



EXPERIMENTOS HISTÓRICOS E O ENSINO DE FÍSICA: AGREGANDO REFLEXÕES A PARTIR DA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA DA ÁREA E DA HISTÓRIA CULTURAL DA CIÊNCIA

Historical Experiments and Physics Teaching: adding considerations from a Bibliographic Review and the Cultural History of Science

Wagner Tadeu Jardim [wagner.jardim@ifsudestemg.edu.br]

*Departamento de Educação e Ciências/ Núcleo de Física
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sudeste de Minas Gerais
R. Bernardo Mascarenhas, 1283 - Fábrica, Juiz de Fora - MG, Brasil*

Andreia Guerra [andreia.moraes@cefet-rj.br]

*Programa de Pós-graduação em Ciência, Tecnologia e Educação do CEFET/RJ
Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca,
Av. Maracanã, 229 - Maracanã, Rio de Janeiro - RJ, Brasil*

Resumo

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

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

Abstract

In this paper, a discussion about the purposes of historical experiments in science teaching found in the literature will be presented. As a starting point, we carried out a bibliographic review, on the websites of six relevant periodicals for the area of Science Teaching and, especially for Physics Teaching. The search was based, at first, on works published between the years 2001 and 2016, from terms like "historical experiments", "museums" and "experience". Thereon, due to the large number of publications found, a screening process was developed based on the analysis of titles, abstracts, keywords and, whether necessary, the whole text, aiming to identify which searches emphasize working with historical experiments in Physics teaching, from a theoretical perspective or based on manipulation of a replica of historical apparatus. The selected proposals were arranged in categories adapted from the work of Heering and Höttecke (2014) which allowed us to draw a parallel between the national and international publication that presented resembling scopes. Furthermore, the analysis of the results leads us to infer that, in general, extra lab factors, inherent to science, when not neglected, are placed in a peripheral perspective. Thus, we draw theoretical considerations based on Historians of Science, which develop their researches based on the bias

of the Cultural History of Science, seeking to add reflections to what has been developed about historical experiments in teaching up to now.

Keywords: Historical Experiments; Physics Teaching; Literature review; Cultural History of Science; History of Science.

INTRODUÇÃO

No âmbito do Ensino de Ciências, existe grande concordância que, em uma sociedade altamente científico-tecnológica, é importante trazer às salas de aulas discussões sobre como a Ciência se constrói, como ela se estabelece e quais suas possibilidades e limites (Irzik & Nola, 2011; Martins, 2015; Mathews, 1994; Maurines & Beaufils, 2013; McCommas 1998; Moura & Guerra, 2016; Silva, 2016; Wivagg & Allchin, 2002). Nesse caminho, muitos pesquisadores defendem que o enfoque pautado na História, Filosofia e Sociologia da Ciência (HFSC) se constitui um possível caminho para atingir esse objetivo, explorando as potencialidades dessa abordagem, no intuito de possibilitar aos estudantes compreenderem o processo de construção do conhecimento científico (Arruda & Villani, 1996; Guerra, Reis & Braga, 2004; Höttecke & Silva, 2011; Jardim, 2016; Martins, 2007).

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

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

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

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

Um dos apontamentos observados na literatura é o uso de “Narrativas Históricas” como caminho para concretizar as discussões de e sobre as ciências nas salas de aula. Nesse caso, propõe-se a utilização

de textos literários ou não, os quais podem ser aqueles encontrados na literatura ou construídos pelos autores da proposta, no intuito de instigar a curiosidade e a reflexão dos estudantes (Klassen, 2007; Schiffer & Guerra, 2014; Wise, 2007).

Outra estratégia considerada pela literatura da área é a utilização de “Controvérsias Históricas”. Defende-se que essa abordagem permite explorar a não linearidade da construção do conhecimento científico, possibilitando a inserção de discussões acerca do processo de construção das ciências capazes de contribuir de maneira relevante ao combate a falsos mitos e crenças propagados em diferentes meios acerca da construção do conhecimento científico (Braga, Guerra & Reis, 2012; Niaz, 2009; Niaz & Rodriguez, 2005).

A utilização de “Episódios históricos” é também uma das propostas defendidas por aqueles que trabalham com HFC no ensino. A proposta seria fazer um recorte temporal e espacial de um tema da História da Ciência, com vistas a tratar com profundidade o assunto e, assim, evitar erros históricos (Batista, Drummond & Freitas, 2015; Forato, Pietrocola & Martins, 2011; Porto, 2010).

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

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

O PAPEL DOS EXPERIMENTOS HISTÓRICOS NO ENSINO DE FÍSICA

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

No Brasil, quando nos referimos às discussões relacionadas à educação científica, as práticas de experimentação, apesar de ausentes na maioria das escolas brasileiras, são apontadas pelos documentos nacionais (Brasil, 2000, 2002) e pelos professores como indispensáveis para sua melhoria (Borges, 2002). Um movimento nacional, para a introdução de práticas experimentais no ensino das ciências, teve início sob influência do método proposto pela Escola Nova, com a instalação do IBECC¹ em 1946. Tal movimento, entretanto, esteve baseado no behaviorismo e como consequência difundiu projetos escolares, como feiras e clubes de ciências e, alguns anos depois, kits experimentais (Cardoso & Paraíso, 2014).

¹ Instituto Brasileiro de Educação, Ciência e Cultura.

Apesar das mudanças ocorridas nos pressupostos da educação científica ao longo dos anos, a defesa de que o ensino de ciências deve ter cunho prático e laboratorial continua presente na literatura, desempenhando um importante papel nas discussões acerca do ensino das Ciências na atualidade (Kipnis, 1998; Heering & Höttecke, 2014). Importante destacar que existem diferentes enfoques e finalidades dos quais um experimento pode se apropriar ao ser abordado no ensino das ciências. Podemos, por exemplo, escolher abordagens que explorem práticas experimentais quantitativas, com construções de tabelas e gráficos, ou práticas que priorizem o aspecto qualitativo e explicativo do fenômeno estudado. Dentro dos dois grupos, qualitativo e quantitativo, podem-se desenvolver aulas que enfatizem a demonstração e observação de certo fenômeno ou aquelas que explorem a investigação. Defende-se que cada uma dessas escolhas deve se enquadrar aos objetivos educacionais propostos e estrutura/ambiente disponível, seja ela a de um laboratório ou de sala de aula (Araújo & Abib, 2003). Percebe-se, também, diferença em relação às propostas que enfocam o uso de experimentos históricos. Vale ressaltar que há uma concordância entre os pesquisadores da área de que propostas para o trabalho com experimentos (históricos ou não) que levem os estudantes a seguir passos de uma sequência pré-determinada, alcançando resultados preestabelecidos, pouco contribui para a formação desses estudantes (Araújo & Abib, 2003; Devons & Hartmann, 1970; Germano, Lima & Silva, 2012; Heering, 2000; Heering & Witje, Höttecke; 2000; 2012; Kipnis, 1996).

Existe, na literatura da área, uma longa tradição no que se refere a “prática a ser feita”, ou seja, discussões que guiam o caminho de investigação a ser seguido por estudantes e indicam como os mesmos devem realizar ou construir experimentos, coletar dados, gerar conclusões, discutir e negociar resultados. Dentro desta perspectiva, segundo Heering e Höttecke (2014), a noção de um viés histórico-investigativo (*historical-investigative approach*) para o ensino de ciências foi introduzida por Nahum Kipnis (1996)². No intuito de realizar um trabalho mais completo no ensino de Física, Kipnis optou por trabalhar a História e Filosofia da Ciência (HFC) no intuito de explorar prioritariamente o caráter indutivo da ciência.

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

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

PROCEDIMENTO METODOLÓGICO PARA A REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

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

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

² Vale ressaltar que, segundo Heering e Höttecke (2014), processos onde os estudantes aprendem ciência “fazendo” já vinham sendo desenvolvidos em momentos anteriores ao trabalho de Kipnis.

Investigações em Ensino de Ciências (IENCI) e Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências (RBPEC), todos esses classificados no extrato A1 e A2 do webqualis CAPES.

A busca se deu no website de cada periódico, em trabalhos publicados entre 2001 e 2016, a partir das palavras “experimento histórico” “experimentos históricos”, “experiência”, “experiências”, “museu” e “museus” com aspas e sem aspas. Na tabela a seguir (Tabela 1), apresentaremos o número de artigos encontrados em cada busca e, após o processo de triagem, qual o número de resultados restantes. O processo de triagem buscou verificar quais as pesquisas enfatizavam o trabalho com experimentos históricos, seja em discussão teórica ou com a manipulação de uma réplica do aparato. Os trabalhos que mencionam a importância de se abordar experimentos em um viés histórico, mas não detalham o assunto, não foram enquadrados como “artigos após a triagem”. Para tal seleção, foram analisados, a princípio, o título dos trabalhos, palavras-chaves e resumos. Quando essa análise primeira não deixou claro o enquadramento ou não dos artigos em nossa classificação, recorremos ao corpo do texto para esclarecimento. Os artigos selecionados “após a triagem” têm seus objetivos explicitados nas categorias de análise da seção seguinte.

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

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

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

CATEGORIAS DE ANÁLISE; EXPERIMENTOS HISTÓRICOS E O ENSINO DE FÍSICA

Apresentaremos a seguir, cada uma das categorias de análise que terão seus objetivos previamente detalhados⁴. Na apresentação das categorias, explicitamos os objetivos das mesmas, a análise dos artigos destacados por Heering e Höttecke (2014) e trabalhos nacionais encontrados a partir da nossa

³ O resultado encontrado aqui (Junior et al, 2016) também aparece na busca pelo termo “experimento histórico”.

⁴ A seção “Investigações Históricas com Materiais Modernos” discutida por Heering e Höttecke (2014) não será incluída aqui por entendermos já estar abarcada nos trabalhos que estamos apresentando nas seções “narrativas”, “diários de laboratório” e “museus de ciência” que se dispõe a construir experimentos a partir de materiais mais acessíveis e disponíveis nos dias atuais.

metodologia de revisão, mas que dão suporte para as suas definições. Após essa apresentação, destacamos, com base nas categorias, os resultados da revisão bibliográfica aqui discutida.

O trabalho com experimentos históricos: reconstruindo aparatos históricos.

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

Um grupo que se destaca na reprodução de experimentos é o de Oldenburg que, nas últimas três décadas veio sistematicamente utilizando o método na formação de professores e na educação básica. O grupo se baseia na reconstituição dos aparatos científicos, a partir do método da replicação, dividido nas etapas: reconstrução do aparato, recriação do procedimento experimental e contextualização da experiência. A contextualização mencionada tem como foco principal as teorias científicas relacionadas ao experimento analisado, às hipóteses levantadas no período e como elas guiaram a construção, modificação e finalidade dos experimentos replicados. Como exemplo, encontramos, em Höttecke (2000), o trabalho desenvolvido a partir da replicação do experimento de rotação de Michael Faraday (princípios do motor elétrico), o qual defende que para se entender o aparato, é importante considerar o contexto histórico no qual o mesmo foi construído. Assim, ao delinear a estrutura contextual, o autor destaca alguns estudiosos que contribuíram para a construção do conhecimento acerca da eletricidade no período anterior ao experimento, indica seus respectivos focos de investigação e algumas das montagens experimentais realizadas, além de descrever alguns aparatos construídos em momentos posteriores com base nos princípios do experimento de Faraday (Höttecke, 2000). Heering (2007a) desenvolve seu artigo, discutindo o trabalho experimental de Jean Paul Marat e suas relações com uma prática comum na época, as demonstrações públicas de experimentos científicos (Heering, 2007a), todavia, apesar desse destaque, o foco do trabalho recai sobre as montagens experimentais realizadas por Marat, no que diz respeito às questões reativas aos materiais envolvidos e às teorias discutidas na época. Dessa forma, as “demonstrações públicas” são invocadas para alguns apontamentos e conclusão, não sendo discutidas em maiores detalhes.

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

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

Nessa perspectiva, encontramos, em nossa revisão, o trabalho de Oliveira e Silva (2014), que destaca o experimento de William Herschel, que evidenciou a radiação infravermelha. Assim, são analisados as medidas e resultados obtidos por Herschel e qual a fundamentação experimental presente naquele contexto. Apesar de não apresentar uma proposta com a reprodução do experimento neste artigo, o trabalho mencionado é parte de uma dissertação de mestrado que apresenta um material paradidático, indicando os caminhos para a reconstrução do experimento desenvolvido por Herschel, assim como apresenta os resultados obtidos e os conceitos científicos relacionados (Silva & Oliveira, 2014). Outro trabalho na mesma linha, proveniente do mesmo grupo de pesquisa, é proposto por Souza, Silva e Araujo (2014) que, com o objetivo de problematizar a atividade experimental em sala de aula, reproduzem o

experimento de Joule do equivalente mecânico do calor. Germano, Lima e Silva (2012) apresentam uma proposta para se introduzir controvérsias históricas e acontecimentos que contribuíram para a primeira pilha elétrica, propondo a construção de uma bateria voltaica no intuito de discutir a controvérsia entre Galvani e Volta e suas explicações sobre a eletricidade animal.

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

O trabalho com experimentos históricos a partir de Narrativas

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

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

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

Medeiros e Monteiro (2001) realizaram uma pesquisa bibliográfica, inclusive de documentos históricos originais, para resgatar conceitos base para a reconstrução de aparelhos de áudio. O trabalho versa sobre a análise histórica de elementos constituintes desses aparelhos ao longo da história e a construção de um aparato com os mesmos propósitos a partir de materiais modernos. A proposta se desenvolve utilizando os mesmos princípios científicos básicos utilizados historicamente em aparelhos de gravação de som, com vistas a destacar quais desses princípios continuam a ser utilizados atualmente.

Raicik e Peduzzi (2015) pretendem discutir com os estudantes, através de uma narrativa sobre o experimento, a relação entre teoria e experimento e as dificuldades em discutir hipóteses e fazer inferências. Para tal, se utilizam de vídeos, trechos de trabalhos originais de cientistas e realização de um experimento histórico, para reproduzir alguns resultados encontrados por Du Fay sobre a eletrização e

repulsão elétrica. A reconstrução do experimento proposto não segue o caminho da replicação proposto por Heering (2005).

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

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

Júnior et al. (2016) descrevem a pesquisa qualitativa realizada a partir de um curso de formação continuada de professores à distância. A proposta trabalhou um caso histórico que envolve o experimento do pêndulo de Foucault realizado no Brasil. A partir do metatexto construído para analisar o papel do experimento de Foucault na proposta, é destacado como o mesmo possibilita discutir elementos de Natureza da Ciência, como o caráter coletivo da construção científica. É ressaltada a controvérsia entre as visões geocêntrica e heliocêntrica na religião e astronomia e as evidências que o experimento traz para a discussão.

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

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

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

No grupo “diários de laboratório”, foram enquadrados os trabalhos que apresentam experimentos históricos nas aulas de ciências, a partir de descrições encontradas em anotações originais extraídas dos diários de cientistas. Essas anotações servem de base para o levantamento e discussão de problemas enfrentados nos laboratórios dos cientistas. Nessa linha, destacam-se trabalhos de Crawford (1993) e de

Barth (2000) que se utilizaram de algumas seções dos diários de Faraday, selecionando informações e anotações relacionadas a problemas e questões enfrentadas e descritas pelo cientista para apresentar aos estudantes. Essas informações serviram como elementos motivadores para estudantes e professores refletirem e produzirem suas próprias respostas acerca de fenômenos eletromagnéticos estudados.

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

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

O Trabalho com Experimentos Históricos em Museus de Ciência

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

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

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

Autores como Valente (2005) defendem que os Museus de Ciência podem contribuir significativamente para o ensino de ciências, pois, além de um espaço de preservação, “aproximam-se dos aspectos da ciência contemporânea e também contemplam a visão de que a historicidade é característica relevante para se pensar cientificamente”. (Valente, 2005). Em uma tentativa de aproximar o público em geral dos museus de ciência, a partir da segunda metade do século XX, os museus europeus e norte-americanos começaram a promover a interação por meio de aparatos. Todavia, nesses esforços, focar na manipulação desses aparatos, muitas vezes, acarreta na perda dos aspectos culturais e históricos que acabam por se tornar secundários. Nesse sentido, articular a potencialidade de um museu de ciências com a História e Filosofia da Ciência (HFC) é uma alternativa apontada por Valente (2005) para traçar estratégias que permitam aproveitar de maneira mais eficiente os acervos disponíveis para fins educacionais.

Todavia, no contexto dos museus de ciências, nos deparamos com uma série de dificuldades quando nos referimos a experimentos históricos: as peças de museu⁵ tem que ser preservadas e, em geral, não podem ser disponibilizadas para manuseio. Apesar dos obstáculos destacados, encontramos alguns exemplos em trabalhos com experimentos históricos em museus, como os de Cavicchi (2008), Eggen et. al (2012), Heering e Müller (2002).

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

Cavicchi (2008) desenvolveu um trabalho, no qual ela se refere como exploração crítica (critical exporation). Nesse trabalho, um grupo de estudantes visitou a coleção de Telefones do museu do MIT, a biblioteca Burndy de livros científicos raros e a Subestação de Roslindale, com instrumentos elétricos. No museu do MIT, os estudantes tiveram oportunidade de manipular vários aparatos históricos, como telefones, que suscitaram discussões acerca da relação desses aparatos com a eletricidade, magnetismo, som e luz (Cavicchi, 2008)⁶. O objetivo principal dessa proposta foi possibilitar uma experiência intensiva com os fenômenos físicos enquanto era discutido o contexto de emergência dos conceitos e aparatos construídos na época. Em contrapartida à manipulação direta de instrumentos históricos por estudantes, outra possibilidade quanto à utilização dos Museus de Ciência é a apresentada por Heering, Muller (2002) e Teichmann (2015) que consiste em colocar experimentos replicados lado a lado com o original, de forma que a interação com a réplica possa ocorrer sem a preocupação de conservação normalmente atribuída aos experimentos com peças originais.

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

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

ANÁLISE GERAL DOS TRABALHOS COM EXPERIMENTOS HISTÓRICOS DA LITERATURA E A HISTÓRIA CULTURAL DA CIÊNCIA COMO ALTERNATIVA.

O levantamento e análise do que foi destacado até aqui indica que o trabalho pautado nos experimentos históricos, voltados ao ensino, se baseia em sua maioria no método da replicação, seja com material original (como o grupo de Oldenburg) ou materiais modernos e adaptados. Mesmo que possam ter desdobramentos diferentes, tais como a exploração de uma narrativa ou a utilização de uma simulação, a

⁵ Aqui estamos nos referindo as peças originais e não ao material produzido especificamente para interação do público ou réplicas de experimentos para fins didáticos.

⁶ Vale ressaltar que eram apenas 2 estudantes e que, segundo a autora, possuíam os requisitos necessários para um trabalho laboratorial.

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

Considerando as reflexões que emergem a partir da revisão bibliográfica realizada e com vistas a trazer subsídios para reflexões em torno ao potencial do trabalho com experimentos históricos na educação básica, focaremos nossa atenção nas questões não exploradas nos trabalhos, então, analisados. Para isso, se mostra coerente uma abordagem pautada na abordagem historiográfica denominada História Cultural da Ciência (HCC) (Brockliss, 2013; Burke, 2005; Daston, 2016; Daston & Galison, 2007; Galison, 1987; Klein, 2003; Moura & Guerra, 2016; Pimentel, 2007, 2010; Roberts, 1999; Silva, 2016).

A escolha por essa linha historiográfica se deve a estudos realizados pelo grupo de pesquisa, do qual os autores desse trabalho fazem parte⁷. No grupo de pesquisa, discussões e trabalhos são realizados com o intuito de trazer às salas de aula de ciências discussões sobre as práticas científicas, que privilegiem estudos a respeito do caráter histórico das mesmas. Dessa forma, são desenvolvidos trabalhos que buscam evidenciar o fazer cotidiano dos cientistas, como leitura e escrita de artigos, o papel central ou periférico dos que trabalharam no experimento analisado na rede de relacionamento científico, a procura de financiamentos, a discussão com os pares, o trabalho dos técnicos no desenvolvimento de aparatos, o trabalho de ilustradores, enfim o destaque em cada contexto histórico de práticas importantes ao desenvolvimento das ciências, mas, geralmente, negligenciadas, quando a análise histórica fica voltada à história das ideias (Moura & Guerra, 2016; Silva, 2016). Dessa forma, pretendemos discutir que os ditos “fatos científicos” são produtos culturais e, portanto, originados a partir de desdobramentos do processo de construção do conhecimento científico e, portanto, permeados por questões políticas, sociais e culturais.

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

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

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

⁷ Núcleo de Investigação em Ensino, História da Ciência e Cultura (NIEHCC).

EXEMPLIFICANDO O VIÉS DA HISTÓRIA CULTURAL DA CIÊNCIA E SUA POTENCIALIDADE PARA O ENSINO DE FÍSICA

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

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

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

No contexto da “Revolução Científica”, uma figura que se destaca é Galileu Galilei (1564-1672). Imerso em um espaço-tempo de novos instrumentos e práticas, Galileu desenvolveu seu trabalho, reconhecendo que a filosofia escolástica tinha legitimidade, apesar de ser questionada. Para os escolásticos, as experiências eram um feito universalmente aceito, aquilo que todo homem sabia ou podia saber. Por exemplo, o Sol sair do Leste para o Oeste, o fato dos corpos sólidos caírem para a Terra eram fenômenos naturais experimentados por todos e considerados relevantes para gerar conhecimento válido. Os fatos singulares, ou seja, aqueles fenômenos isolados e observados apenas por um indivíduo em condições especiais não seriam capazes de produzir conhecimento válido. Esses fenômenos singulares não poderiam gerar princípios fundamentais, visto que eles eram vistos como extravagantes, ligados ao extraordinário e, algumas vezes, como decorrente de um milagre. Assim, não era uma prática científica dos escolásticos realizar experimentos controlados em um ambiente fechado ou usar instrumentos específicos para produzir uma situação especial (Pimentel, 2007).

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

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

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

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

Em relação aos experimentos desenvolvidos por Einstein e de Haas com giroscópios, o autor destaca que os dois cientistas procuravam encontrar evidências experimentais da proposta de Ampère, de que as supostas correntes nos ímãs se davam a nível molecular. Essa questão, quando estudada por Einstein e Haas, estava atrelada à tese de que os elétrons eram responsáveis pela corrente amperiana e que os mesmos possuíam inércia. Para tal, eles precisavam ir além de experimentos que analisavam a questão de forma qualitativa, se mostravam essenciais naquele contexto, as medidas quantitativas. O caminho encontrado pelos dois cientistas para o desejado foi a utilização de um instrumento muito comercializado e divulgado à época, o giroscópio magnético.

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

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

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

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

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

CONSIDERAÇÕES FINAIS

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

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

Agradecimentos

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

REFERÊNCIAS

- Allchin, D. (2014). From science studies to scientific literacy: A view from the classroom. *Science & Education*, 23(9), 1911-1932. DOI:10.1007/s11191-013-9672-8
- Araújo, M. S. T., & Abib, M. L. V.S. (2003). Atividades experimentais no ensino de física: diferentes enfoques, diferentes finalidades. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 25(2), 176-194. Recuperado de <http://www.scielo.br/pdf/rbef/v25n2/a07v25n2>
- Arruda, S. M., & Villani, A. (1996). Sobre as Origens da Relatividade Especial: Relações Entre Quanta e Relatividade Em 1905. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*. 13(1), 32-47. Recuperado de <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/7077>
- Barth, M. (2000). Eletromagnetic Induction Rediscovered Using Original Texts. *Science & Education*, 9(4), 375-387. DOI:10.1023/A:1008659005521
- Batista, G. L. F., Drummond, J. M. H. F., & Freitas, D. B. (2015). Fontes primárias no ensino de física: considerações e exemplos de propostas. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, Florianópolis, 32(3), 663-702. Recuperado de <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2015v32n3p663>
- Biagioli, M., & Galison, P. (2014). *Scientific authorship: Credit and intellectual property in science*. Routledge.
- Borges, A. T. (2002). Novos rumos para o laboratório escolar de ciências. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 19(3), 291-313. <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/6607>
- Braga, M., Guerra, A., & Reis, J. C. (2012). The role of historical-philosophical controversies in teaching sciences: The debate between biot and ampere. *Science & Education*, 21(6), 921-934. DOI:10.1007/s11191-010-9312-5
- Brasil. (2000). Parâmetros Curriculares Nacionais. Parâmetros Curriculares Nacionais: Ensino Médio. Brasília: MEC. Recuperado de <http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/blegais.pdf>
- Brasil. (2002). BASES LEGAIS–Parâmetros Curriculares Nacionais; MÉDIO, Parâmetros Curriculares Nacionais Ensino. PCN+ para o Ensino de Ciências e Matemática. Brasília: Ministério da Educação. Recuperado de <http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/CienciasNatureza.pdf>
- Brockliss, L. (2013). Starting-out, Getting-on and Becoming Famous in the Eighteenth-Century Republic of Letters Background. In Holenstein, A. Steike, H. Stuber, & M. *Scholars . In Action: The Practice of Knowledge and the Figure of the Savant in the 18th Century*. (pp.71-100) Leida: Brill.
- Burke, P. (2005). *O que é história cultural?* Rio de Janeiro: Jorge Zahar.
- Burke, P. (2008). *Uma história social do conhecimento 2: Da Enciclopédia à Wikipédia*. Rio de Janeiro: Jorge Zahar.
- Caldas, J., Lima, M. C., & Crispino, L. C. B. (2016). Explorando História da Ciência na Amazônia: O Museu Interativo da Física. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 38(4), e4301-1-e4307-10. DOI:10.1590/1806-9126-RBEF-2016-0097
- Caraça, J. (1997). Os Instrumentos de Uma Cultura. In COIMBRA. O Engenho e a Arte; Coleção de Instrumentos do Real Gabinete de Física. Universidade de Coimbra – Faculdade de Ciências, e Tecnologia, Museu de Física.
- Cardoso, L. R., & Paraíso, M. A. (2014). Álbum fotográfico: um mapa de cenários discursivos na produção acadêmica brasileira sobre aulas experimentais de Ciências. *Ciência & Educação*, 20(1), 83-115. Recuperado de http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1516-73132014000100006&lng=en&nrm=iso&tlng=pt
- Carvalho, M. C. M. (1988). *Construindo o saber: técnicas de metodologia científica*. São Paulo.

- Carvalho, R. (1997). A Física na Reforma Pombalina, In COIMBRA. O Engenho e a Arte; Coleção de Instrumentos do Real Gabinete de Física. Universidade de Coimbra – Faculdade de Ciências, e Tecnologia, Museu de Física
- Cavicchi E. M. (2008). Historical Experiments in Students' Hands: Unfragmenting Science through Action and History. *Science & Education*, 17(7), 717–749. DOI:10.1007/s11191-006-9005-2?LI=true
- Chaib, J. P. M. C., & Assis, A. K. T. (2007). Experiência de Oersted em sala de aula. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 29(1), 41-51. Recuperado de <http://www.scielo.br/pdf/0D/rbef/v29n1/a09v29n1.pdf>
- Chang, H. (2011). How Historical Experiments Can Improve Scientific Knowledge and Science Education: The Cases of Boiling Water and Electrochemistry. *Science & Education*. 20(3), 317–341. Recuperado de DOI:10.1007/s11191-010-9301-8
- Chinelli, M, V., & Aguiar, L. E. V. (2016). Experimentos e contextos nas exposições interativas dos centros e museus de ciências. *Investigações em Ensino de Ciências*, 14(3), 377-392. Recuperado de <https://www.if.ufrgs.br/cref/ojs/index.php/ienci/article/view/348>
- Crawford, E. (1993). A Critique of curriculum reform: Using history to develop thinking. *Physics Education*, 28(4), 204-208. Recuperado de <https://researchportal.hw.ac.uk/en/publications/a-critique-of-curriculum-reform-using-history-to-develop-thinking>
- Daston, L. (1991). The Ideal and Reality of the Republic of Letters in the Enlightenment. *Science in context*, 4(2), 367-386. Recuperado de <https://www.cambridge.org/core/journals/science-in-context/article/the-ideal-and-reality-of-the-republic-of-letters-in-the-enlightenment/004F2F5CE92F2883266037F9136CCB4E>
- Daston, L., & Galison, P. (2007). *Objectivity*. New York: Zone Books.
- Daston, L., & Lunbeck, E. (2011). *Histories of scientific observation*. Chicago: University of Chicago Press.
- Daston, L. (2016). History of Science without Structure. In Richard, R. J., & Daston, L. *Kuhn's Structure of Scientific Revolutions at Fifty: Reflections on a Science Classic*.
- Devons, S., & Hartmann, L. (1970). A history-of-physics laboratory, *Physics today*, 23(2), 44-49. Recuperado de <http://physics.columbia.edu/files/physics/content/a%20history%20of%20physics%20laboratory%20-%20phys%20today%2070.pdf>
- Eggen, P. O., Kvittingen, L., Lykknes, A., & Wittje, R. (2012). Reconstructing iconic experiments in electrochemistry: Experiences from a history of science course. *Science & Education*, 21(2), 179-189. DOI:10.1007/s11191-010-9316-1
- Forato, T. C. M., Pietrocola, M. & Martins, R. A. (2011). Historiografia e natureza da ciência na sala de aula. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 28(1), 27-59. Recuperado de <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2011v28n1p27>
- Galison, P. (1987). *How Do Experiments End*. Chicago: University of Chicago Press.
- Germano, G. G., Lima, I. P. C., & Silva, A. P. B. (2012). Pilha Voltaica: Entre Rãs, Acaso e Necessidades. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*. 29(1), 145-155. Recuperado de <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2012v29n1p145>
- Goodman, D. (1996) *The republic of letters: A cultural history of the French enlightenment*. Ithaca: Cornell University Press.
- Guerra, A, Braga, M; Reis, J, C. (2004). Uma Abordagem Histórico-Filosófica Para o Eletromagnetismo no Ensino Médio. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 21(2), 224-248. Recuperado de <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/viewFile/6433/13267>
- Heering, P. (1994). The replication of the torsion balance experiment: The inverse square Law and its refutation by early 19th-century German physicists. Restaging Coulomb: Usages, controverses et répliques autour de la balance de torsion. Florence: Olschki.

- Heering, P. (2000) Getting Shocks: Teaching Secondary School Physics Through History. *Science & Education*. 9(4), 363–373. Recuperado de [DOI:10.1023/A:1008665723050](https://doi.org/10.1023/A:1008665723050)
- Heering, P., Muller, F. (2002). Cultures of Experimental Practice – An Approach in a Museum. *Science & Education* 11(2), 203–214. Recuperado de <https://link.springer.com/article/10.1023%2FA%3A1014483404018?LI=true>
- Heering, P. (2005). Analysing unsuccessful experiments and instruments with the replication method. *Endoxa*, 1(19), 315-341. Recuperado de <http://revistas.uned.es/index.php/endoxa/article/view/5113>
- Heering, P. (2006). Regular twists: Replicating Coulomb's wire-torsion experiments. *Physics in Perspective*, 8(1), 52-63. [DOI:10.1007/s00016-005-0262-2](https://doi.org/10.1007/s00016-005-0262-2)
- Heering, P. (2007a). Public Experiments and their Analysis with the Replication Method. *Science & Education*. 16(6), 637-645. [DOI:10.1007/s11191-006-9013-2](https://doi.org/10.1007/s11191-006-9013-2)
- Heering, P. (2007b). Educating and entertaining: Using enlightenment experiments for teacher training. In _____, *Constructing scientific understanding through contextual teaching*, (pp. 65-81). Berlin: Frank&Timme.
- Heering, P., & Wittje, R. (2012a). Learning by Doing: Experiments and Instruments in the History of Science Teaching. *Science & Education*, 21(9), 1375–1380. [DOI:10.1007/s11191-012-9467-3](https://doi.org/10.1007/s11191-012-9467-3)
- Heering, P., & Wittje, R. (2012b). An Historical Perspective on Instruments and Experiments in Science Education. *Science & Education*. 21(2), 151–155. [DOI:10.1007/s11191-010-9334-z](https://doi.org/10.1007/s11191-010-9334-z)
- Heering, P., & Höttecke, D. (2014) Historical-Investigative Approaches in Science Teaching. In Matthews, M. R. (Org.). *International handbook of research in history, philosophy and science teaching* (pp. 1473-1502). New York: Springer.
- Höttecke, D. (2000). How and what can we learn from replicating historical experiments? A case study. *Science & Education*, 9(4),343-362. [DOI:10.1023/A:1008621908029](https://doi.org/10.1023/A:1008621908029)
- Höttecke, D., & Silva, C. C. (2011). Why implementing history and philosophy in school science education is a challenge: An analysis of obstacles. *Science & Education* 20(3-4), 293-316. [DOI:10.1007/s11191-010-9285-4](https://doi.org/10.1007/s11191-010-9285-4)
- Irzik, G., & Nola, R. (2011). A family resemblance approach to the nature of science for science education. *Science & Education*, 20(7-8),591-607. [DOI:10.1007/s11191-010-9293-4](https://doi.org/10.1007/s11191-010-9293-4)
- Jardim, W. T. (2016). Visualizando a Difração e Interferência de Ondas através do Software Google Earth: Discutindo a Natureza da Luz. *A Física na Escola (Online)*, 14(22-26). Recuperado de <http://www1.fisica.org.br/fne/index.php/edicoes/category/2-n-1-maio>
- Júnior, E. R., Luna, F. J., Hygino, C. B., Linhares, M. P., & Araújo, M. R. D. C. F. (2016). Um estudo de caso histórico sobre o experimento de Foucault no Brasil, elaborado por uma professora do ensino médio na formação continuada a distância. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 33(1), 162-193. Recuperado de <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2016v33n1p162>
- Junior, L. A. R., Cunha, M. F., & Laranjeiras, C. C. (2012). Simulação de experimentos históricos no ensino de física: uma abordagem computacional das dimensões histórica e empírica da ciência na sala de aula. *Revista Brasileira de Ensino de Física*. 34(4). Recuperado de <http://www.scielo.br/pdf/rbef/v34n4/a23v34n4.pdf>
- Kipnis, N. (1996). The 'historical-investigative' approach to teaching science. *Science & Education*, 5(3), 277-292. [DOI:10.1007%2FBF00414317?LI=true](https://doi.org/10.1007%2FBF00414317?LI=true)
- Kipnis, N. (1998). A history of science approach to the nature of science: Learning science by rediscovering it. In McComas, W. F. *The nature of science in science education*. (pp. 177-196). Netherland: Springer.

- Klassen, S. (2007). The application of historical narrative in science learning: The Atlantic cable story. *Science & Education*, 16(3-5), 335-352. DOI:10.1007%2Fs11191-006-9026-x?LI=true
- Klein, U. (2003). *Experiments, models, paper tools: Cultures of organic chemistry in the nineteenth century*. Redwood City: Stanford University Press.
- Martins, A. F. P. (2007). História e filosofia da ciência no ensino: há muitas pedras nesse caminho. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 24(1), 112-131. Recuperado de <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/6056>
- Martins, A. F. P. (2015). Natureza da Ciência no ensino de ciências: uma proposta baseada em “temas” e “questões”. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*. 32(3), 703-737. Recuperado de <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2015v32n3p703>
- Matthews, M. R. (1994). *Science Teaching: the Role of History and Philosophy of Science*. New York: Routledge.
- Martins, R. A. (2012). O éter e a óptica dos corpos em movimento: a teoria de Fresnel e as tentativas de detecção do movimento da Terra, antes dos experimentos de Michelson e Morley (1818-1880). *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, Florianópolis, 29(1), 52-80. Recuperado de <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/24280>
- Maurine, L., & Beaufils, D. (2013). Teaching the Nature of Science in Physics Courses: The Contribution of Classroom Historical Inquiries. *Science & Education*. 22(6), 1443–1465. DOI:10.1007/s11191-012-9495-z
- McComas, W. F. (1998). The Principal Elements Of The Nature Of Science: Dispelling The Myths. In McComas, W. F. (Ed). *The Nature Of Science In Science Education. Rationales And Strategies*. Netherland: Kluwer Academic Publishers.
- McComas, W. F. (2008). Seeking historical examples to illustrate key aspects of the nature of science. *Science & Education*, 17(2-3), 249-263. Recuperado de DOI:10.1007/s11191-007-9081-y
- McGuire, J., & Tuchanska, B. (2013). Da ciência descontextualizada à ciência no contexto social e histórico. *Revista Brasileira de História da Ciência*, Rio de Janeiro, 6(2),151-182. Recuperado de www.sbh.org.br/arquivo/download?ID_ARQUIVO=1097
- Medeiros, A., & Monteiro, Jr. (2001) Reconstrução de experimentos históricos como uma ferramenta heurística no ensino de Física. In *Atas do Encontro nacional de pesquisa em ensino de ciências*. Recuperado de <http://www.nutes.ufrj.br/abrapec/iiienpec/Atas em html/o12.htm>
- Metz, D., & Stinner, A. (2007). A Role for Historical Experiments: Capturing the Spirit of Intinerant Lectures of the 18th Century. *Science & Education* 16(6), 613-624. DOI:10.1007%2Fs11191-006-9016-z?LI=true
- Moura, C. B., & Guerra, A. (2016) História Cultural da Ciência: Um Caminho Possível para a Discussão sobre as Práticas Científicas no Ensino de Ciências? *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, 16(3), 725-748. Recuperado de <https://seer.ufmg.br/index.php/rbpec/article/view/2859/2798>
- Niaz, M., & Rodriguez, M. A. (2005). The oil drop experiment: Do physical chemistry textbooks refer to its controversial nature?. *Science & Education*, 14(1),43-57. DOI:10.1007%2Fs11191-004-4664-3?LI=true
- Niaz, M. (2009). Progressive transitions in chemistry teachers' understanding of nature of science based on historical controversies. *Science & Education*, 18(1), 43–65. DOI:10.1007/s11191-007-9082-x
- Oliveira, R. A., & Silva, A. P. B. (2014). William Herschel, os raios invisíveis e as primeiras ideias sobre radiação infravermelha. *Revista Brasileira de Ensino de Física*. 36(4),1-11. Recuperado de <http://www.scielo.br/pdf/rbef/v36n4/v36n4a22.pdf>
- Pimentel, J. (2007) La Revolución Científica in *História de Europa*. In Artola, M. (Org.), (pp. 163-238) S.L.U. Espasa Libros.
- Pimentel, J. (2010). ¿Qué es la historia cultural de la ciencia? *Arbor*, 186(743), 417-424.

- Porto, P. A. (2010). História e Filosofia da Ciência no Ensino de Química: em busca dos objetivos educacionais da atualidade. In Santos, W. L. P. (Org.). *Ensino de química em foco*. (pp. 159-180). Ijuí: Editora Unijuí.
- Raicik, A. C., & Peduzzi, L. O. Q. (2015). 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. *Investigações em Ensino de Ciências*, 20(2), 138-160. Recuperado de <https://www.if.ufrgs.br/cref/ojs/index.php/ienci/article/viewFile/47/26>
- Raicik, A. C., & Peduzzi, L. O. Q. (2016). Um resgate histórico e filosófico dos estudos de Stephen Gray. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, 16(1), 109-128. Recuperado de <https://seer.ufmg.br/index.php/rbpec/article/view/2543>
- Rinaldi, E. & Guerra, A. (2011). História da ciência e o uso da instrumentação: construção de um transmissor de voz como estratégia de ensino. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 28(3), 653-675. Recuperado de <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/22309>
- Roberts, L. (1999). *Going Dutch: Situating science in the Dutch enlightenment*. In Clark, W., Golinski, J., Schaffer, S. *The Sciences in Enlightened Europe*. Chicago: University of Chicago Press.
- Rodrigues, F. M. E. A., & Afonso, A. S. C. (2015). A natureza das interações verbais durante visitas de estudo à seção de óptica de um museu de ciência. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, v. 15(1), 173-194. Recuperado de <https://seer.ufmg.br/index.php/rbpec/article/view/2511>
- Rossi, P. O. (2001). *Ciência Moderna Na Europa, Nascimento*. Tradução: Antonio Angonese. Bauru/SP: EDUSC.
- Santos, A. J.J., & Voelzke, M. R. & Araújo, M. S. T. (2012). O Projeto Eratóstenes: a reprodução de um experimento histórico como recurso para a inserção de conceitos da Astronomia no Ensino Médio. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 29(3), 1137-1174. Recuperado de <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/24605>
- Schiffer, H., & Guerra, A. (2014). Electricity and Vital Force: Discussing the Nature of Science Through a Historical Narrative. *Science & Education*, 24(4) 409-434. DOI:10.1007/s11191-014-9718-6
- Shapin, S. (1989). The invisible technician. *American scientist*, 554-563. Recuperado de <http://www.jstor.org/stable/27856006>
- Silva, L. C. M., Santos, W. M. S., & Dias, P. M. C. (2011). A carga específica do elétron. Um enfoque histórico e experimental. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 33(1), 1601-1-1601-7. Recuperado de http://www2.unifap.br/rsmatos/files/2013/10/carga_esp_eletr.pdf
- Silva, A. P. B., & Oliveira, R. A. (2014). Herschel e os raios invisíveis de calor: experimentos históricos e as tecnologias atuais. In *Anais do IHPST Santiago do Chile*. Recuperado de <http://laboratoriogrecia.cl/wp-content/uploads/2015/05/C034-DA-SILVA-OLIVEIRA.pdf>
- Silva, C. C., & Martins, R. A. (2003). A teoria das cores de Newton: um exemplo do uso da história da ciência em sala de aula. *Ciência & Educação*. (Bauru), 9(1), 53-65. Recuperado de <http://www.scielo.br/pdf/ciedu/v9n1/05.pdf>
- Silva, M. A. M. (2016). *A utilização da controvérsia mendeliano-biometricista na questão da hereditariedade no início do século XX: um caminho para se trabalhar a hereditariedade na educação básica?*. (Dissertação de Mestrado). Centro Federal de Educação Tecnológica – RJ, Rio de Janeiro. Recuperado de http://dippg.cefet-rj.br/index.php?option=com_docman&task=doc_view&qid=1890&tmpl=component&format=raw&Itemid=166
- Souza, R. S., Silva, A. P. B., & Araújo, T. S. (2014). James Prescott Joule e o equivalente mecânico do calor: Reproduzindo as dificuldades do laboratório. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 36(3), 3309-1-3309-9. Recuperado de <http://www.scielo.br/pdf/rbef/v36n3/09.pdf>

- Tao, P. (2003). Eliciting and developing junior secondary students' understanding of the nature of science through a peer collaboration instruction in science stories. *International Journal of Science Education*, v. 25(2), 147-171. [DOI:10.1080/09500690210126748](https://doi.org/10.1080/09500690210126748)
- Teichmann, J. (2015). Historical Experiments and Science Education-From Conceptual Planning of Exhibitions to Continuing Education for Teachers. *Interchange*, 46(1), 31-43. Recuperado de [DOI:10.1007/s10780-015-9234-x](https://doi.org/10.1007/s10780-015-9234-x)
- Trumper, R. (2003). The physics laboratory—a historical overview and future perspectives. *Science & Education*, 12(7), 645-670. [DOI:10.1023%2FA%3A1025692409001?LI=true](https://doi.org/10.1023%2FA%3A1025692409001?LI=true)
- Valente, M. E. A. (2005). O Museu de Ciência: espaço da História da Ciência. *Ciência & Educação*, 11(1), 53-62. Recuperado de <http://www.scielo.br/pdf/ciedu/v11n1/05.pdf>
- Vera, F., Rivera, R., & Núñez, C. (2011). Burning a candle in a vessel, a simple experiment with a long history. *Science & Education*, 20(9), 881-893. Recuperado de http://www.math.harvard.edu/~knill/pedagogy/waterexperiment/vera_rivera_nunez.pdf
- Videira, A. A. P. (2007). Historiografia e história da ciência. *Escritos. Revista da Casa de Rui Barbosa*, 1, 111-58. Recuperado de http://www.casaruibarbosa.gov.br/escritos/numero01/FCRB_Escritos_1_6_Antonio_Augusto_Passos_Videira.pdf
- Wise, M. N. (2011). Science as (Historical) Narrative. *Erkenntnis*. 75(3), 349-376. [DOI:10.1007/s10670-011-9339-2](https://doi.org/10.1007/s10670-011-9339-2)
- Wivagg, D., & Allchin, D. (2002). The Dogma of “The” Scientific Method. *The American Biology Teacher*, 64(9). Recuperado de <http://shipseducation.net/sacredbovines/dogma.pdf>

Recebido em: 19.05.2017

Aceito em: 01.09.2017