atenuar aspectos que poderiam comprometer essa reflexão¹. O aluno A11 ainda que também se mostrasse confuso na atividade, reconheceu esse fato. *Eu não entendi que deveríamos imaginar todo o procedimento, de como o material condutor seria colocado entre os eletroscópios (...). Apenas imaginei o conjunto já montado, sem me preocupar em como o canudo/madeira foi parar lá. Mas realmente, talvez chamar muito a atenção pra isso “entregasse o ouro” muito fácil.*

Cabe salientar que, muitas vezes, as dificuldades dos alunos diante de uma nova forma de acessar o conhecimento têm raízes na tradição didática, que pode ser bem representada pelo contrato didático tradicional, outro elemento da didática francesa. O contrato didático é o “meio que o professor tem para fazê-las [as regras e as situações didáticas] funcionar. No entanto, a evolução da situação modifica o contrato que permite, então, a obtenção de novas situações” (MORETTI; FLORES, p.5, 2002).

A atividade teve sua valia como sublinha o aluno A9, afirmando que esta foi *uma atividade interessante para mostrar que nossa intuição pode estar enganada, como aconteceu no meu caso por exemplo.* O aluno A10 discorre sobre o momento no qual a atividade foi proposta, evidenciando que foi *totalmente encaixada dentro do contexto em que foi apresentada. Rompe um pouco com o diálogo fazendo com que os alunos vejam o conceito apresentado com outro olhar.* O aluno A11 realça que entendeu, por fim, que *o objetivo maior não era acertar a resposta, mas sim “participar” do levantamento de hipótese e a experimentação.* O aluno A7, formidavelmente, relata que *foram experimentos semelhantes ao que foi desenvolvido em sala de aula que, posteriormente, deram origem às séries triboelétricas e as ideias de isolante e condutor. Sendo assim, a atividade proposta é uma ótima porta de entrada para a apresentação destes conceitos.*

¹De certa maneira, esse fato foi surpreendente face ao interesse e nível intelectual demonstrado pelos estudantes, pois esse delineamento experimental já havia sido desenvolvido com outro grupo de alunos, e não se constatou esse problema.

Em todo procedimento didático, é preciso que o professor, neste caso o professor-pesquisador, reflita sobre sua prática. Esta atividade proporcionou com maior ênfase essa reflexão, através das sugestões apresentadas por alguns alunos para que a atividade ficasse mais clara. O aluno A7, por exemplo, comenta que *seria interessante pontuar, enquanto fala-se dos testes que os cientistas fizeram com diversos materiais a fim de descobrir quais eram elétricos e quais não, que alguns tipos de madeira eram elétricas enquanto outras não eram elétricas*. O aluno A5 menciona que seria interessante que, individualmente ou em grupos, os alunos *tivessem seu próprio kit com a experiência real*. A11, atendo-se aos desenhos explicativos expostos nos *slides*, argumenta que seria melhor se houvesse uma troca nas figuras a fim de facilitar a compreensão da atividade; *quando fizemos a experiência, estávamos no [slide] 39 [44] [Fig. 1], onde temos apenas o experimento montado, com os dois eletroscópios carregados. Depois de realizado o experimento [é] que nos foi mostrado o slide 40 [45], onde temos o procedimento passo a passo, que está bem mais claro, além de mostrar a mão do experimentador. Sugiro que se mude o slide 39 [44] de acordo com o 40 [45] [Fig. 2], com as 3 etapas e com a mão da pessoa (obviamente, “escondendo” os materiais, como já está no slide 39 [44])*.

Mesmo que a atividade não tenha se apresentado com a devida clareza, como aponta a *categoria inicial*: a) explicação da dinâmica pouco clara; ela foi produtiva em termos de interatividade entre os alunos e dos alunos com a experimentação, como indicam as *categorias*: b) proporcionamento de diálogo entre colegas; c) *participação* no levantamento de hipóteses e não o acerto da resposta. Ademais, mostrou-se um caminho profícuo para a introdução dos conceitos de condutor e isolante.

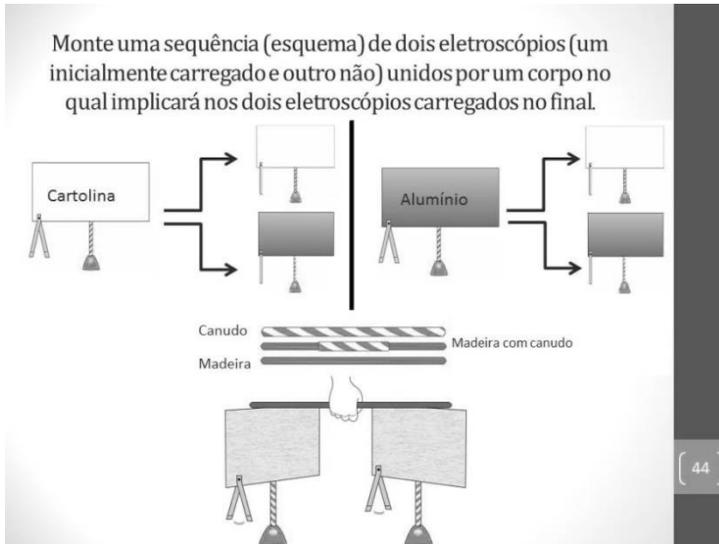


Figura 1 – Slide: Descrição do enunciado da atividade experimental.

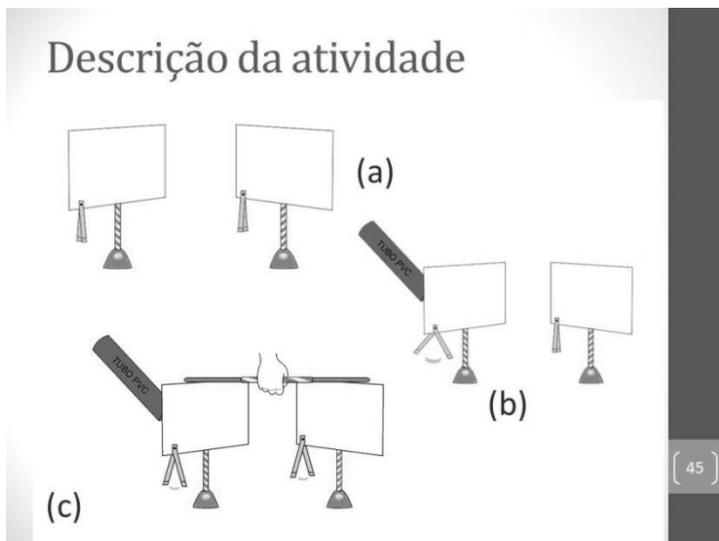


Figura 2 – Slide: Descrição do desenvolvimento da atividade. Segundo a sugestão do aluno A11, esse slide poderia ser utilizado para o enunciado da questão, desde que o corpo madeira-canudo fosse encoberto.

c) Análise do elemento 3: o texto e os artigos

O texto histórico, entre outras coisas, apresenta os estudos desenvolvidos por Gray e Du Fay. Os artigos objetivavam integrar discussões de cunho histórico-filosófico dos contextos da descoberta e da justificativa e da dinâmica entre hipótese e experimentação das pesquisas desses dois investigadores. O professor-pesquisador solicitou que os alunos, antes da intervenção, já tivessem uma leitura prévia desses materiais para uma interação mais produtiva em aula.

Os alunos, de modo geral, enfatizaram que os textos estavam adequados, ressaltando inclusive, a importância da leitura antecipada para as discussões em sala. A10, por exemplo, explicita que *os textos serviram para fornecer um contexto sobre o conceito que seria apresentado, mostrando-se indispensável a pré-leitura do mesmo*. O aluno A4 resalta que os textos complementam a apresentação e são *importantíssimos, pois o conteúdo da apresentação, principalmente nos contextos mais filosóficos, pode ser difícil para o entendimento do aluno, desacostumado com tais assuntos no meio acadêmico que está inserido. Particularmente, os artigos me ajudaram bastante a entender o assunto passado no seminário, além de que os artigos e textos ficarão guardados e passíveis de consulta sempre que necessário*. Ainda em relação aos aspectos filosóficos do módulo, A1 destaca que encontrou *o artigo Uma Discussão sobre os Contextos da Descoberta e da Justificativa nos estudos de Du Fay excepcionalmente bem-argumentado, apresentando um bom balanço entre os fatos históricos e as conclusões epistemológicas às quais podem levar*.

A utilização do texto e dos artigos atestou que, além de propiciarem uma perspectiva histórica e filosófica do episódio em questão, eles podem fornecer subsídios essenciais para as discussões em sala de aula. Isto foi constatado a partir das *categorias iniciais* construídas: a) apresentação dos conceitos estudados; b) contextualização do assunto dos seminários; c) apresentação de fatos históricos e conclusões epistemológicas; Ademais, como evidencia a *categoria* (d) os textos ficarão “guardados” e passíveis de consulta.

d) Análise do elemento 4: os vídeos

Os vídeos buscavam fornecer um objeto de visualização de determinados fenômenos elétricos. Desta forma, contemplam

alguns elementos discutidos no período histórico em questão, como a espetacular luz emitida por um vidro atritado quando aproximado de outro condutor, o aparato experimental utilizado por Gray em uma de suas famosas experiências com o “garoto suspenso por fios” e a demonstração de uma experiência similar à de Du Fay, referente ao sistema ACR. As discussões em sala de aula, aliadas aos vídeos, potencializaram didaticamente esse material.

A recepção dos estudantes aos vídeos mostrou-se surpreendente. Mais do que uma mera interatividade, os alunos se sentiram mais motivados. O aluno A11, no início de sua análise, coloca que os vídeos foram *mágicos*. *É um recurso que chama muito a atenção e pode ser muito empolgante. Pelo menos no caso dos vídeos que foram apresentados (...)*. Faz menção à época no qual esses experimentos foram produzidos, *se mesmo hoje em dia tem algo “mágico” em assistir eles, dá pra tentar se colocar no lugar das pessoas da época e imaginar o quão impressionante isso deveria ser para eles*. O aluno A13 evidencia a eficiência dos vídeos, afirmando que eles ajudam na *visualização dos experimentos que são inviáveis realizar na sala de aula ou até em nossos laboratórios*. Ademais, como discorre o aluno A4, *os vídeos são muito importantes e foram muito bem utilizados, pois muitas vezes a engenhosidade dos aparatos e resultados nos experimentos perdem um pouco o brilho se forem apenas mostrados com esquemas desenhados e palavras. Além disso, os vídeos possuem a capacidade de focar a atenção do aluno em meio ao seminário, que por qualquer motivo pode ter se perdido*.

Quanto a descrição das experiências apresentados nos textos, os vídeos, como relata A7, *em especial o da BBC, permitiu a visualização dos experimentos de Hanksbee e Gray*. O aluno A1 em sua análise sobre esse elemento do módulo, expressa que os vídeos *provaram-se bastante elucidativos quanto aos fenômenos sobre os quais se propunha explicar; puderam demonstrá-los de maneira tal que, em geral, não se pode reproduzir nas condições normais de nossas salas de aula. E foram, por isso, bastante importantes para o entendimento do contexto da época e das motivações dos cientistas em entender fenômenos tão intrigantes e deslumbrantes*.

Os vídeos também foram disponibilizados previamente aos alunos, que assinalaram a importância de eles ficarem, do mesmo modo que os outros materiais, acessíveis para consultas ulteriores. Conforme destaca A4, *o fato dos [sic] vídeos serem disponibilizados para os alunos também é importante, pois creio que muitos que passaram por essa disciplina, sejam bacharéis [bacharelandos] ou*

licenciados, algum dia ministrarão aulas, e esse material pode ser muito útil. Por fim, os vídeos se mostraram um forte aliado aos outros elementos do módulo de ensino, como mostram as *categorias iniciais*, todas positivas e que reforçam a categoria axial: a) visualização de experimentos históricos; b) apresentação de experimentos não reproduzíveis, normalmente, em condições normais de sala; c) possibilidade de imaginar-se na época em questão; d) demonstração de fenômenos empolgantes, “mágicos” e intrigantes. Ademais, os vídeos desempenharam, para além da expectativa, sua função no módulo.

5.5. Considerações finais

Neste trabalho, alguns elementos de uma transposição didática sistemática – como as atitudes e funções sociais e o *problema científico* – foram identificados no módulo desenvolvido. A partir disso, pôde-se apontar o problema científico e, com base no saber produzido, e na sua avaliação, se ele havia sido respondido.

A questão 1 (Q1) apresentada ao aluno em um dos segmentos da disciplina *Evolução dos Conceitos da Física*, claramente os envolveu em aspectos históricos e filosóficos da ciência. Alguns estudantes, inclusive, conseguiram analisar a história de Gray e Du Fay sob outros aspectos epistemológicos, que não apenas os explicitados na questão, como apontaram as *categorias iniciais* levantadas. A interatividade científica foi salientada na maioria das respostas, sobretudo, na relação entre Gray e Wheler. Os pressupostos (culturais, teóricos...) arraigados aos estudiosos, e que interferem nos seus estudos e em suas observações, também foram acentuados. Do mesmo modo, alguns explicitaram a relevância que podem ter as casualidades e os imprevistos, quando devidamente analisados em seus contextos, para o desenvolvimento de novas investigações. Por fim, essa questão suscitou o reconhecimento da função que o erro pode ter na pesquisa científica; quando estudado e repensado, como aconteceu com Du Fay. As *categorias iniciais* construídas a partir das falas dos alunos reforçam, expressivamente, as *categorias axiais*. Desta forma, elas evidenciam, ainda mais, a positividade do módulo de ensino, frente aos seus objetivos.

A questão 2 (Q2), perceptivelmente, demandou uma posição crítica do aluno quanto aos componentes do módulo trabalhado. Muitos deles analisaram os pormenores de cada

elemento solicitado, indicando sugestões pertinentes para próximas ações didáticas referentes ao assunto, mas acima de tudo, evidenciaram a potencialidade dos mesmos, como visto nas *categorias iniciais* concebidas. O módulo desenvolvido apresentou resultados bastante satisfatórios, já mostrando ser um proveitoso material para discutir, histórica e filosoficamente, os conceitos iniciais da eletricidade.

Durante os seminários, alguns materiais complementares foram utilizados para subsidiar as discussões e as experimentações desenvolvidas, dentre eles a obra “Fundamentos experimentais e históricos da eletricidade” (ASSIS, 2011). Esse livro possibilitou o desenvolvimento e o debate acerca de uma (dentre outras demonstrações explicitadas em sala) experiência comum nos estudos da eletricidade; a atração de papéis com um tubo de PVC eletrizado. A problematização inicial pautou-se na trivialidade desse experimento. Essas interlocuções de demonstrações e questionamentos, sobretudo, acerca de suas simplicidades, instigaram os alunos a analisarem a História da Ciência sob o contexto de determinadas épocas. Isso se reflete nas discussões que se seguiram nesse momento, onde eles manifestaram que essa é uma experiência simples, contudo, aborda conceitos físicos relevantes. Outros explicitaram que aos olhos de hoje ela pode ser considerada trivial, mas que nas primeiras observações desse fenômeno ela não foi.

A atividade com o eletroscópio visava, sobretudo, explorar o conceito de *experimentação exploratória*. Contudo, além disso, a mesma contribuiu para um aprendizado mais significativo acerca dos conceitos de isolante e condutor. No processo de uma aprendizagem significativa, há modificações na estrutura cognitiva dos alunos pela influência de novos materiais potencialmente significativos (MOREIRA, 2011). Ainda que os estudantes já tivessem cursado a disciplina Física Geral III, onde se estuda a eletricidade, percebeu-se que essa atividade aprimorou e ampliou suas concepções acerca das características dos corpos isolantes e condutores. Evidenciou que alguns corpos, dos quais normalmente acredita-se serem isolantes como a madeira, pode se comportar como um condutor, como ocorreu na atividade desenvolvida. O vidro, embora não utilizado em sala, é outro exemplo. Em geral ele se comporta como condutor (devido ao vapor de água que se acumula sobre sua superfície), mas Gray e Du Fay utilizavam vidro atritado em suas experiências, segurando-

o pela mão (ASSIS, 2011). Uma vez que eles aqueciam o vidro, a umidade de sua superfície era evaporada e, então, ele se comportava como um isolante.

Visto que os alunos eram todos do bacharelado, o interesse que demonstraram por discussões epistemológicas, dado que eles não as têm no curso, com exceção dessa disciplina Evolução dos Conceitos da Física, foi notável. A participação dos mesmos nas aulas, de maneira satisfatória, evidencia isso. Enfaticamente, na primeira aula, preocuparam-se em compreender a complexidade de uma descoberta científica. Esse interesse acentua a importância de um trabalho com esse caráter não só na formação de licenciados como na de futuros cientistas.

Salienta-se, sobretudo, que os futuros docentes e pesquisadores necessitam de uma formação não apenas em *conteúdos* científicos, mas também sobre determinadas concepções relativas à Natureza da Ciência. Um estudo de caso histórico, como o apresentado no módulo, propicia discutir, mais enfaticamente, a dinâmica entre as convicções teóricas dos estudiosos e as experimentações que desenvolvem. Isto foi evidenciado com os resultados aqui apresentados, cuja análise perpassou um processo de microanálise, de questionamento sistemático e de identificação de um conjunto de *categorias* – todas emergidas, e fundamentadas, das falas dos alunos, associadas às *categorias axiais* que expressam a linha central da pesquisa. Ademais, o módulo de ensino possibilita que se aprecie o procedimento e os aspectos do trabalho científico, e a incompatibilidade em analisar o contexto da descoberta indistintamente do contexto da justificativa. O desenvolvimento de materiais com enfoques históricos e filosóficos e potencialmente significativos pode ensejar não apenas a compreensão desses aspectos, mas uma formação mais consistente desses sujeitos *sobre* a ciência, como indica a avaliação do módulo. Isso vai ao encontro do que sugerem trabalhos na literatura, que apontam para a relevância dos pesquisadores investirem no uso da História e Filosofia da Ciência (HFC) no ensino, particularmente, em situações concretas, em sala de aula. Como constata Teixeira *et al.* (2012), 87% dos trabalhos publicados sobre essa temática não correspondem à pesquisa de natureza empírica. Certamente, há ainda muito a se fazer.

Agradecimentos

Os autores agradecem as considerações críticas e as sugestões de Neusa Teresinha Massoni, Tatiana da Silva, José de Pinhos Alves Filho, Marinês Domingues Cordeiro e Felipe Damásio a este trabalho.

Referências

ALVES FILHO, J. P. **Atividades experimentais: do método à prática construtivista**. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Santa Catarina, 2000.

ALVES FILHO, J. P.; PINHEIRO, T. F.; PIETROCOLA, M. A eletrostática como exemplo de transposição didática. In: Pietrocola, M. (org). **Ensino de Física: conteúdo, metodologia e epistemologia numa concepção integradora**. Editora da UFSC, 2005.

ASSIS, A. K. T. **Os fundamentos experimentais e históricos da eletricidade**. São Paulo: Livraria da Física, 2011.

ASTOLFI, J.P.; DEVELAY, M. **A didática das ciências**. Campinas, SP, Papirus, 1990.

BOGDAN R. C.; BIKLEN S. K. **Investigação Qualitativa em Educação**. Porto: Porto Editora. 1994.

CAILLOT, M. A teoria da Transposição didática é transponível? In: RAISKY,C; CAILLOT, M. (Orgs) **Au-delà des didactiques, de didactique, le debat autour de concepts fédérateurs**. Paris. De Boeck Université. p. 19-35, 1996.

CHEVALLARD, Y. **La transposición didáctica: del saber sabio al saber enseñado** Argentina: Aique Grupo Editor, 1991.

CLOUGH, M. O.;OSLON, J. K. Teaching and assessing the nature of science: An Introduction. **Science & Education**, v. 17, p.143–145, 2008.

CORDEIRO, M. D.; PEDUZZI, L. O. Q. Um módulo sobre a radioatividade: sua história e sua transposição. In: PEDUZZI, L.

O.; MARTINS, A. F.; FERREIRA, J. M. H. (Org). **Temas de História e Filosofia da Ciência no Ensino**. Natal: EDUFRN. p. 183-210, 2012.

EL-HANI, C. N. Notas sobre o ensino de história e filosofia das ciências na educação científica de nível superior. In: Silva, C. C. (Org.). **História e Filosofia da Ciência no Ensino de Ciências: Da Teoria à Sala de Aula**. São Paulo (Brasil): Editora Livraria da Física. p. 3-21, 2006.

ERICKSON, F. Qualitative Methods in Research on Teaching. In: M. C. Wittrock (Ed), **Handbook of Research on Teaching**, 3rd. edition, New York: Macmillan, 1986.

FERNÁNDEZ, I.; GIL, D.; CARRASCOSA, J.; CACHAPUZ, A.; PRAIA, J. Visiones Deformadas de La Ciencia Transmitidas por la Enseñanza. **Enseñanza de las ciencias**, p. 477-488, 2002.

FORATO, T. C. M.; MARTINS, R, A.; PITROCOLA, M. Enfrentando obstáculos na transposição didática da história da ciência para a sala de aula. In: PEDUZZI, L. O.; MARTINS, A. F.; FERREIRA, J. M. H. (Org). **Temas de História e Filosofia da Ciência no Ensino**. Natal: EDUFRN, p. 123-154, 2012.

GARCIA, E. G. **Las Prácticas Experimentales En Los Textos Y Su Influencia En El Aprendizaje: Aporte Histórico y filosófico en la física de campos**. Barcelona (España). Marzo de 2011. 305 p. Tese - Universidad Autonoma de Barcelona Doctorado en Didactica de las Matematicas y las Ciencias Experimentales, Barcelona, 2011.

GARCIA, A. E. G.; ESTANY, A. Filosofia de las prácticas experimentales y enseñanza de las ciencias. **Praxis Filosófica**, n. 31, p. 7-24, 2010.

GIL PÉREZ, D.; MONTORO, I. F.; ALÍS, J. C.; CACHAPUZ, A.; PRAIA, J. Para uma imagem não deformada do trabalho científico. **Ciência & Educação**, v. 7, n. 2, p. 125-153, 2001.

HACKING, I. **Representar e Intervir: tópicos introdutórios de filosofia da ciência natural**. Rio de Janeiro: EdUERJ, 2012.

HANSON, N. R. An Anatomy of Discovery. **The Journal of Philosophy**, v. 64, n.11, p. 321–352, 1967.

HODSON, D. Philosophy of Science and Science Education. **Journal of Philosophy of Education**, v. 20, n. 2, p. 215-225, 1986.

IGLESIAS, M. El giro hacia la práctica en filosofía de la ciencia: una nueva perspectiva de la actividad experimental. **Opción**, n. 20, v. 44, p. 98-119, 2004.

KÖHNLEIN, J. F. K.; PEDUZZI, L. O. Q. **Sobre a concepção empirista-indutivista no ensino de ciências**. Trabalho apresentado no VIII Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Física. Águas de Lindóia-SP, 2002.

KUHN, T. S. **A estrutura das revoluções científicas**. São Paulo: Perspectiva, 2011a.

KUHN, T. S. **A tensão essencial**: estudos selecionados sobre tradição e mudança científica. São Paulo: Unesp, 2011b.

LEDERMAN, N. G. Nature of science: past, present, and future. In: ABELL, S. K.; N. G. LEDERMAN (Eds.). **Handbook of research on science education**. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, p. 831-880, 2007.

LÜDKE, M., ANDRÉ, M. E. D. **A. Pesquisa em Educação: abordagens qualitativas**. São Paulo: E.P.U., 1986.

MARANDINO, Martha. Transposição ou recontextualização? Sobre a produção de saberes na educação em museus de ciências. **Revista Brasileira de Educação**, n. 26, p. 95-108, 2004.

MARTINAND, J.L. La Question de la Référence en Didactique du Curriculum. **Investigações em Ensino de Ciências**, v.8, n.2, p.125-130, 2003.

MARTINS, R. A. Introdução: história da ciência e seu uso na educação. In: SILVA, C. C. (Org.). **Estudos de história e**

filosofia das ciências: subsídios para aplicação no ensino. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2006.

MASSONI, N. T. **A epistemologia contemporânea e suas contribuições em diferentes níveis de ensino de física: a questão da mudança epistemológica.** 2010. 412f. Tese (Doutorado). Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

MASSONI, N. T. Uma metodologia viável de análise qualitativa: Teoria Fundamentada. Porto Alegre: 2013. (**publicação interna**).

MATTHEWS, M. R. In Defense of Modest Goals When Teaching about the Nature of Science. **Journal of Research in Science Teaching**, vol. 35, n. 2, p. 161-174, 1998.

MATTHEWS, M. R. História, filosofia, e ensino de ciências: a tendência atual de reaproximação. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 12, n. 3, p. 164-214, 1995.

McCOMAS, W, F.; ALMAZROA, H.; CLOUGH, M. The nature of science in science education: in introduction. **Science & Education**, v. 7, p. 511-532, 1998.

MOREIRA, A. M.; OSTERMANN, F. Sobre o ensino do método científico. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v.10, n. 2, p. 108-117, 1993.

MOREIRA, A. M. **Aprendizagem Significativa: a teoria e textos complementares.** São Paulo: Livraria da Física, 2011.

MORRETI, M. T; FLORES, C. Elementos do Contrato Didático (Ensaio). Programa de Pós Graduação em Educação Científica e Tecnológica, Florianópolis, 2002. (**publicação interna**).

PAIS, L. C. Transposição didática. In: **Educação matemática: uma introdução**, 1999.

PEDUZZI, L. O. Q. Do efeito âmbar à garrafa de Leyden. Florianópolis: 2013. (**versão preliminar, publicação interna**).

PEDUZZI, L. O. Q. Sobre a utilização didática da História da Ciência. In: Pietrocola, M.(org.). **Ensino de física: conteúdo, metodologia e epistemologia numa concepção integradora**. Florianópolis: Editora da UFSC, 2005.

PRAIA, J.; GIL PÉREZ, D.; VILCHES, A. O papel da natureza da ciência na educação para a cidadania. **Ciência & Educação**, v. 13, n. 2, p. 141-156, 2007.

PRAIA, J.; CACHAPUZ, A.; GIL PEREZ, D. A hipótese e a experiência científica em educação em ciência: contributos para uma reorientação epistemológica. **Ciência & Educação**, v. 8, n. 2, p.253-262, 2002.

RAIČIK, A. C.; PEDUZZI, L. O. Q. Uma discussão sobre os contextos da descoberta e da justificativa nos estudos de Du Fay. In: Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências , IX, São Paulo. **Atas...** 2013b.

RAIČIK, A. C.; PEDUZZI, L. O. Q. Uma abordagem histórica e experimental à eletricidade em uma disciplina sobre a evolução dos conceitos da física. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, XX, São Paulo. **Atas...** 2013a.

REICHENBACH, H. **La filosofía científica**. México: Fondo de cultura económica, 1953.

REZENDE, F. S.; FERREIRA, L. N. A.; QUEIROZ, S. L. Concepções a respeito da construção do conhecimento científico: uma análise a partir de textos produzidos por estudantes de um curso superior de química. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, v. 9, n. 3, p. 596- 617, 2010.

RICHARDSON, Roberto Jarry. **Pesquisa Social: Métodos e Técnicas**. São Paulo: Atlas, 1985.

STEINLE, F. Entering new fields: exploratory uses of experimentation. **Philosophy of Science**, v. 64, p. 565-574, 1997.

STEINLE, F. Experiments in History and Philosophy of Science. **Perspectives on Science**, v. 10, n. 4, p. 408-432, 2002.

TENFEN, N. D. **Mapas Conceituais como Ferramentas para a Organização do Conhecimento em uma Disciplina sobre a História da Física.** Florianópolis: UFSC, 2011. 165 p. Dissertação – Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.

TEIXEIRA, E. S.; GRECA, I. M.; FREIRE, J. O. Uma revisão sistemática das pesquisas publicadas no Brasil sobre o uso didático de História e Filosofia da Ciência no ensino de física. In: PEDUZZI, L. O.; MARTINS, A. F.; FERREIRA, J. M. H. (Org). **Temas de História e Filosofia da Ciência no Ensino.** Natal: EDUFRN, p. 9-40, 2012.

TRIVIÑOS, A. N. S. **Introdução à pesquisa em ciências sociais: a pesquisa qualitativa em educação.** São Paulo: Atlas, 1987.

**Primeiros desdobramentos da implementação
do módulo de ensino**

CAPÍTULO 6

**O contexto da descoberta e da justificativa
em sala de aula**

6. O contexto da descoberta e o contexto da justificativa em sala de aula¹

The context of discovery and the context of justification in the classroom

Resumo

Este artigo contextualiza uma história em quadrinhos desenvolvida na perspectiva de discutir aspectos relativos à Natureza da Ciência, sobretudo, a dicotomia entre o contexto da descoberta e da justificativa explicitada por Reichenbach e a dimensão tomada pela mesma à luz da moderna filosofia da ciência. Para o vínculo desse assunto com um conteúdo histórico específico utilizou-se os estudos de Stephen Gray. O texto elaborado na forma de um diálogo fictício em sala de aula é parte de um módulo de ensino referente a um segmento da história da eletricidade, voltado ao estudante de física em formação; contudo, ele pode ser utilizado em outras situações de ensino com relativa independência. Nesta perspectiva, apresentam-se algumas possibilidades de apropriação da história em quadrinhos.

Palavras chave: História em Quadrinhos. Contexto da descoberta e contexto da justificativa. Stephen Gray.

Abstract

This paper analyzes a comics developed with the aim of discussing aspects of the Nature of Science, especially the dichotomy between the contexts of discovery and justification as explained by Reichenbach and its dimension in the light of modern philosophy of science. We used the studies of Stephen Gray to link this issue with a specific historical content. The text, which was written in the form of a fictional dialogue in the classroom, is part of a teaching module related to a segment of the history of electricity, meant for the physics student in training, but being relatively independent. In this perspective, we present some possibilities of appropriation of the comics.

Keywords: Comic.; Context of discovery and context of justification. Stephen Gray.

¹ Trabalho apresentado no III International History, Philosophy and Science Teaching Group Latinoamerican Conference, Santiago, Chile, 2014.

6.1. Introdução

Já há bastante tempo, pesquisas em ensino de física vêm defendendo discussões de caráter histórico-filosófico nas ações pedagógicas da educação científica (CLOUGH; OSLON, 2008; PRAIA *et al.*, 2007; EL-HANI, 2006; LEDERMAN, 2007; PEDUZZI, 2005; McCOMAS *et al.*, 1998; MATTHEWS, 1998; MARTINS, 2006; HODSON, 1986). Nesta perspectiva, é possível contextualizar a ciência; analisá-la como uma atividade passível de subjetividade, dependente do contexto sociocultural de cada época, suscetível a mudanças, permeada por diversas concepções metodológicas (PEDUZZI, 2005; MATTHEWS, 1995). Sobretudo, um ensino *sobre* a ciência pode contribuir para o desenvolvimento das competências, que se julgam serem necessárias, ao cidadão do século XXI (FORATO *et al.*, 2011).

No entanto, o ensino de ciências ainda apresenta resistências a mudanças e, comumente, diversas concepções inadequadas acerca da ciência e do seu desenvolvimento (GIL PÉREZ *et al.*, 2001; FERNÁNDEZ *et al.*, 2002; McCOMAS *et al.*, 1998; REZENDE *et al.*, 2010). Para que novas reflexões sobre a ciência estejam presentes no ensino, é relevante que se desenvolvam trabalhos voltados ao professor em formação e a futuros pesquisadores, que também atuarão como docentes.

As Histórias em Quadrinhos (HQ), atualmente, já são potencialmente reconhecidas como instrumentos pedagógicos (CARVALHO; MARTINS, 2009), principalmente por sua natureza lúdica, que propicia um jogo de linguagem e uma dinâmica entre os personagens. A utilização desses materiais está sendo inserida no ensino de ciências (TESTONI *et al.* 2013; SOUZA; VIANNA, 2013; CRUZ *et al.*, 2013; CARUSO; SILVEIRA, 2009; CARVALHO; MARTINS, 2009) e, inclusive, recomendada para diferentes níveis de ensino (SANTOS; VERGUEIRO, 2012; WORNER; ROMERO, 1998). Contudo, na formação de professores, esse instrumento não está sendo consideravelmente explorado (CARVALHO; MARTINS, 2013).

Este artigo apresenta o enredo da HQ: *História e Filosofia da Ciência em sala de aula: objeções à dicotomia entre o contexto da descoberta e o contexto da justificativa*, elaborada na forma de um diálogo fictício em sala de aula entre o professor e seus alunos. Contextualiza a sua inserção em um módulo de ensino referente a um segmento da história da eletricidade e apresenta possibilidades de como utilizá-la, com relativa independência, no panorama de um ensino que valoriza discussões histórico-filosóficas.

6.2. A História em Quadrinhos: o contexto da sua elaboração

Normalmente, propostas que utilizam HQ apresentam diferentes perspectivas que subsidiam a utilização desse recurso no ensino. Como ressaltam Pena (2003) e Keogh (*et al.*, 1998), pode-se usá-los como motivação (para iniciar a discussão de um tema, induzir o diálogo, atrair, despertar, instigar a curiosidade para o conteúdo da disciplina e levantar os conhecimentos prévios dos alunos), como exemplo do que foi ensinado, para que sejam montados projetos com o material (para o futuro professor aprender a desenvolver, através dos “quadrinhos”, a crítica e a criatividade dos alunos), para criar exercícios e problemas a partir do conteúdo da história (dar aos alunos “quadrinhos” com distorções conceituais, e solicitar aos mesmos que encontrem e corrijam esses problemas), para estimular o processo de aprendizagem. Ademais, materiais com essa característica podem ser elaborados, especificamente, para discutir concepções sobre a ciência.

A HQ: *História e Filosofia da Ciência em sala de aula: objeções à dicotomia entre o contexto da descoberta e o contexto da justificativa*² foi planejada para discutir, sobretudo, a distinção entre os contextos da descoberta e da justificativa (DJ) explicitada por Reichenbach (1938) e a dimensão tomada pela mesma à luz da moderna filosofia da ciência. Para o vínculo desse assunto com um conteúdo histórico específico, utilizou-se os estudos de Stephen Gray que ensinaram a compreensão dos conceitos de corpos isolantes e condutores e a ‘descoberta’ da comunicação da virtude elétrica por contato. Essa história em quadrinhos compõe um módulo de ensino referente a um segmento da história da eletricidade em uma disciplina sobre a história da física.

O módulo é constituído: i) pelo texto “Do efeito âmbar à garrafa de Leyden” (PEDUZZI, 2013) que apresenta um resgate histórico dos estudos elétricos desde os gregos antigos até a garrafa de Leyden; ii) pelos artigos “Uma abordagem histórica e experimental à eletricidade em uma disciplina sobre a evolução dos conceitos da física” (RAICIK; PEDUZZI, 2013a) e “Uma discussão sobre os contextos da descoberta e da justificativa nos estudos de Du Fay” (RAICIK; PEDUZZI, 2013b) que contemplam, respectivamente, discussões sobre a dinâmica entre hipótese e experimentação nos estudos iniciais da eletricidade e uma análise de cunho histórico-filosófico dos contextos da descoberta e da justificativa nos estudos de Du Fay; iii) por dois trechos do documentário da BBC “Shock and Awe. The Story of Electricity”, que apresenta a espetacular luz

² A história em quadrinhos, completa, pode ser acessada no endereço: evolucaodosconceitosdafisica.ufsc.br ou em anexo a este capítulo

azulada emitida por um vidro e o aparato experimental utilizado por Gray em uma de suas famosas experiências com o “garoto suspenso por fios” e o vídeo “La danse des feuilles d’or”, que demonstra uma experiência similar à realizada por Du Fay; iv) por uma atividade experimental proposta com eletroscópios, que procura explorar o conceito de *experimentação exploratória* (STEINLE, 1997; 2002); v) por seminários que comportam apresentação em *slides*, atividade experimental e convites a discussões.

A partir de uma análise dos componentes do módulo de ensino, o grupo de alunos que cursou a disciplina Evolução dos Conceitos da Física do Departamento de Física da Universidade Federal de Santa Catarina, no primeiro semestre de 2013, sugeriu o desenvolvimento de um material que discutisse os contextos da descoberta e da justificativa, face à complexidade do tema. Visando implementar essa sugestão, produziu-se então a HQ [fig. 1], composta por 22 quadrinhos elaborados na forma de um diálogo fictício em uma sala de aula, a fim de propiciar maior dinamicidade à história. Cabe ressaltar que o conteúdo que se quer discutir está na narrativa da história que é, então, subsidiada pela imagem e pelo cenário.

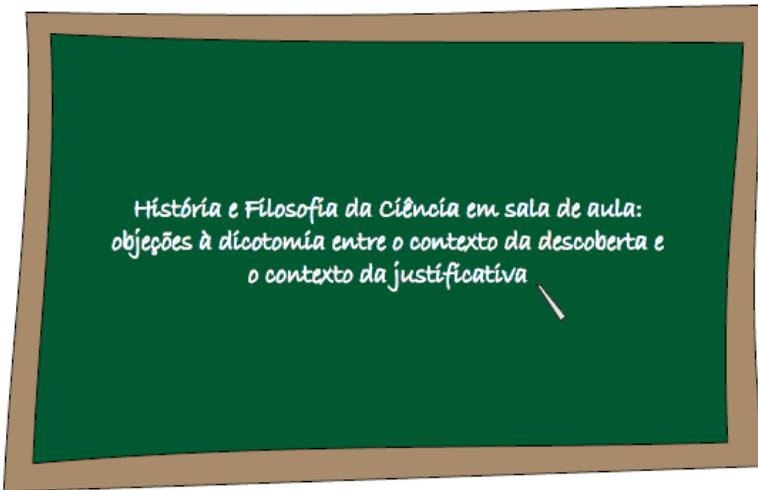


Figura 1 – Capa da história em quadrinhos: sobre as objeções à dicotomia entre os contextos da descoberta e da justificativa.

6.3. Desenvolvimento da História em Quadrinhos

A história inicia-se com algumas colocações acerca da prática científica; destaca-se que, muitas vezes, ela é permeada por situações inesperadas, dúvidas, problematizações, erros, mas onde sempre está presente a reflexão e, no âmbito de uma ciência experimental, um permanente diálogo entre a experimentação e as convicções teóricas do estudioso.

Nesse cenário, os alunos (personagens) atuam não apenas como coadjuvantes, mas como protagonistas que levantam questionamentos e apresentam colocações ao tema em debate. As perguntas e as considerações feitas tanto pelo professor como pelos discentes objetivam, sobretudo, estimular o espírito crítico do aluno na compreensão dos conteúdos. No quadro [fig. 2], por exemplo, os alunos, acostumados com uma ciência pautada em um método, questionam o docente sobre o papel dos elementos subjetivos presentes em uma pesquisa científica que, supostamente, segue passos rígidos e eficazes.

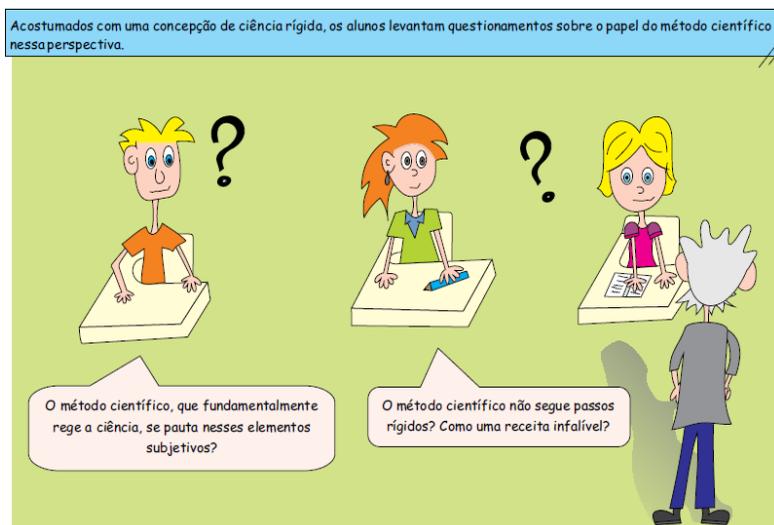


Figura 2 – Quadro (nº3): os alunos questionam sobre o método científico e os elementos que fazem parte da pesquisa científica.

Na seqüência, apresenta-se a concepção filosófica hegemônica do início do século XX, enfatizando que, para ela, a essência da ciência estava em seus resultados e não na sua gênese. Nessa perspectiva, a ciência podia

ser considerada como uma coletânea de afirmações empíricas e formais acerca da natureza (KRAUGH, 2001); um produto acabado que obteve determinados resultados a partir do método científico. A distinção explícita dos contextos da descoberta e da justificativa, na década de 1930, consolidou ainda mais a relevância dos resultados científicos, apresentados como uma *reconstrução lógica* do conhecimento (REICHENBACH, 1938). Contudo, na década de 1960 alguns filósofos e historiadores, principalmente, começaram a argumentar que a ciência, em particular o processo de seu desenvolvimento, é muito mais complexa do que sustentava a concepção positivista.

O diálogo, em sua continuidade, traz o questionamento perspicaz de um aluno sobre concepções tradicionais ainda fortemente arraigadas ao livro didático, que ignoram os diferentes aspectos subjetivos da ciência. O professor, então, problematiza a concepção de ciência que valoriza apenas os resultados científicos, atentando para certas imagens que se perpetuam no ensino quando discussões acerca do procedimento científico são negligenciadas [fig. 3].

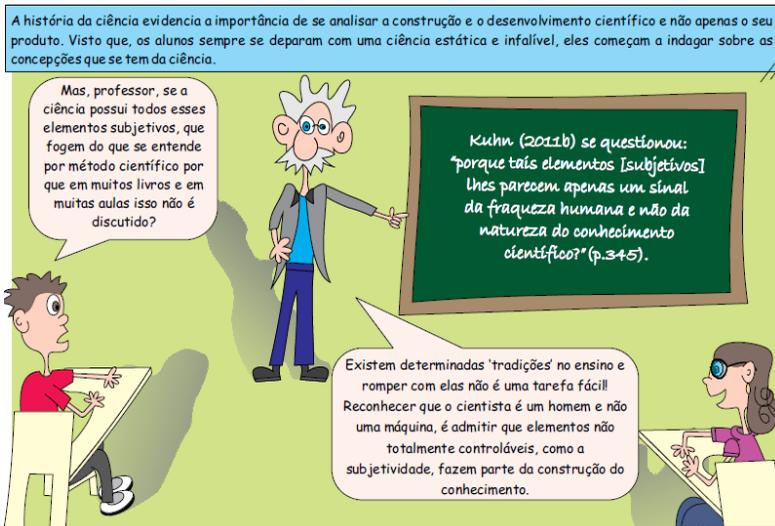


Figura 3 – Quadro (nº 8): discutem-se as concepções ainda tradicionalistas, que negligenciam o processo científico, abordadas pelos livros didáticos.

A seguir, introduzem-se as concepções de Reichenbach acerca dos contextos da descoberta e da justificativa, contextualizando suas ideias naquele período histórico. Esclarece-se que, para ele, há uma diferença

significativa entre como a ciência é desenvolvida e como ela é apresentada à comunidade [fig. 4].

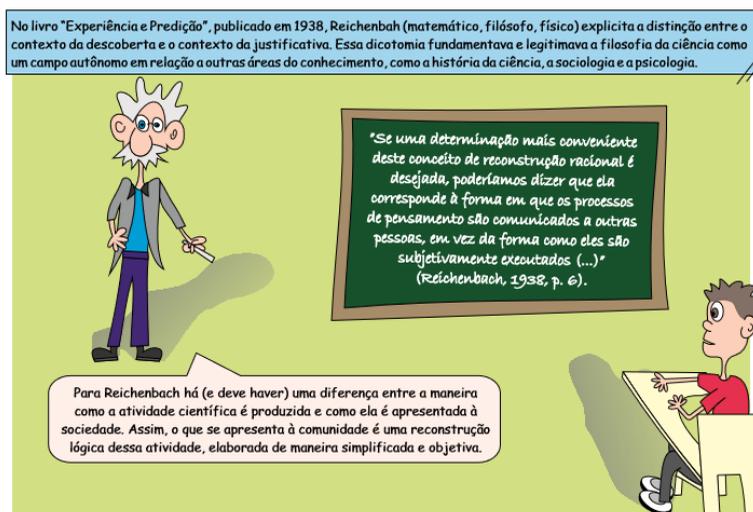


Figura 4 – Quadro (nº 11): explicita-se a separação entre a maneira como a atividade científica é apresentada à comunidade e como ela é realmente desenvolvida.

No âmbito da distinção entre processo e produto, a HQ mostra que o contexto da descoberta comporta certa “irracionalidade” e aspectos subjetivos; contempla casualidades, erros, intuições, ações criativas. Esses elementos não fazem parte de regras rígidas e infalíveis – como apregoa o método científico (MOREIRA; OSTERMANN, 1993) – ao contrário, explicitam aspectos humanos na construção do conhecimento. Contrastando isso, apresenta o contexto da justificativa, que corresponde a uma reconstrução lógica do desenvolvimento científico. Esse contexto ignora qualquer subjetividade envolvida na pesquisa científica, priorizando o seu produto objetivo. Não apresenta, necessariamente, o processo de construção do conhecimento tal como se desenvolveu, mas o reconstrói à luz de um encadeamento lógico [fig. 5].

A separação do contexto da descoberta e do contexto da justificativa para Reichenbach

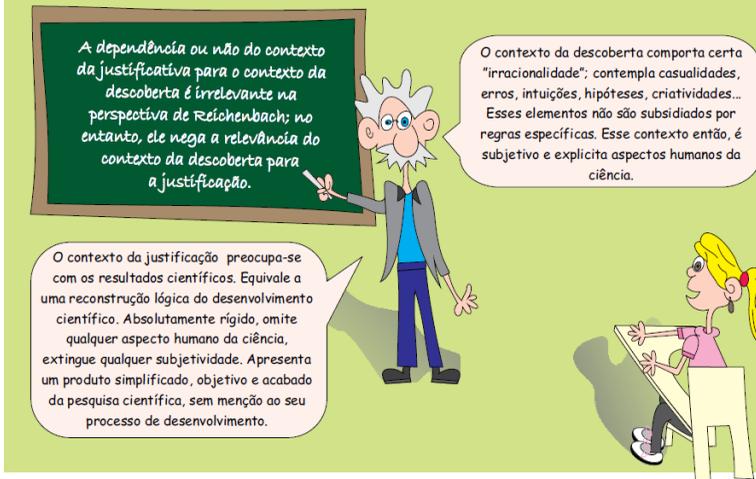


Figura 5 – Quadro (nº12): a separação do contexto da descoberta e do contexto da justificativa.

Utilizando os estudos de Stephen Gray, a HQ apresenta e discute as objeções feitas à distinção DJ pela filosofia da ciência contemporânea. A partir da descoberta da condução elétrica, argumenta-se que os contextos da descoberta e da justificativa são processos temporalmente indistintos, por exemplo. A observação casual da atração de uma pena por uma rolha conectada a um tubo de vidro atritado – que está na gênese do conceito de comunicação da virtude elétrica (Gray, 1731) – não pode ser dissociada à justificativa que Gray irá desenvolver, à luz de seus pressupostos, para explicar e compreender esse novo fenômeno [fig. 6].

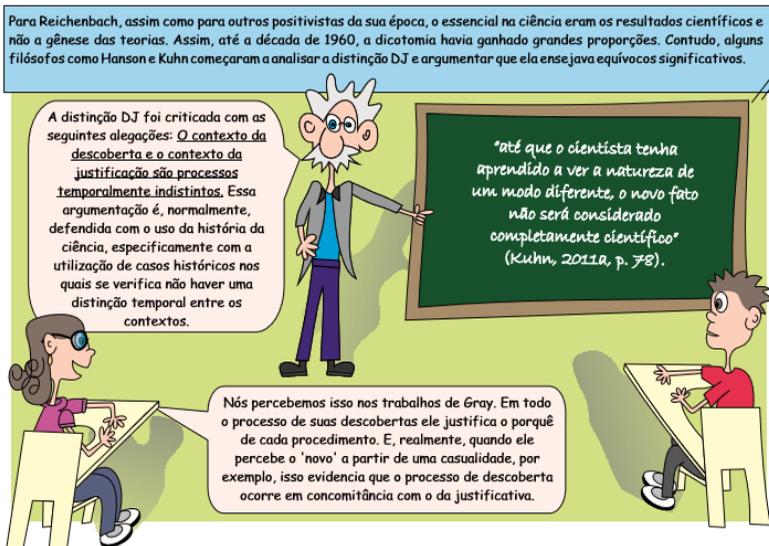


Figura 6 – Quadro (nº 14): contrapõe-se a separação temporal dos contextos DJ por meio da análise da descoberta da condução elétrica.

O contexto histórico, em geral, permite apreciar o processo científico, os elementos subjetivos, econômicos, culturais, filosóficos, etc. que estão presentes nesse meio e influenciam os trabalhos desenvolvidos. Através dos trabalhos de Gray, o professor salienta que a ciência é permeada pelas relações sociais, que podem ou não favorecer o seu desenvolvimento. Destaca, por exemplo, as dificuldades que esse estudioso teve para se integrar a Royal Society. Ademais, o acaso evidenciado por ele e a escolha específica de alguns materiais para seus trabalhos, sem dúvida, mostram que determinadas escolhas subjetivas condicionam as pesquisas científicas [fig. 7].

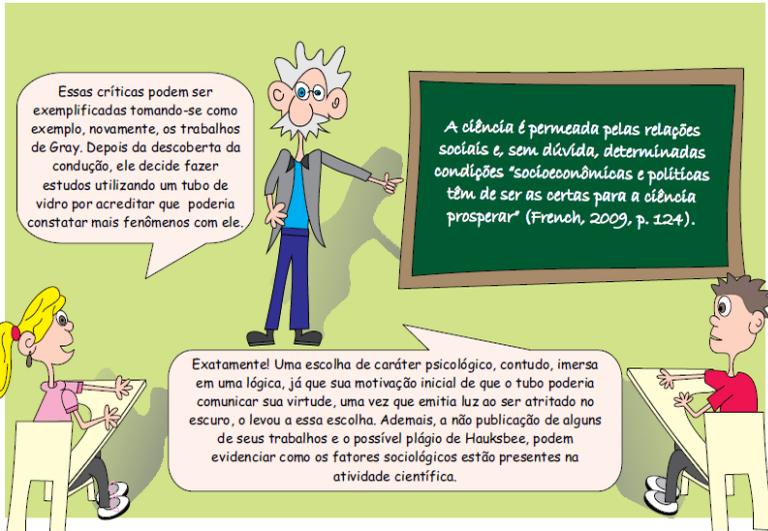


Figura 7 – Quadro (nº 19): a distinção DJ é criticada com a análise dos estudos de Stephen Gray.

Por fim, a história discute a incoerência da dicotomia DJ perpetuada por muito tempo na esfera científica e com ampla presença no ensino de ciências, argumentando ser inadequado distinguir processo e resultado científico em um ensino que se preocupa (ou deveria) em discutir aspectos *sobre* a ciência [fig. 8]. A perseverança na dicotomia DJ distorce a compreensão de aspectos relativos à natureza e ao trabalho científico. Nessa perspectiva, salienta-se que episódios da história da ciência, como os estudos de Gray, permitem examinar a ciência como uma atividade passível de subjetividade e possibilitam compreender a incoerência da separação entre o contexto da descoberta e da justificativa na análise do desenvolvimento da ciência.

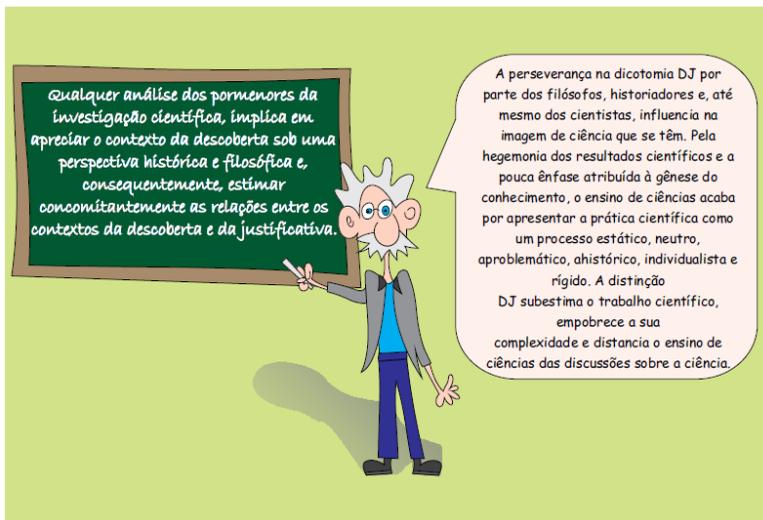


Figura 8 – Quadro (nº 21): a análise histórica da ciência pode evidenciar a incoerência da separação entre os contextos DJ e as conseqüências dessa dicotomia na perpetuação de certas imagens acerca da ciência.

6.4. Implicações para o ensino: perspectivas para o uso da HQ

A história em quadrinhos *História e Filosofia da Ciência em sala de aula: objeções à dicotomia entre o contexto da descoberta e o contexto da justificativa* foi elaborada para ser agregada a um módulo de ensino referente a um segmento da história da eletricidade em uma disciplina sobre a história da física. Desde o primeiro semestre de 2014, ela já faz parte do mesmo. Nesse sentido, a sua articulação com os demais elementos desse módulo otimiza o seu uso. Contudo, dado a riqueza epistemológica do assunto, a HQ pode ser trabalhada, com relativa independência, em outros contextos.

Assim, por exemplo, no primeiro semestre de 2014, a HQ subsidiou o seminário: “Uma discussão sobre o contexto da descoberta e da justificativa”, apresentado para alunos da licenciatura em física que estavam cursando uma disciplina com enfoque histórico e filosófico no Instituto Federal de Santa Catarina. O objetivo central da palestra era evidenciar aspectos relativos à natureza da ciência com a distinção DJ. Como os alunos não possuíam conhecimentos específicos acerca dos trabalhos de Stephen Gray foi necessário contextualizar os seus estudos – o que foi feito sem grandes dificuldades, ao longo do seminário. Isso apenas mostra

que o professor tem de zelar pela contextualização histórica que a HQ demanda para que ela seja plenamente utilizada.

A função da história em quadrinhos, nesse contexto, foi a de exemplificar o conteúdo das discussões do seminário e instigar os alunos às atividades posteriores sobre o assunto, no âmbito da disciplina. Sugeriu-se aos estudantes, com o auxílio do professor, que modificassem essa história de forma a adaptá-la a outro nível de ensino, como o ensino médio, por exemplo. Uma atividade com essa característica demanda uma compreensão do tema discutido na HQ, uma análise crítica do mesmo e um planejamento de adaptação do material. Isso envolve discussões sobre a ciência em sala de aula e pode indicar aos futuros professores possibilidades de trabalhar esse assunto em suas aulas.

Ainda no primeiro semestre letivo de 2014, a HQ foi incorporada ao módulo *História e Filosofia da Ciência em sala de aula: objeções à dicotomia entre o contexto da descoberta e o contexto da justificativa*, na disciplina Evolução dos Conceitos da Física do Departamento de Física da Universidade Federal de Santa Catarina na modalidade de ensino de física à distância. Nessa perspectiva, o módulo sofreu algumas alterações. Uma videoaula, na qual se discute algumas críticas feitas à dicotomia DJ à luz da moderna filosofia da ciência e vinculada aos estudos de Stephen Gray, foi produzida para promover uma melhor compreensão do tema pelos alunos. Nesse sentido, a HQ foi incorporada para, além de motivar os alunos e exemplificar as discussões apresentadas na videoaula, estimular o processo de aprendizagem acerca dos aspectos relativos à Natureza da Ciência. A utilização da HQ na educação à distância evidencia que ela pode prescindir de aulas presenciais, demandando apenas a incorporação e agregação de outros materiais para sua contextualização.

Neste artigo, procurou-se apresentar a estrutura e as potencialidades da HQ. Uma análise preliminar do seu uso, tanto no seminário quanto nos ensinos à distância e presencial, sugere que ela é capaz de contribuir para a implementação de discussões significativas acerca dos contextos da descoberta e da justificativa, um assunto que ainda não se faz presente em sala de aula.

Referências

CARUSO, F.; SILVEIRA, C. Quadrinhos para a cidadania. *História, Ciências, Saúde – Manginhos*, Rio de Janeiro, v.16, n.1, p.217-236, 2009.

- CARVALHO, L. S.; MARTINS, A. F. P. Formação continuada com quadrinhos nas aulas de Ciências: algum problema?. **Linhas Críticas, Brasília, DF**, v.19, n.39, p. 331-353, 2013.
- CARVALHO, L. S.; MARTINS, A. F. P. Os quadrinhos nas aulas de Ciências Naturais: uma história que não está no gibi. **Revista Educação em Questão**, Natal, v. 35, n. 21, p. 120-145, 2009.
- CLOUGH, M. O.; OSLOM, J. K. Teaching and assessing the nature of science: An Introduction. **Science & Education**, v. 17, p.143-145, 2008.
- CRUZ, T. M. G. S.; MESQUITA, N. A. S.; SOARES, M. H. F. B. H'Química – O uso dos quadrinhos para o Ensino de Radioatividade. In: Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, IX, São Paulo. **Atas...2013**.
- EL-HANI, C. N. Notas sobre o ensino de história e filosofia das ciências na educação científica de nível superior. In: Silva, C. C. (Org.). **História e Filosofia da Ciência no Ensino de Ciências: Da Teoria à Sala de Aula**. São Paulo (Brasil): Editora Livraria da Física. p. 3-21, 2006.
- FERNÁNDEZ, I.; GIL, D.; CARRASCOSA, J.; CACHAPUZ, A.; PRAIA, J. Visiones Deformadas de La Ciencia Transmitidas por la Enseñanza. **Enseñanza de las ciencias**, p. 477-488, 2002.
- 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.
- GIL PÉREZ, D.; MONTORO, I. F.; ALÍS, J. C.; CACHAPUZ, A.; PRAIA, J. Para uma imagem não deformada do trabalho científico. **Ciência & Educação**, v. 7, n. 2, p. 125-153, 2001.
- GRAY, S. A letter to Cromwell Mortiner, M. D. Secr. R. S. Containing Several Experiments concerning Electricity. **Philosophical Transactions**, v. 37, p. 18-44, 1731.
- HODSON, D. Philosophy of Science and Science Education. **Journal of Philosophy of Education**, v. 20, n. 2, p. 215-225, 1986.

KEOGH, B.; NAYLOR, S.; WILSON, C. Concept cartoons: a new perspective on physics education. **Phys. Educ.** 33(4), p. 219-224, 1998.

KRAGH, H. **Introdução à Historiografia da Ciência**. Portugal: Porto Editora, 2001.

LEDERMAN, N. G. Nature of science: past, present, and future. In: Abell, S. K.; N. G. Lederman (Eds.). **Handbook of research on science education**. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, p. 831-880, 2007.

MARTINS, R. A. Introdução: história da ciência e seu uso na educação. In: Silva, C. C. (Org.). **Estudos de história e filosofia das ciências: subsídios para aplicação no ensino**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2006.

MATTHEWS, M. R. História, filosofia, e ensino de ciências: a tendência atual de reaproximação. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 12, n. 3, p. 164-214, 1995.

MATTHEWS, M. R. In Defense of Modest Goals When Teaching about the Nature of Science. **Journal of Research in Science Teaching**, vol. 35, n. 2, p. 161-174, 1998.

McCOMAS, W, F.; ALMAZROA, H.; CLOUGH, M. The nature of science in science education: in introduction. **Science & Education**, v. 7, p. 511-532, 1998.

MOREIRA, A. M.; OSTERMANN, F. Sobre o ensino do método científico. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v.10, n. 2, p. 108-117, 1993.

PEDUZZI, L. O. Q. Do efeito âmbar à garrafa de Leyden. Florianópolis, 2013. (**publicação interna**).

PEDUZZI, L. O. Q. Sobre a utilização didática da História da Ciência. In: Pietrocola, M.(org). **Ensino de física: conteúdo, metodologia e epistemologia numa concepção integradora**. Florianópolis: Editora da UFSC, 2005.

PENA, F. L. P. Como trabalhar com “TIRINHAS” nas aulas de Física. **Física na Escola**, v. 4, n. 2, 2003.

PRAIA, J.; GIL PÉREZ, D.; VILCHES, A. O papel da natureza da ciência na educação para a cidadania. **Ciência & Educação**, v. 13, n. 2, p. 141-156, 2007.

RAIČIK, A. C.; PEDUZZI, L. O. Q. Uma abordagem histórica e experimental à eletricidade em uma disciplina sobre a evolução dos conceitos da física. In: Simpósio Nacional de Ensino de Física, XX, São Paulo. **Atas...**2013a.

RAIČIK, A. C.; PEDUZZI, L. O. Q. Uma discussão sobre os contextos da descoberta e da justificativa nos estudos de Du Fay. In: Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, IX, São Paulo. **Atas...**2013b.

REICHENBACH, H. **Experience and Prediction**. Chicago: University of Chicago Press, 1938.

REZENDE, F. S.; FERREIRA, L. N. A.; QUEIROZ, S. L. Concepções a respeito da construção do conhecimento científico: uma análise a partir de textos produzidos por estudantes de um curso superior de química. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, v. 9, n. 3, p. 596-617, 2010.

SANTOS, R. E.; VERGUEIRO, W. Histórias em quadrinhos no processo de aprendizagem: da teoria à prática. *EccoS – Rev. Cient.*, São Paulo, n. 27, p. 81-95, 2012.

SOUZA, E. O. L.; VIANNA, D. M. Reflexões sobre o uso de histórias em quadrinhos para promover o discurso na aula. In: Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, IX, São Paulo. **Atas...**2013.

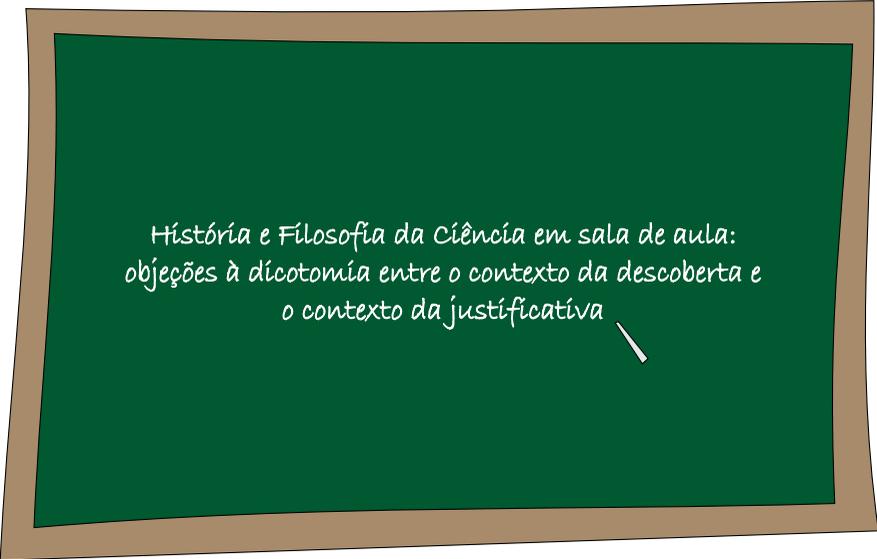
STEINLE, F. Experiments in History and Philosophy of Science. **Perspectives on Science**, v. 10, n. 4, p. 408-432, 2002.

STEINLE, F. (1997). Entering new fields: exploratory uses of experimentation. **Philosophy of Science**, v. 64, p. 565-574, 1997.

TESTONI, A. L.; SOUZA, P. H.; NAKAMURA, E.; PAULA, S. M. Histórias em quadrinhos nas aulas de física: uma proposta de ensino baseada na enculturação científica. In: Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, IX, São Paulo. **Atas...**2013.

WORNER, C. H.; ROMERO, A. Una manera diferente de enseñar física: física y humor. **Enseñanza de las Ciencias**, 16 (1), p. 187-192, 1998.

Anexo



História e Filosofia da Ciência em sala de aula:
objeções à dicotomia entre o contexto da descoberta e
o contexto da justificativa

Em uma de suas aulas, o professor X discute alguns aspectos relativos à Natureza da Ciência (NdC), sobretudo, acerca da prática e do desenvolvimento científico. Em aulas anteriores, ele havia iniciado o estudo e a análise dos trabalhos desenvolvidos por Stephen Gray - um eminente sábio dos fenômenos elétricos do início do século XVIII. Prosseguindo então, o professor enaltece alguns aspectos epistemológicos envolvidos nos trabalhos desse estudioso. Começam-se assim, discussões filosóficas sobre os contextos da descoberta e da justificativa que, tanto intrigaram os alunos, quanto propiciaram grandes esclarecimentos sobre a importância de uma análise crítica do processo construtivo da ciência e não apenas dos seus resultados. No decorrer do seu discurso, o professor X argumenta que a investigação científica é pautada em pluralismos metodológicos e não segue um método único e rígido. Dessa forma, o cientista expõe-se ao erro, à casualidade, às dúvidas, à uma busca (muitas vezes) incansável pela compreensão da natureza.

Os aspectos presentes na pesquisa científica...

A prática científica é, muitas vezes, permeada por situações inesperadas, dúvidas, problematizações, erros, constantes reflexões, diversas hipóteses que, em diálogo com as experimentações, propiciam um desenvolvimento ímpar no que tange aos estudos científicos.

Investigação científica

Hipóteses, ideias, criatividade,
dúvidas, erros, causalidade,
pressupostos teóricos e
culturais.



Acostumados com uma concepção de ciência rígida, os alunos levantam questionamentos sobre o papel do método científico nessa perspectiva.



O método científico, que fundamentalmente rege a ciência, se pauta nesses elementos subjetivos?



O método científico não segue passos rígidos? Como uma receita infalível?



É comumente disseminado, por materiais pedagógicos e por docentes, em aulas de ciências, que a investigação científica é norteadada pelo método científico. Método esse que segue passos rígidos. A observação...



Essa concepção ingênua acaba "esquecendo - ou, inclusive, recusando - tudo o que se refere à criatividade, ao caráter tentativo, à dúvida" (Cil Pérez et al. 2001, p. 130).

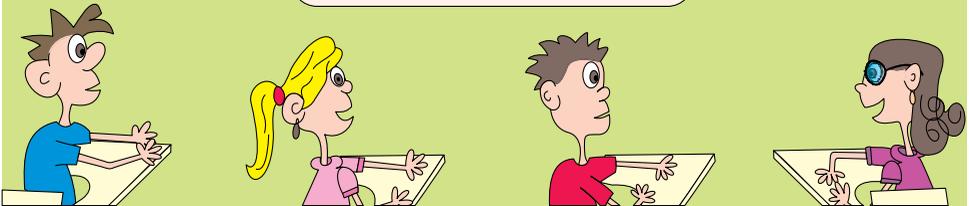
Observação (controlada e neutra), hipóteses, experimentação (corroboradora ou refutadora), conclusão (teoria).

É isso mesmo, Tat! Esse suposto método acaba ignorando qualquer aspecto humano e subjetivo da ciência.



O conhecimento científico é um constante jogo de hipóteses e expectativas, lógicas ou não, um constante vaivém entre o que pode ser e o que "é", uma permanente discussão e argumentação/contrargumentação entre a teoria e as observações/ experimentações realizadas. (Praia et al. 2002)

Contudo, como muitos estudos apontam, é um equívoco considerar o método uma fórmula ideal, única e infalível, de produzir conhecimentos.



Com o intuito de explicitar alguns processos na ciência que escapam ao escopo do método científico, o professor retoma com discussões dos estudos desenvolvidos por Gray.

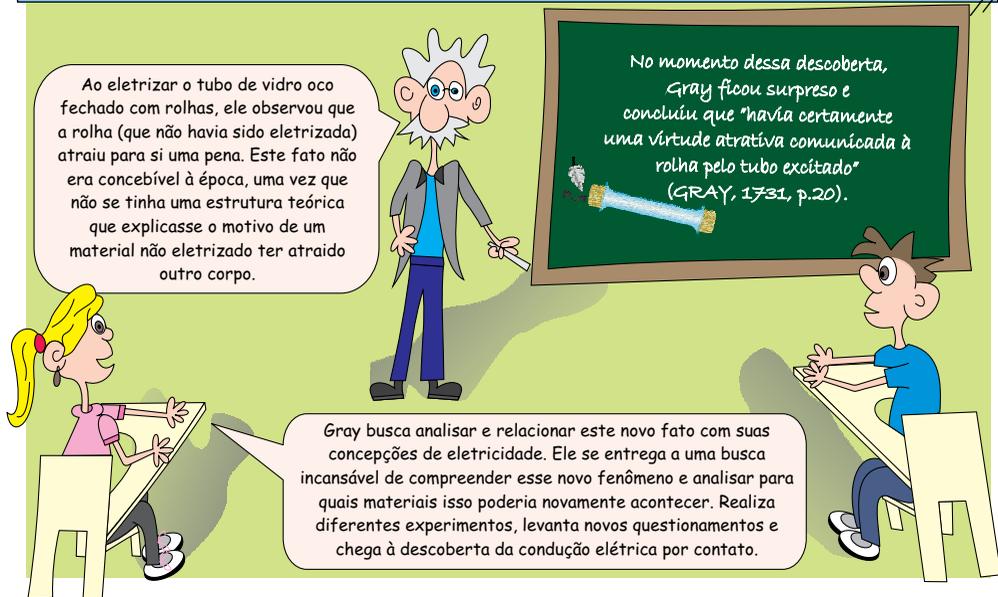
Para uma mente preparada, a casualidade pode instigar o estudioso a entender o fenômeno, o porquê ocorreu e, assim, (re)orientar a pesquisa científica.

Como percebemos nos estudos de Gray, ele não seguiu esse método científico. Ele foi norteador por suas concepções, por sua sagacidade. A experimentação, por exemplo, teve outros papéis que não só corroborar ou refutar uma teoria. Lembram-se?

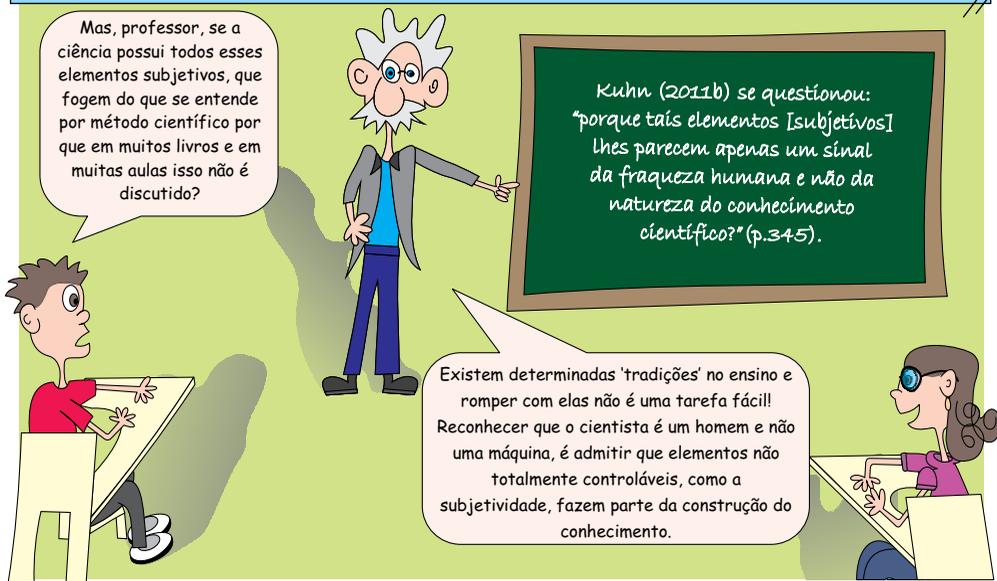
Nos estudos de Gray podemos perceber que, por vezes, a pesquisa foi guiada por suas expectativas, conduzidas com os materiais dos quais ele tinha acesso e, notoriamente na descoberta da condução da virtude elétrica, a casualidade orientou seus estudos.



No desenrolar de seus estudos, Gray estava sempre instigado a encontrar novas descobertas. Gray começa a fazer experimentações utilizando um tubo de vidro à base de chumbo. Sua motivação inicial de que o tubo poderia comunicar sua virtude, uma vez que emitia luz ao ser atritado no escuro, o levou a uma descoberta notória na história da eletricidade.



A história da ciência evidencia a importância de se analisar a construção e o desenvolvimento científico e não apenas o seu produto. Visto que, os alunos sempre se deparam com uma ciência estática e infalível, eles começam a indagar sobre as concepções que se tem da ciência.



No ensino de ciências, seja através dos professores ou dos materiais didáticos, há sempre uma concepção filosófica, implícita ou explicitamente presente. Essa perspectiva orienta o entendimento epistêmico de ciência; sobre o método científico, sobre o contexto de investigação, sobre o papel do experimento na ciência, sobre a pluralidade metodológica.

É por isso que muitos manuais didáticos apenas explicitam o conhecimento "finalizado" e não o contextualizam quanto um processo?



Imagens inadequadas...

- Concepção empírico-indutivista e ateorica;
- Visão rígida (algorítmica, exata, infalível);
- Visão aproblemática e ahistórica (portanto, dogmática e fechada);
 - Visão exclusivamente analítica;
- Visão acumulativa de crescimento linear;
 - Visão individualista e elitista
 - Visão socialmente neutra da ciência.



De certa maneira, sim. O que principalmente os manuais didáticos apresentam é uma reconstrução (considerada lógica) do conhecimento. No entanto, a valorização apenas do produto científico gera dificuldades de compreensão sobre a ciência. Desta forma, o ensino acaba perpetuando imagens inadequadas do procedimento científico.

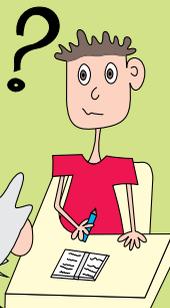
Diante das diversas dúvidas que surgiram na aula e buscando explicitar melhor a diferença entre o que realmente se faz na atividade científica e o que se apresenta para a comunidade sobre esse processo, o professor resolve falar sobre a distinção entre os contextos da descoberta e da justificativa.



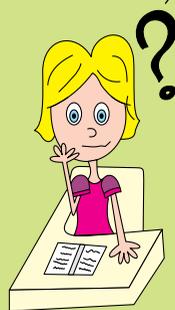
Que alternativas temos para compreender melhor os aspectos sobre a ciência?



Por que apenas os resultados científicos são valorizados?



Mas o que significa essa reconstrução lógica?



No livro "Experiência e Predição", publicado em 1938, Reichenbach (matemático, filósofo, físico) explicita a distinção entre o contexto da descoberta e o contexto da justificativa. Essa dicotomia fundamentava e legitimava a filosofia da ciência como um campo autônomo em relação a outras áreas do conhecimento, como a história da ciência, a sociologia e a psicologia.



"Se uma determinação mais conveniente deste conceito de reconstrução racional é desejada, poderíamos dizer que ela corresponde à forma em que os processos de pensamento são comunicados a outras pessoas, em vez da forma como eles são subjetivamente executados (...)"
(Reichenbach, 1938, p. 6).

Para Reichenbach há (e deve haver) uma diferença entre a maneira como a atividade científica é produzida e como ela é apresentada à sociedade. Assim, o que se apresenta à comunidade é uma reconstrução lógica dessa atividade, elaborada de maneira simplificada e objetiva.



A separação do contexto da descoberta e do contexto da justificativa para Reichenbach

A dependência ou não do contexto da justificativa para o contexto da descoberta é irrelevante na perspectiva de Reichenbach; no entanto, ele nega a relevância do contexto da descoberta para a justificativa.

O contexto da justificativa preocupa-se com os resultados científicos. Equivale a uma reconstrução lógica do desenvolvimento científico. Absolutamente rígido, omite qualquer aspecto humano da ciência, extingue qualquer subjetividade. Apresenta um produto simplificado, objetivo e acabado da pesquisa científica, sem menção ao seu processo de desenvolvimento.

O contexto da descoberta comporta certa "irracionalidade"; contempla casualidades, erros, intuições, hipóteses, criatividade... Esses elementos não são subsidiados por regras específicas. Esse contexto então, é subjetivo e explicita aspectos humanos da ciência.





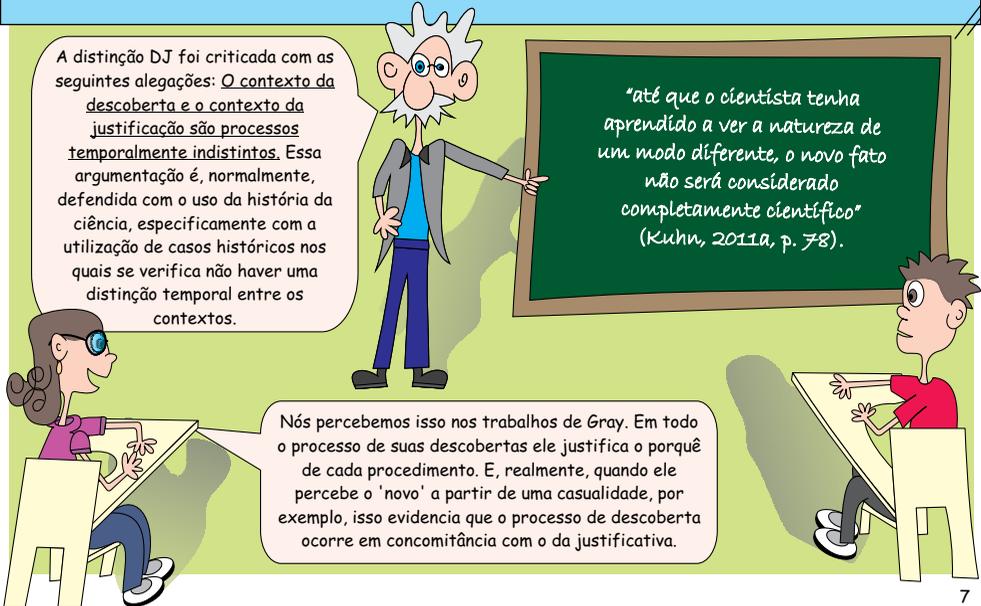
Para Reichenbah (1953) o processo da descoberta escapa a uma análise lógica, já que não possui regras que permitam "construir uma máquina descobridora que assumiria a função criadora do gênio" (p. 211).

Mas professor, não é importante conhecermos o contexto da descoberta para justificarmos e entendermos os resultados científicos?

E ainda, como vimos com Gray e outros estudiosos, a ciência é construída humanamente, com erros, casualidades, enfim... não seria uma 'extrapolação' muito grande essa dicotomia entre os contextos DJ?

Sim, Iza e Marcelo. Como veremos, a partir da década de 1960 essa dicotomia recebeu diferentes críticas.

Para Reichenbach, assim como para outros positivistas da sua época, o essencial na ciência eram os resultados científicos e não a gênese das teorias. Assim, até a década de 1960, a dicotomia havia ganhado grandes proporções. Contudo, alguns filósofos como Hanson e Kuhn começaram a analisar a distinção DJ e argumentar que ela ensejava equívocos significativos.



A distinção DJ foi criticada com as seguintes alegações: O contexto da descoberta e o contexto da justificação são processos temporalmente indistintos. Essa argumentação é, normalmente, defendida com o uso da história da ciência, especificamente com a utilização de casos históricos nos quais se verifica não haver uma distinção temporal entre os contextos.

"até que o cientista tenha aprendido a ver a natureza de um modo diferente, o novo fato não será considerado completamente científico" (Kuhn, 2011a, p. 78).

Nós percebemos isso nos trabalhos de Gray. Em todo o processo de suas descobertas ele justifica o porquê de cada procedimento. E, realmente, quando ele percebe o 'novo' a partir de uma casualidade, por exemplo, isso evidencia que o processo de descoberta ocorre em concomitância com o da justificativa.

A descoberta da condução da virtude atrativa ocorreu ao acaso. Como explicita Hanson (1967), o estudioso tropeçou na descoberta. Embora Gray esperasse constatar algo utilizando o tubo de vidro, havia um despreparo teórico/conceitual no que se refere a eletrização da rolha, já que não havia um corpo de conhecimento estruturado que o auxiliasse na interpretação do fenômeno observado.

Em determinados eventos casuais, podem emergir os pressupostos conceituais e teóricos subjacentes ao estudioso que, sabendo identificar a casualidade, interessa-se em estudá-la. Assim, admitir o 'novo', a partir de um acaso, como enfatiza Roberts (1993) não presume neutralidade, já que os acidentes ou "erros" tornam-se descobertas pela sagacidade do estudioso em entender esse novo fato. Ou seja, o acaso pode favorecer as pessoas que estão inseridas em uma investigação.

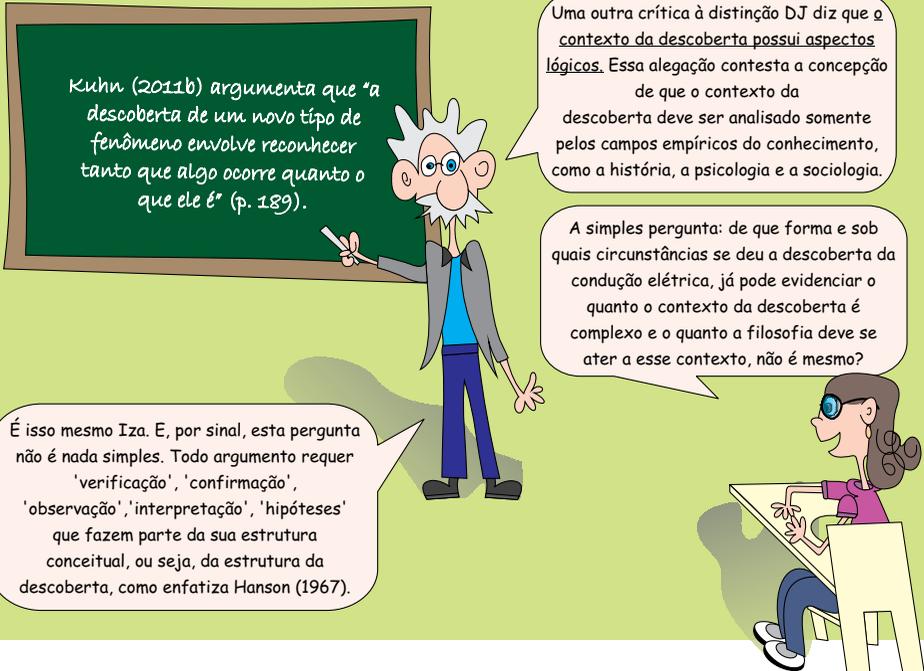
No entanto, professor, isso não implica em um estudioso neutro, não é mesmo? Diante da falta de uma teoria específica que esclarecesse o incidente, Gray poderia ter ignorado a observação feita, mas à luz de suas concepções e inserido em estudos envolvendo conjecturas elétricas, ele buscou compreender esse acaso em sua investigação.

De acordo com Heilbron (1979) este é "um exemplo clássico de um acaso que favorece uma mente preparada" (p.245)

Esse episódio está relacionado à gênese da descoberta da comunicação da virtude elétrica. Contudo, esse acaso foi apurado, analisado, estudado e por isso levou a uma descoberta notória na história da eletricidade.

Cada momento do contexto da descoberta envolve, mesmo que parcialmente, uma justificação. Gray considerou que deveria haver uma virtude atrativa sendo comunicada à rolha; essa argumentação está permeando o contexto da descoberta.

Exatamente



Kuhn (2011b) argumenta que "a descoberta de um novo tipo de fenômeno envolve reconhecer tanto que algo ocorre quanto o que ele é" (p. 189).

Uma outra crítica à distinção DJ diz que o contexto da descoberta possui aspectos lógicos. Essa alegação contesta a concepção de que o contexto da descoberta deve ser analisado somente pelos campos empíricos do conhecimento, como a história, a psicologia e a sociologia.

A simples pergunta: de que forma e sob quais circunstâncias se deu a descoberta da condução elétrica, já pode evidenciar o quanto o contexto da descoberta é complexo e o quanto a filosofia deve se ater a esse contexto, não é mesmo?

É isso mesmo Iza. E, por sinal, esta pergunta não é nada simples. Todo argumento requer 'verificação', 'confirmação', 'observação', 'interpretação', 'hipóteses' que fazem parte da sua estrutura conceitual, ou seja, da estrutura da descoberta, como enfatiza Hanson (1967).

Outras objeções a distinção DJ ...

A justificação possui aspectos sociológicos e psicológicos. Nesse discurso, cujo principal proponente é Kuhn, argumenta-se que o contexto da justificativa possui elementos sociológicos - no âmbito da escolha social de teorias pela comunidade que inclusive varia de uma comunidade científica à outra ou de uma época à outra - e elementos psicológicos - visto que cada membro de uma comunidade pode interpretar diferentemente determinados valores.

Kuhn argumenta que, as decisões fundamentais são justificadas no sentido das escolhas feitas de acordo com valores específicos dos sujeitos ou de uma comunidade.

Ainda, a psicologia e outras disciplinas empíricas são relevantes à epistemologia. Nesta perspectiva, argumenta-se que disciplinas fatuais podem ser importantes para a epistemologia. Elas podem oferecer elementos que permitem um melhor entendimento do conhecimento, uma vez que analisa seu processo.

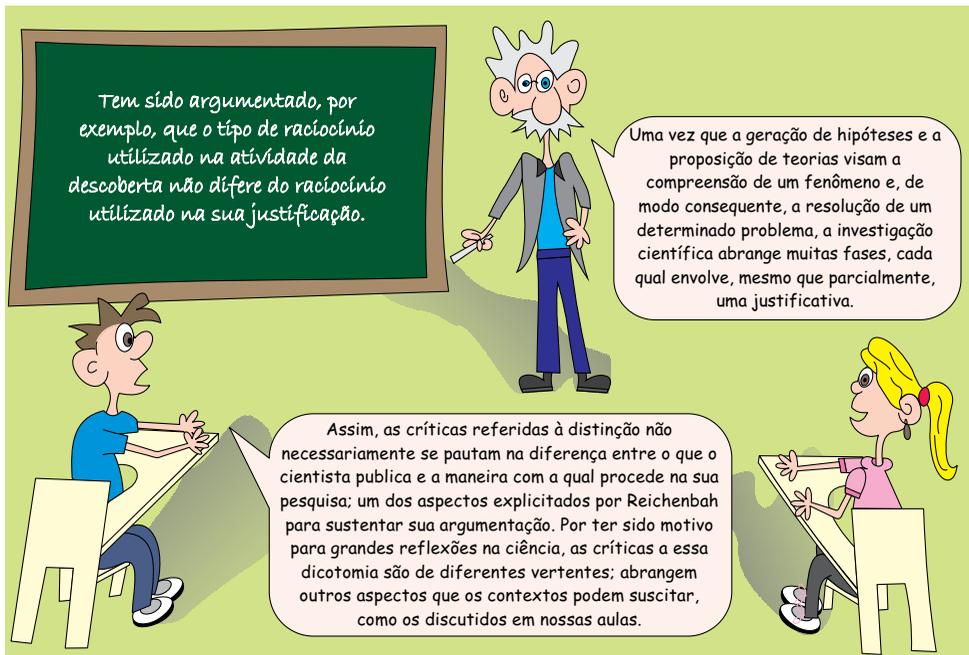
Quando se admite que a ciência é permeada por elementos subjetivos fica mais fácil compreender essa crítica. No âmbito mais amplo, a própria sagacidade do estudioso evidencia uma escolha psicológica frente a uma casualidade ou à interpretação de um erro...



Essas críticas podem ser exemplificadas tomando-se como exemplo, novamente, os trabalhos de Gray. Depois da descoberta da condução, ele decide fazer estudos utilizando um tubo de vidro por acreditar que poderia constatar mais fenômenos com ele.

A ciência é permeada pelas relações sociais e, sem dúvida, determinadas condições "socioeconômicas e políticas têm de ser as certas para a ciência prosperar" (French, 2009, p. 124).

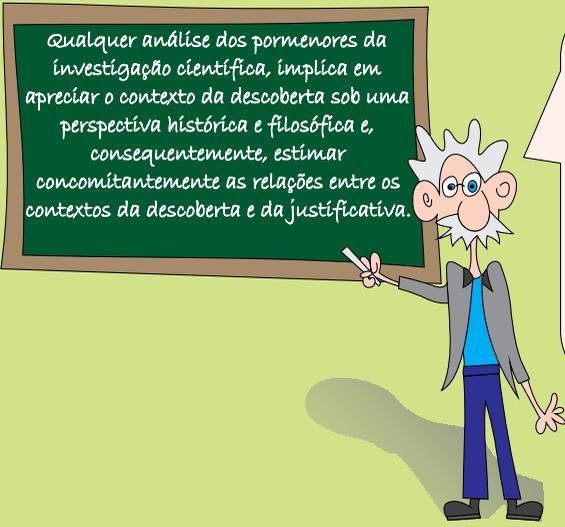
Exatamente! Uma escolha de caráter psicológico, contudo, imersa em uma lógica, já que sua motivação inicial de que o tubo poderia comunicar sua virtude, uma vez que emitia luz ao ser atritado no escuro, o levou a essa escolha. Ademais, a não publicação de alguns de seus trabalhos e o possível plágio de Hauksbee, podem evidenciar como os fatores sociológicos estão presentes na atividade científica.



Tem sido argumentado, por exemplo, que o tipo de raciocínio utilizado na atividade da descoberta não difere do raciocínio utilizado na sua justificação.

Uma vez que a geração de hipóteses e a proposição de teorias visam a compreensão de um fenômeno e, de modo consequente, a resolução de um determinado problema, a investigação científica abrange muitas fases, cada qual envolve, mesmo que parcialmente, uma justificativa.

Assim, as críticas referidas à distinção não necessariamente se pautam na diferença entre o que o cientista publica e a maneira com a qual procede na sua pesquisa; um dos aspectos explicitados por Reichenbach para sustentar sua argumentação. Por ter sido motivo para grandes reflexões na ciência, as críticas a essa dicotomia são de diferentes vertentes; abrangem outros aspectos que os contextos podem suscitar, como os discutidos em nossas aulas.



Qualquer análise dos pormenores da investigação científica, implica em apreciar o contexto da descoberta sob uma perspectiva histórica e filosófica e, conseqüentemente, estimar concomitantemente as relações entre os contextos da descoberta e da justificativa.

A perseverança na dicotomia DJ por parte dos filósofos, historiadores e, até mesmo dos cientistas, influencia na imagem de ciência que se têm. Pela hegemonia dos resultados científicos e a pouca ênfase atribuída à gênese do conhecimento, o ensino de ciências acaba por apresentar a prática científica como um processo estático, neutro, apromblemático, ahistórico, individualista e rígido. A distinção DJ subestima o trabalho científico, empobrece a sua complexidade e distancia o ensino de ciências das discussões sobre a ciência.

Referências

- GIL PÉREZ, D. et al. Para uma imagem não deformada do trabalho científico. *Ciência & Educação*, v. 7, n. 2, p. 125-153, 2001.
- FRENCH, S. *Ciência: Conceitos-chave em Filosofia*, Artmed, 2009.
- GRAY, S. A letter to Cromwell Mortiner, M. D. Secr. R. S. Containing Several Experiments concerning Electricity. *Philosophical Transactions*, v. 37, p. 18-44, 1731-1732.
- HANSON, N. R. An Anatomy of Discovery. *The Journal of Philosophy*, v. 64, n. 11, p. 321-352, 1967.
- HEILBRON, J. L. *Electricity in the 17th & 18th Centuries*. Berkeley: University of California Press, 1979.
- KUHN, T. S. *A estrutura das revoluções científicas*. São Paulo: Perspectiva, 2011a.
- KUHN, T. S. *A tensão essencial: estudos selecionados sobre tradição e mudança científica*. São Paulo: Unesp, 2011b.
- PRAIA, J.; CACHAPUZ, A.; GIL PEREZ, D. A hipótese e a experiência científica em educação em ciência: contributos para uma reorientação epistemológica. *Ciência & Educação*, v. 8, n. 2, p. 253-262, 2002.
- ROBERTS, R. M. *Descobertas acidentais em ciências*. Campinas, SP: Papirus, 1993.
- REICHENBACH, H. *Experience and Prediction*. Chicago: University of Chicago Press, 1938.
- REICHENBACH, H. *La filosofia científica*. México: Fondo de cultura económica, 1953.

Agradecimento: a Juliano de Betio pela arte

Considerações Finais

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O ensino, em geral, dissemina uma concepção empírico-indutivista da ciência – entre outras visões equivocadas do empreendimento científico – e, associada a ela, a ideia de que a experimentação possui essencialmente o papel de corroborar ou não uma teoria. Este tipo de interpretação ingênua traz consigo um pressuposto de que evidências independentes de teorias estão disponíveis, e que testes não ambíguos são possíveis. (HODSON, 1988). Contudo, quando se analisa a História da Ciência (HC), percebe-se que a relação entre as hipóteses (e as teorias) e a experimentação pode ser, e geralmente é, dialógica e dinâmica. Os estudos de Stephen Gray e Charles Du Fay, por exemplo, explicitam fortemente essa relação na constituição e na compreensão de conceitos e princípios.

No início do século XVIII, a eletricidade ainda era um campo incipiente de conhecimento. Neste período, muitos dos efeitos elétricos eram vistos como enigmáticos; não havia conceitos suficientes e compreensíveis que os explicassem. Uma classificação possível para as experimentações – que normalmente prevalecem em períodos, como este, nos quais não há um corpo teórico de conhecimento bem definido – é, segundo Steinle (2002; 1997), do tipo *exploratória*. Elas evidenciam, predominantemente, a dinâmica científica; processo em que se verifica, varia-se, modifica-se, descobre-se algo novo, inventa-se, refaz-se e busca-se estabelecer e obter regularidades empíricas, conceitos e classificações.

Embora o experimento dialogue fortemente com as hipóteses no processo de estruturação do conhecimento, o ensino subestima a relação da experimentação com os aportes teóricos. Assim, a presente pesquisa, desenvolvida na disciplina Evolução dos Conceitos da Física do Departamento de Física da Universidade Federal de Santa Catarina, visou responder à pergunta: **Como um episódio específico da história da eletricidade, aportado no conceito de experimentação exploratória, pode contribuir para uma melhor compreensão do aluno sobre a dinâmica entre hipótese e experimentação?** Vinculados a este problema de pesquisa, foram concebidos seis objetivos específicos, tratados ao longo de cinco capítulos da dissertação que foi desenvolvida na forma de artigos.

A partir do conceito de *experimentação exploratória*, introduzem-se, no primeiro capítulo, discussões sobre os contextos da descoberta e da justificativa. A visão geral de Reichenbach, que delinea a gênese da distinção DJ foi apresentada seguida de um aporte filosófico contemporâneo sobre o assunto – diferente daquele que permeava o início do século XX. O diálogo realizado a partir de Kuhn e de artigos relativos

ao tema, permitiu explicitar as incoerências da distinção DJ e analisar, em linhas gerais, desde a defesa desta dicotomia às objeções conferidas a ela. A base teórica tratada possibilitou evidenciar que a ciência é muito mais do que uma *reconstrução lógica* do conhecimento. Nesta perspectiva, a própria relação entre teoria e experimento pode (e é) analisada de modo dinâmico e dialógico. Essas discussões contemplaram o primeiro objetivo específico da pesquisa – *discutir, conceitualmente, os contextos da descoberta e da justificativa e a relação entre eles* – e suscitaram aprofundamentos do que se entende por uma descoberta científica.

A complexidade e a estrutura de uma descoberta são explicitadas, no segundo capítulo. A partir de autores como Hanson, Kuhn e Kipnis, examina-se o significado conceitual e epistemológico da terminologia descoberta, atentando para o segundo objetivo específico da pesquisa. Isto propiciou ressaltar que o experimento possui uma relação mais dialógica com as teorias e as hipóteses desenvolvidas nos processos de construção do conhecimento. Ainda, permitiu contrapor a distinção dos contextos DJ à luz da moderna filosofia da ciência, e enfatizar a *lógica* de uma descoberta – desconhecida por muitos filósofos que defendiam a dicotomia DJ.

Dada a dimensão epistemológica do termo descoberta, optou-se por investigar como os livros didáticos, aprovados no PNLD/2012, o apresentam. O estudo mostrou que não há, nestes materiais, uma contextualização do que é uma descoberta e nem, ao menos, considerações acerca do seu processo. A partir disto, constatou-se que uma descoberta científica está diretamente relacionada à ideia de uma simples observação; ignora-se os pressupostos conceituais do estudioso e do seu contexto, atribuindo um papel irrelevante as interpretações que, na realidade, são fundamentais para a compreensão de um fenômeno ou para o reconhecimento de algo novo. Atestou-se que visões equivocadas (GIL PÉREZ *et al.*, 2001; FERNÁNDEZ *et al.*, 2002; KOHNLEIN; PEDUZZI, 2002; MOREIRA; OSTERMANN, 1993) de como se dá a construção do conhecimento podem ser disseminadas, explícita ou implicitamente, no ensino. Esta análise também evidenciou que o significado epistêmico de uma descoberta pode suscitar discussões sobre a importância dos erros, da casualidade, da dinâmica entre hipótese e experimentação, dos diferentes métodos no desenvolvimento científico, da construção humana e coletiva da ciência. Ainda que o livro didático não contextualize adequadamente o termo descoberta, o professor pode fomentar reflexões e discussões relativas à Natureza da Ciência por meio dessa terminologia.

Os dois primeiros capítulos apresentam a fundamentação conceitual e filosófica da pesquisa. As discussões epistêmicas acerca do experimento na ciência, com o aporte teórico de Steinle (2006, 2002, 1997) sobre a

experimentação exploratória, ensejaram a apreciação dos contextos DJ e, por conseguinte, da estrutura de uma descoberta científica.

Os capítulos 3 e 4 focam o terceiro objetivo específico da pesquisa – *explorar vínculos de dependência entre hipótese e experimentação nos estudos de Gray e Du Fay*. Embora as ponderações filosóficas anteriores fossem seguidas de sucintas análises históricas, são nesses capítulos que se estuda, que se especifica e que se pormenoriza os trabalhos de Gray e Du Fay. Nessa etapa da investigação, encontrou-se dificuldade nas traduções das fontes primárias, devido ao tipo de escrita da época. Muitas referências secundárias foram utilizadas, não obstante, há uma escassez relevante na literatura de materiais que exploram os estudos iniciais da eletricidade. Alguns autores, como Peduzzi (2013) e, particularmente, Boss e Caluzi (2012) e Assis (2011) foram imprescindíveis para que se pudesse realizar o diálogo com os textos originais.

O exame crítico da história da eletricidade, subsidiado pelas considerações referentes às discussões dos capítulos anteriores, permitiu compreender a gênese do conceito de repulsão elétrica – indo ao encontro do quarto objetivo específico da pesquisa, *examinar criticamente o papel da história da eletricidade para a compreensão da gênese do conceito de repulsão elétrica* –, uma vez que se contextualizou a estrutura de uma descoberta científica.

O estudo da gênese de conceitos e teorias ensaja ao estudante o envolvimento com uma ciência mais realista, dinâmica, criativa, em constante transformação. Uma ciência que explicita os seus problemas, as soluções propostas, o conflito de ideias e as incertezas que periódica e recorrentemente acompanham o curso de uma renovação conceitual, de uma troca paradigmática, é muito diferente daquela que se encontra nos manuais didáticos, que se deixa conhecer apenas pelos seus resultados (PEDUZZI, 2011, p. 15).

Essa análise ressaltou, sobretudo, a importância de se discorrer sobre o que se entende por uma descoberta e como se dá o seu processo na ciência.

Na última etapa desse estudo, com o aporte histórico-filosófico dos capítulos anteriores, desenvolveu-se um módulo de ensino sobre os estudos de Gray e Du Fay. O módulo foi aplicado na disciplina *Evolução dos Conceitos da Física* durante quatro aulas, nas quais os artigos *Uma abordagem histórica e experimental à eletricidade em uma disciplina sobre a evolução dos conceitos da física* (RAICIK; PEDUZZI, 2013a), *Uma análise da terminologia descoberta e sua contextualização nos livros didáticos: os estudos de Gray e Du Fay*

(RAICIK; PEDUZZI, 2013b), *Uma discussão sobre os contextos da descoberta e da justificativa nos estudos de Du Fay* (RAICIK; PEDUZZI, 2013c) e *A distinção entre os contextos da descoberta e da justificativa: contraponto com os estudos de Stephen Gray* (RAICIK; PEDUZZI, 2014), produzidos a partir dos quatro primeiros capítulos, foram parte da base bibliográfica. Com a implementação desse módulo, buscou-se responder o seguinte *problema científico*: o módulo de ensino (composto por texto, artigos, trechos de vídeos, atividade didática e seminários), que explora o conceito de experimentação exploratória e a relação entre os contextos da descoberta e da justificativa, a partir de Gray e Du Fay, contribui para que o aluno compreenda o diálogo entre hipótese e experimentação na construção do conhecimento relativo a esse episódio histórico específico?

Os estudantes envolvidos na pesquisa foram convidados a debater sobre a dinâmica entre hipótese e experimentação e aspectos relativos à Natureza da Ciência a partir da história da eletricidade, além de explorarem o conceito de experimentação exploratória com uma atividade didática. Ao final das quatro aulas, solicitou-se que eles respondessem a um questionário. A partir da análise dos dados, concluiu-se que a proposta do módulo se mostrou eficaz, promovendo uma articulação bastante satisfatória entre o conteúdo histórico, a relação entre as hipóteses e a experimentação no desenvolvimento dos conceitos estudados, e a importância da análise concomitante dos contextos DJ em uma perspectiva filosófica contemporânea.

Entendeu-se que um episódio específico da história da eletricidade, como os estudos de Gray e Du Fay, aportado no conceito de experimentação exploratória, quando devidamente vinculados com aspectos filosóficos e metodológicos, como o desenvolvido nesse estudo, reúne elementos que contribuem para uma melhor compreensão do aluno sobre a dinâmica entre hipótese e experimentação – o que responde ao problema da pesquisa. Cabe ressaltar que o módulo não prescinde da ação do professor que, com concepções epistemológicas afins e esclarecendo dúvidas, é um elemento relevante para a concretização dos propósitos do módulo.

É importante ressaltar que há uma escassez de trabalhos empíricos na área de ensino de física. Segundo Teixeira *et al.* (2012):

essa área de pesquisa deve estar alerta para a necessidade de que sejam feitos maiores esforços para a realização de intervenções didáticas com uso de HFC no Ensino de Ciências e que tais intervenções sejam objetos de investigação, a fim de que se possa compreender melhor em situações

reais de sala de aula qual a real contribuição que a HFC pode oferecer ao ensino e aprendizagem das ciências (p. 16).

Dessa forma, o módulo desenvolvido desenvolvidos na presente dissertação também procura contribuir para lidar com o problema da falta de materiais didáticos voltados para o ensino de ciências, que promovem a inserção da História e Filosofia da Ciência (HFC) em sala de aula.

Os primeiros desdobramentos da implementação do módulo de ensino surgiram logo após a sua avaliação pelos alunos. Todos os materiais utilizados nas aulas foram suficientes para que se atingissem os objetivos do módulo. Mesmo assim, alguns estudantes sugeriram, especialmente, a produção de um texto específico acerca dos contextos da descoberta e da justificativa, face a complexidade deste tema. Nessa perspectiva, elaborou-se a história em quadrinhos *História e Filosofia da Ciência em sala de aula: objeções à dicotomia entre o contexto da descoberta e o contexto da justificativa*, que tem o seu desenvolvimento descrito no capítulo 6. Essa história encontra-se em anexo nesse capítulo e no módulo de ensino disponível no site www.evolucaodosconceitosdafisica.ufsc.br.

Na perspectiva de novos estudos, a pesquisa suscita a investigação do papel do experimento na ciência. A dinâmica entre hipótese e experimentação já permitiu que se discutisse e fomentasse entre os alunos importantes reflexões relativas à Natureza da Ciência. Contudo, como salienta Franklin (2002), o experimento pode assumir diferentes *funções* na atividade científica, e a exploração delas propiciaria ainda mais uma melhor compreensão da ciência e do seu desenvolvimento. Um dos meios para a discussão do papel do experimento na ciência pode ser a análise de controvérsias científicas. Elas são encontradas facilmente na história da ciência. O que não é tão óbvio é que “(...) há uma espécie de dissociação paradoxal entre a ciência como realmente é praticada e a ciência como percebida ou representada por cientistas e filósofos” (MACHAMER; PERA; BALTAS, 2000). Consequentemente, como é interpretada e entendida no ensino de ciências.

Por fim, como bem salienta Peduzzi (2011, p.124), é “indispensável que se atente para os percalços que o vínculo da história com a filosofia pode suscitar. O caminho é difícil, mas gratificante para os que nele se envolvem”.

Referências

ASSIS, A. K. T. **Os fundamentos experimentais e históricos da eletricidade**. São Paulo: Livraria da Física, 2011.

BOSS, S. L. B.; ASSIS, K. T. A.; CALUZZI, J. J. **Stephen Gray e a descoberta dos condutores e isolantes**: tradução comentada de seus artigos sobre eletricidade e reprodução de seus principais experimentos. São Paulo: Cultura Acadêmica, 2012.

FERNÁNDEZ, I.; GIL, D.; CARRASCOSA, J.; CACHAPUZ, A.; PRAIA, J. Visiones Deformadas de La Ciencia Transmitidas por la Enseñanza. **Enseñanza de las ciencias**, p. 477-488, 2002.

FRANKLIN, A. Física y Experimentacion. **Theoria**: segunda época, v. 17-2, p. 221-242, 2012.

GIL PÉREZ, D.; MONTORO, I. F.; ALÍS, J. C.; CACHAPUZ, A.; PRAIA, J. Para uma imagem não deformada do trabalho científico. **Ciência & Educação**, v. 7, n. 2, p. 125-153, 2001.

HODSON, D. Experiments in Science and Science teaching. **Educational Philosophy and Theory** (20) 2, 1988.

KÖHNLEIN, J. F. K.; PEDUZZI, L. O. Q. **Sobre a concepção empirista-indutivista no ensino de ciências**. Trabalho apresentado no VIII Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Física. Águas de Lindóia-SP, 2002.

MACHAMER, P.; PERA, M.; BALTAS, A. **Scientific Controversies: Philosophical and Historical Perspectives**. Oxford University Press, New York, 2000

MOREIRA, A. M.; OSTERMANN, F. Sobre o ensino do método científico. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v.10, n. 2, p. 108-117, 1993.

PEDUZZI, L. O. Q. Do efeito âmbar à garrafa de Leyden. Florianópolis: 2013. (*versão preliminar, publicação interna*).

PEDUZZI, L. O. Q. **Evolução dos Conceitos da Física**. 1. ed. Florianópolis: UFSC/EAD/CED/CFM, 2011. 130 p. (ISBN: 978-85-99379-92-9).

RAIČIK, A. C.; PEDUZZI, L. O. Q. A distinção entre os contextos da descoberta e da justificativa: contraponto com os estudos de Stephen Gray. In: XV Encontro de Pesquisa em Ensino de Física, Maresias, São Paulo. **Atas...** 2014.

RAIČIK, A. C.; PEDUZZI, L. O. Q. Uma abordagem histórica e experimental à eletricidade em uma disciplina sobre a evolução dos conceitos da física. In: Simpósio Nacional de Ensino de Física, XX, São Paulo. **Atas...**2013a.

RAIČIK, A. C.; PEDUZZI, L. O. Q. Uma análise da terminologia descoberta e sua contextualização nos livros didáticos: os estudos de Gray e Du Fay. In: V Encontro Estadual de Ensino de Física - RS, Porto Alegre. **Atas...**2013b.

RAIČIK, A. C.; PEDUZZI, L. O. Q. Uma discussão sobre os contextos da descoberta e da justificativa nos estudos de Du Fay. In: Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências , IX, São Paulo. **Atas...** 2013c.

STEINLE, F. Concept formation and the limits of justification: “Discovering” the two electricities. **Revisiting Discovery and Justification**, v. 14, p.183-195, 2006.

STEINLE, F. Experiments in History and Philosophy of Science. *Perspectives on Science*, v. 10, n. 4, p. 408-432, 2002.

STEINLE, F. Entering new fields: exploratory uses of experimentation. **Philosophy of Science**, v. 64, 1997.

TEIXEIRA, E. S.; GRECA, I. M.; FREIRE, J. O. Uma revisão sistemática das pesquisas publicadas no Brasil sobre o uso didático de História e Filosofia da Ciência no ensino de física. In: PEDUZZI, L. O.; MARTINS, A. F.; FERREIRA, J. M. H. (Org). **Temas de História e Filosofia da Ciência no Ensino**. Natal: EDUFRN, p. 9-40, 2012.