

# O CASO DAS TRÊS PILHAS: RECONSTRUINDO APARATOS HISTÓRICOS PARA ENSINAR E APRENDER FÍSICA

## *THE CASE OF THE THREE PILES: REBUILDING HISTORICAL INSTRUMENTS TO TEACH AND LEARN PHYSICS*

**Ana Paula Bispo da Silva** [silva.anapaulabispo@gmail.com]

**José Antonio Ferreira Pinto** [antoniopinto@usp.br]

**Samira Arruda Vicente** [arudasamiraeupb@gmail.com]

**Gerson Gonçalves** [gersonotto2@yahoo.com]

*Programa de Pós-graduação em Ensino de Física – UEPB/PB*

### RESUMO

As atividades experimentais e a história da ciência são uma das possibilidades para aprimorar o ensino e a aprendizagem da ciência por meio da abordagem histórico-investigativa (AHI). Nesta perspectiva, a AHI se concentra principalmente no uso de estudos de caso históricos para explorar os aspectos metodológicos, epistemológicos e conceituais do empreendimento científico. Utilizamos um exemplo de estudo de caso que compreende a reconstrução de um aparato do século XVIII (pilha de Volta) e seu uso em atividades de residência pedagógica de um licenciando. Como parte das atividades da residência pedagógica e inserido no contexto de um grupo de pesquisa, o licenciando reconstruiu esse aparato histórico com base na fonte original utilizando-o numa oficina para a Educação Básica. Ao ler o relato de Volta, ele notou algumas sutilezas relacionadas ao conhecimento do século XVIII sobre materiais e procedimentos que não eram explícitos no texto, nem evidentes nas pilhas modernas. Durante a oficina, ele observou que o aparato de Volta, tal como descrito na fonte primária, não era adequado para uso educacional, porque exigia habilidades procedimentais específicas do século em que foi criado para empilhar e conectar placas de metal. Assim, ele construiu duas versões adicionais da pilha de Volta para conciliar o aparato histórico com uma intervenção em sala de aula. Os desafios que o licenciando enfrentou para reconstruir a pilha de Volta prepararam-no para lidar com as dificuldades teóricas e experimentais dos alunos durante as oficinas. Além disso, ajudaram-no a prever possíveis questionamentos em sala de aula. Observou-se nesse processo que a reconstrução do aparato histórico em conjunto com a intervenção em sala de aula contribuiu para uma formação mais reflexiva por parte do licenciando.

**PALAVRAS-CHAVE:** aparatos históricos; abordagem histórico-investigativa; pilha de Volta; formação de professores.

### ABSTRACT

*Experimental activities and the History of Science are one of the possibilities to enhance Science teaching and learning through the Historical-Investigative approach (HI). From this perspective, the HI approach focuses primarily on the use of historical case studies to explore the methodological, epistemological and conceptual aspects of scientific endeavor. In this*

*paper, we discuss the competences that are necessary and developed by teachers and students when using the HI approach. We use a case study example which comprises the rebuilding of an 18th century instrument (Volta's pile) and its use in a Physics class based on the HI approach. As part of the research group activities, an in-training teacher rebuilt that historical instrument based on the original source and designed a didactic proposal. Founded on Volta's report, he noticed some subtleties related to the 18th century knowledge on materials and procedures that were neither explicit in the report nor evident in modern piles. Furthermore, he observed that Volta's instrument was not suitable for educational use, because it required an 18th century expertise for stacking and connecting metal plates. Thus, he built two additional versions of Volta's pile for conciliating the historical report to the educational proposal. The challenges the teacher faced to rebuild Volta's pile prepared him to deal with the students' theoretical and experimental difficulties. Moreover, they helped him foreseeing both their previous knowledge and future queries. Our research findings suggest that the success of the HI approach depends on the teacher's participation throughout the process, ranging from the reconstruction of the historical instrument to the planning of the didactic proposal. Finally, the in-training teacher can only learn and teach the methodological, epistemological and conceptual aspects of the scientific endeavor when he participates in the process.*

**KEYWORDS:** *historical apparatus; history-inquiry based approach; Volta's pile; teacher in training.*

## INTRODUÇÃO

Dentre as diferentes abordagens e metodologias passíveis de promover a alfabetização científica, a literatura contemporânea sobre ensino de ciências tem enfatizado a necessidade de promover o ensino e a aprendizagem de ciências utilizando-se uma abordagem investigativa (CARVALHO, 2018). Argumenta-se que através da abordagem investigativa os processos de interação em sala de aula, seja professor-aluno, aluno-aluno e aluno-material didático permitem a construção de um cenário didático que favorece o desenvolvimento de competências argumentativas e a possibilidade de explorar conceitos, procedimentos e também, atitudes. A abordagem histórico-investigativa (AHI) se insere nessa perspectiva associando atividades experimentais, história e filosofia da ciência, permitindo também explorar aspectos de natureza da ciência a partir de estudos de caso históricos (BRUNEAU et al, 2012; HEERING; HÖTTECKE, 2014; BATISTA; SILVA, 2018). Nesta abordagem, estudos de caso históricos, que envolvem experimentos ou aparatos, são usados como parte de um plano de aula baseado em investigação para explorar os aspectos metodológicos, epistemológicos e conceituais do empreendimento científico.

Algumas propostas baseadas na AHI preveem que a reconstrução de um experimento ou aparato durante a sala de aula possa levar os alunos a explorar muitas de suas habilidades e competências (HEERING, 2000; CAVICCHI; 2008; HEERING; WITTJE, 2011). No entanto, pouca atenção foi dada ao papel da formação do professor para aplicá-la. Entre os autores que abordam esta questão, nos referimos a Batista e Silva (2019) e Höttecke e Silva (2011), que argumentam que a preparação profissional dos professores é um dos maiores desafios para a eficácia da AHI em sala de aula. Alguns dos requisitos para a sua eficácia estão relacionados ao profundo conhecimento do estudo de caso histórico e à capacidade de lidar com as perguntas dos alunos. Em particular, os professores precisariam estar abertos a diferentes possibilidades de experimentos e respostas dos alunos, estimulando-os a pensar nos fenômenos, e não apenas nos resultados (PINTO et al., 2018; SILVA et al., 2018).

Neste trabalho, apresenta-se um estudo de caso empírico que discute como o processo de reconstrução de um aparato histórico e sua utilização em oficinas com estudantes da Educação Básica (EB) na residência pedagógica, contribuíram para que um licenciando

permanecesse com atitude reflexiva durante sua formação. Como resultado, as ações do licenciando durante as oficinas sofreram modificações na busca de adequar o aparato histórico às questões de sala de aula; esse processo em si mesmo proporciona uma vivência investigativa que pode ressignificar o conteúdo e a forma daquilo que está sendo estudado; no que concerne ao replanejamento das atividades a serem desenvolvidas, é um obstáculo a forte presença da visão tradicional de sala de aula que faz com que as ações didáticas permaneçam centralizadas no papel do professor.

## **A ABORDAGEM HISTÓRICO INVESTIGATIVA E A RECONSTRUÇÃO DE EXPERIMENTOS HISTÓRICOS**

A AHI fundamenta-se nos pressupostos epistemológicos da moderna historiografia da ciência (KRAUGH, 1987) e do ensino investigativo (CARVALHO, 2013; 2018). Dentre as possibilidades historiográficas, optamos por trabalhar com experimentos e aparatos históricos. Sua utilização pode ser feita de diferentes maneiras, como a reconstrução ou replicação, a abordagem por narrativas, diários de laboratório, simulações, etc. (JARDIM; GUERRA, 2017; COSTA et al., 2019). Neste trabalho consideramos a reconstrução do aparato histórico pelo licenciando como fator preponderante para a sua formação.

A reconstrução de experimentos históricos vem sendo explorada por vários historiadores da ciência como fonte primária para compreensão de aspectos conceituais, metodológicos e epistemológicos do fazer científico (MEDEIROS; MONTEIRO JR., 2001; HEERING; WITTJE, 2011; CHANG, 2011; FORS et al., 2016;). Entre as categorias estabelecidas por Heering e Höttecke (2014) e Jardim e Guerra (2017), a perspectiva neste trabalho se enquadra naquela que se aproxima do modelo de Oldenburg, buscando reconstruir o mais próximo possível do experimento original, a partir do relato do próprio cientista e com foco no fenômeno. Atenta-se ainda para o seu funcionamento, ou seja, considerando-se a montagem que o cientista declara, é possível observar seu funcionamento para determinada finalidade? Assumimos que a reprodução do experimento ou do aparato pode complementar a análise das fontes primárias escritas, acrescentando conhecimentos que são invisíveis ao próprio cientista por fazerem parte de seu contexto, principalmente aqueles relacionados aos conhecimentos tácitos ou expertises.

Nesse sentido, ao reconstruir um aparato ou refazer um experimento histórico é preciso considerar o contexto histórico original, tanto do ponto de vista dos possíveis saberes do experimentador quanto em termos de materiais e técnicas de medida. Algumas habilidades necessárias na execução do experimento só se tornam conhecidas durante a própria reconstrução. Desta forma, é praticamente impossível reproduzir um experimento ou aparato sem cair em anacronismo. Isso ocorre devido à inexistência de algum material, pela falta de clareza na descrição dos procedimentos e inexistência de fatos. Dificilmente é possível proceder sem considerar conhecimentos adquiridos posteriormente, em oposição à análise do material escrito, em que o historiador pode, se quiser, excluir interpretações anacrônicas (PESTRE, 1994).

A reconstrução de experimentos ou aparatos possui vários pressupostos que a aproxima das características do ensino investigativo, conforme proposto por Carvalho (2013, p. 10-11). A reconstrução é o problema experimental, que pode partir do relato do cientista ou de um problema atual relacionado<sup>1</sup>, para daí sistematizar o conhecimento, estabelecer e verificar hipóteses, considerar possíveis erros, refazer hipóteses e até mesmo construir uma nova heurística partindo do pressuposto que o cientista não declarou tudo o que realmente ocorreu em seu relato (CHANG, 2011). Ao longo do processo, diferentes dimensões são desenvolvidas: 1) conceituais: para reconstruir é preciso saber quais conceitos o cientista conhecia e a quais

<sup>1</sup> Por exemplo, Vicente et al. (2020) relatam uma proposta em que o ponto de partida para reconstrução da pilha foram as propriedades elétricas abordadas no livro Frankstein.

conceitos atuais eles equivalem; 2) procedimentais: desenhar, planejar, construir equipamentos, investigar materiais equivalentes, traduzir, refazer medidas, etc.; e 3) atitudinais: compartilhar ideias, fazer e receber sugestões, lidar com problemas e erros, comunicar, dialogar, etc. (ZABALA, 1998). Adicionalmente a atividade manual investigativa, conhecer aspectos históricos é fundamental na AHI para entender os objetivos e a motivação do cientista e, muitas vezes, partir de pressupostos teóricos e influências socioculturais para estabelecer as hipóteses. Desta forma, a AHI, com a reconstrução de experimentos ou aparatos, permite atender alunos que se sentem atraídos por atividades experimentais e também aqueles que preferem leitura e escrita, englobando diferentes interesses da sala de aula e incentivando a postura investigativa.

Muitos são os desafios para o professor planejar e executar essas atividades, o que acaba levando-os a adotar os métodos tradicionais de ensino experimental, e inserir a história apenas como ilustrativa. Tais dificuldades ainda são acrescidas das características (ruins) do sistema educacional, o que afasta ainda mais a AHI da sala de aula (BATISTA; SILVA, 2019). Assim, torna-se relevante discutir, do ponto de vista da formação do professor, quais requisitos devem estar presentes no planejamento de uma proposta baseada na AHI, com intenção de prepará-lo para seu futuro profissional.

Portanto, para planejar a proposta, primeiro o licenciando precisa testar o material que irá utilizar, ou seja, tentar reconstruir o experimento e verificar possíveis problemas. Para isso, ele busca fontes históricas primárias e secundárias, escolhe o que irá se aprofundar, constrói o estudo de caso histórico do ponto de vista conceitual (que conhecimentos o cientista possuía?), relaciona com o ambiente de sala de aula, planeja suas ações e só então executa.

Enquanto processo formativo, a intervenção na sala de aula adiciona elementos que precisam ser refletidos pelo licenciando e incorporados ao seu repertório didático.

## **AMBIENTES DE PLANEJAMENTO E DE EXECUÇÃO: IDENTIFICANDO OS ESPAÇOS**

Planejamentos de propostas usando a AHI são realizados como parte das atividades de um grupo de pesquisa do qual os autores fazem parte. O grupo de pesquisa possui alunos de graduação (licenciandos em física), mestrado, doutorado, professores de Ensino Superior e professores da Educação Básica que se reúnem para discutir trabalhos em desenvolvimento, projetos de pesquisa, artigos, etc., envolvendo a história da ciência e o ensino de ciências. As reuniões do grupo funcionam como um ambiente colaborativo de pesquisa educacional (HOADLEY, 2003), onde atividades em andamento são relatadas e revisadas de acordo com as discussões realizadas. O processo de planejamento ocorre com as seguintes etapas: (1) um licenciando escolhe um estudo de caso histórico para reconstruir o experimento ou aparato; (2) o licenciando planeja uma proposta didática usando seu próprio experimento ou aparato e cria um novo kit experimental didático baseado nele; (3) o licenciando vai para uma sala de aula (geralmente uma sala de aula do ensino médio) para implementar seu plano de aula. Todas essas etapas são discutidas anteriormente pelo grupo; após cada aula da proposta, o licenciando dá seu feedback ao grupo, e novas discussões e modificações ocorrem conforme as necessidades.

Neste trabalho foram consideradas as atividades do licenciando durante sua residência pedagógica<sup>2</sup>, incluindo a reconstrução de um aparato e ações pontuais em sala de aula. No total foram três intervenções, com turmas diferentes de Ensino Médio de escolas públicas, no

---

<sup>2</sup> Trata-se do Edital CAPES 06/2018 de Programa institucional de bolsas de residência pedagógica. O licenciando em questão executou suas atividades junto ao subprojeto de física, cujo coordenador também faz parte do grupo de pesquisa. Para maiores informações sobre a Residência pedagógica, sugerimos Silva e Cruz (2018).

formato de oficinas. Para cada oficina, o licenciando fazia o planejamento e discutia seus resultados junto com o grupo.

O Licenciando cursava o equivalente ao sexto semestre do curso, e estava no primeiro ano como bolsista da residência pedagógica. As oficinas foram realizadas em três Escolas Públicas diferentes. Conforme requerido pelo Edital da CAPES, as escolas devem possuir IDB abaixo da média do Estado, o que era o caso nas três escolas. Duas das escolas estavam localizadas em cidades de pequeno porte; duas são consideradas pertencentes a comunidades com índices elevados de violência; apenas em uma das escolas o professor supervisor é efetivo; os dois outros eram substitutos. As três escolas adotam o regime de educação integral<sup>3</sup>, possuem laboratório (precário) e uma disciplina específica para atividades experimentais (em sistema de rodízio entre física, química e biologia). Todo o material utilizado nas oficinas foi providenciado pelo licenciando e financiado pelo grupo de pesquisa, fazendo parte do nosso acervo próprio de experimentos e instrumentos históricos e kits educacionais.

## O ESTUDO DE CASO HISTÓRICO: A PILHA DE ALESSANDRO VOLTA

O licenciando escolheu a pilha, de Alessandro Volta (1745-1827), como aparato a ser reconstruído e incluído nas oficinas. O estudo de caso histórico da pilha de Alessandro Volta já se encontra bem explorado na literatura (KIPNIS, 1987; MARTINS, 1999; KIPNIS, 2001; MARTINS, 2001; PANCALDI, 2003; GERMANO et al., 2012), com traduções da fonte primária para o português (MAGNAGHI; ASSIS, 2008; FORATO; GUERRA, 2015), e se adaptava ao período em que seriam executadas as oficinas (3º ano do Ensino Médio e conteúdo de eletricidade). Além disso, o licenciando já tinha tido conhecimento da história da física envolvendo a eletricidade em duas disciplinas: história da física e metodologia para o ensino de física 3. Portanto, as fontes históricas não seriam um problema, nem a relação entre o conhecimento histórico e o conteúdo curricular de Física.

### Um breve resumo da história da pilha de Alessandro Volta

No final do século XVIII, muitos filósofos naturais, surpresos com os novos espécimes, como o peixe-elétrico (chamado torpedo) que chegavam da exploração de colônias tropicais, procuraram uma relação entre fenômenos elétricos animais, choques e faíscas. A eletricidade produzida pela máquina elétrica causava choques e faíscas; a eletricidade animal também causava choques. Seriam eletricidades da mesma natureza? O animal poderia ser uma máquina elétrica? Essas questões, envolvidas pela atmosfera iluminista, promoveram um ambiente empolgante de pesquisa em eletricidade na Europa (KIPNIS, 1987; MERTENS, 1998; MARTINS, 1999; MARTINS, 2001; PANCALDI, 2003).

Em 1791, Luigi Galvani (1737-1798), da Universidade de Bolonha, publicou seus experimentos para entender as contrações musculares dos sapos. A partir de seus experimentos, ele presumiu que os animais tinham uma eletricidade intrínseca (MARTINS, 1999). Alessandro Volta (1745-1827), da Universidade de Pavia, que conhecia os experimentos de Galvani, os reproduziu, mas sem considerar a eletricidade como produzida pelo animal. Como alternativa para entender o papel dos metais e fluidos na produção e condução de eletricidade, Volta foi levado à construção da pilha ou bateria.

Volta descreve seus procedimentos para construir a bateria (o aparelho) em uma carta que escreveu a Sir Joseph Banks, da Royal Society, em 26 de junho de 1800, parcialmente reproduzida a seguir:

<sup>3</sup> Numa visão distorcida, a educação integral nesse caso corresponde à permanência, obrigatória, dos professores e alunos durante dois turnos na escola, durante todos os dias da semana.

Ele [o aparelho] consiste em uma longa série de uma sucessão alternativa de três substâncias condutoras, cobre, estanho e água; ou, o que é preferível, prata, zinco e uma solução de qualquer sal neutro ou alcalino. O modo de combinar essas substâncias consiste em colocar horizontalmente, primeiro, um prato ou disco de prata (meia coroa, por exemplo) próximo a um prato de zinco das mesmas dimensões; e, por último, uma peça semelhante de uma matéria esponjosa, como papelão ou couro, totalmente impregnada com a solução salina. Esse conjunto de camadas triplas deve ser repetido trinta ou quarenta vezes, formando assim o que o autor chama de máquina colunar. Deve-se observar que os metais devem estar sempre na mesma ordem, ou seja, se a prata é a mais baixa no primeiro par de chapas metálicas, deve ser assim em todas as sucessivas, mas que o efeito que será obtido será o mesmo se esta ordem for invertida em todos os pares. Como o fluido, a água ou a solução salina, e não a camada esponjosa impregnada com ele, é a substância que contribui para o efeito, segue-se que, assim que essas camadas estiverem secas, nenhum efeito será produzido. (VOLTA, 1800, p. 27)

Na mesma carta, Volta observa que esse aparelho produz pequenos choques e faíscas, semelhante ao torpedo e ao jarro de Leyden. No entanto, mesmo fazendo funcionar, Volta não conhecia a natureza da eletricidade produzida pela pilha (KIPNIS, 1987; MARTINS, 1999; KIPNIS, 2001;). Esse fato não impediu que a pilha de Volta fosse bem conhecida em toda a Europa. Mertens (1998) argumenta que muitos outros aspectos impulsionaram a pilha de Volta, como o contexto científico do Iluminismo e as influências da política, uma vez que sua pilha foi apresentada a Napoleão Bonaparte durante a invasão da Itália.

Essa breve história anterior sobre a pilha demonstra como esse assunto aborda muitos aspectos relacionados ao empreendimento científico. A descrição de Volta nos permite discutir aspectos metodológicos e conceituais; a controvérsia com Galvani e os contextos científico e político incluem aspectos epistemológicos, como o caráter temporário da ciência e as influências que recebe da sociedade. Apesar de ter conhecimento de várias perspectivas do estudo de caso, não houve preocupação do licenciando em discutir aspectos relacionados a natureza da ciência durante as oficinas. Ele se preocupou na reconstrução da pilha para “ver se funcionava”.

## RECONSTRUINDO E APRENDENDO FÍSICA

### A primeira pilha

O licenciando começou a construir sua primeira pilha meses antes de sua primeira oficina. Num primeiro momento, ávido pela atividade manual decorrente, principalmente, da sua formação anterior como técnico<sup>4</sup>, ele não se baseou na carta de Volta e construiu uma pilha (pilha zero) associando placas de mesmo tamanho de (cobre) + (esponja umedecida) + (zinco) + (esponja umedecida). Segundo ele, essa disposição correspondia às pilhas que são feitas usando líquido, conforme consta em Germano et al. (2012), as quais são duas placas, uma de zinco e uma de cobre, imersas em água salgada ou vinagre. Para ele, a esponja umedecida faria o papel do líquido.

Quando a pilha zero não produziu nenhum efeito elétrico, o licenciando rendeu-se à descrição de Volta e associou corretamente os pares metálicos (zinco) + (cobre) + (esponja umedecida) + (zinco) + e assim sucessivamente. Baseado em imagens da rede (Figura 1a), ele interpretou que deveria haver um eixo central para encaixar as placas de cobre, zinco e lã (como mostrado na Figura 1b), mesmo que isso não estivesse explícito no relatório de Volta.

<sup>4</sup> O licenciando é torneiro mecânico formado pelo SENAI.

Ele construiu a pilha como pode ser visto na figura 1b e a levou para sua primeira oficina. Para este primeiro modelo, foram fundamentais suas habilidades prévias em marcenaria na moldagem das bases e hastes da pilha. Tal detalhe não foi mencionado por Volta, para quem o fundamental era a pilha central com os metais. Esse tipo de conhecimento tácito – marcenaria – não revelado, é muito característico em aparatos e experimentos antigos e muitas vezes pode ser fundamental para que o funcionamento ocorra (SHAPIN, 1982; MCCONNELL, 2013). A tais conhecimentos tácitos estão relacionados artesãos e fabricantes de instrumentos que muitas vezes são omitidos dos relatos dos cientistas.

Durante a oficina com esse modelo, ele percebeu que o eixo central era um problema, pois as placas úmidas o oxidavam e era difícil para os alunos montarem a pilha. Além disso, pediram para ver o funcionamento da pilha, pois ele havia enfatizado apenas teoricamente e não havia conectado nenhum circuito. Como resultado dessa oficina, o licenciando levou para o grupo, dois novos problemas a serem resolvidos para as próximas intervenções: um prático, relacionado à sua interpretação da fonte histórica (tinha eixo central ou não? Como Volta fez para as placas permanecerem na vertical?); e um problema conceitual, relacionado ao aumento do efeito elétrico, suficiente para acender um LED.



(a)



(b)

**Figura 1:** (a) Foto da pilha de Volta disponível no Museu da Universidade de Pavia. (b) Primeira pilha construída pelo licenciando. As placas de cobre, zinco e esponja possuem um furo central para encaixe no eixo de metal.

Fonte: (a) I, GuidoB, CC BY-SA 3.0, <<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=2249821>>. Em 30/03/2020. (b) Acervo dos autores.

## A segunda pilha

O licenciando voltou ao relato de Volta para tentar resolver seus problemas. Em um trecho da carta, Volta argumenta:

Obtive algumas dúzias de pequenas chapas redondas ou discos de cobre, de latão, ou melhor, de prata, mais ou menos de uma polegada de diâmetro (por exemplo, algumas moedas) e igual número de discos de estanho, ou que é muito melhor, de zinco, com a mesma forma e largura. **Digo mais ou menos, porque não é necessária uma precisão rigorosa, e em geral, tanto o diâmetro quanto à forma das peças metálicas são arbitrários.**

Somente temos que prestar atenção para que possam ser dispostos facilmente uns sobre os outros, na forma de coluna (VOLTA, 1800 *apud*, MAGNAGHI e ASSIS, 2008. Grifo nosso)

Portanto, para Volta, o tamanho e grossura das placas não parecia ter qualquer influência na produção da intensidade da corrente (para que funcionasse). Num trecho seguinte, Volta afirma que consegue choques mais intensos quanto mais pares metálicos houver na pilha. O licenciando, porém, utilizando de seus conhecimentos atuais de eletricidade, argumentou que, como a corrente produzida dependia de uma reação de oxirredução entre os pares, a troca seria melhor se as áreas das placas fossem maiores e se houvesse uma forma de aumentar o contato entre elas.

Com essa hipótese, que contrariava Volta, o licenciando fez novos testes usando um multímetro e conseguiu produzir uma corrente com uma nova pilha, em que as placas eram maiores. Com o multímetro, ele observou ainda que a corrente produzida era muito pequena, mas os valores de tensão eram mensuráveis. Isso indicava que havia uma diferença entre produzir corrente e produzir tensão, que estava relacionada à natureza da eletricidade produzida ali.

Do relatório de Volta e de novas imagens consultadas, ele concluiu que só precisava manter as placas como uma pilha e colocar um conector de metal acima e abaixo. Com base nessas novas considerações, ele construiu um segundo modelo (como pode ser visto na Figura 2) que ainda não produzia altas correntes, mas que fornecia uma tensão de 9V, suficiente para acender uma sequência com 30 LEDs.



**Figura 2:** Segunda pilha construída. As placas são mais largas (maior área de contato), não possuem um furo central, e são empilhadas num entalhe feito na madeira. Um parafuso (nome técnico "general") é rosqueado e prende a pilha entre os dois contatos de metal que fazem a ligação com o circuito.

Fonte: Acervo dos autores

Como não havia referências ao eixo central na carta de Volta, nem tampouco ao modo como ele fazia com que as placas se mantivessem empilhadas, firmes e em contato, ele entalhou a madeira, de forma a fazer um encaixe para as placas. A pressão sobre as placas poderia ser regulada através do parafuso, que também evitava que uma ou outra placa se deslocasse. Usando o segundo modelo, ele projetou um novo plano de aula e o implementou em sua segunda oficina. Agora, os alunos não tiveram dificuldade em empilhar as placas e fazer a pilha "funcionar"; ficaram excitados quando foi possível acender os LED e mediram valores de tensão e corrente com o multímetro. O licenciando explicou aos alunos a diferença entre os conceitos de tensão elétrica e corrente elétrica e os fenômenos de oxirredução. Ao fazer sua explicação, o licenciando fez uso de termos e conceitos atuais, presentes no livro



didático, sem destacar as dificuldades que existiram, historicamente, para a compreensão da natureza desse fenômeno.

### A terceira pilha

No entanto, ele não estava satisfeito, porque o novo modelo, mesmo funcionando, estava longe das imagens históricas da pilha do século XVIII (segundo ele, era muito "robusto"). Assim, ele concluiu que o aparato histórico deveria usar mais placas (e gerar uma corrente elétrica mais alta) e ser mais "delicado" que o segundo modelo. Essas novas conclusões o levaram a construir o terceiro modelo (como mostra a Figura 3). Usando mais placas, mas sem o eixo central, ele poderia obter uma corrente elétrica mais alta e, ao mesmo tempo, facilitar a compreensão e a reprodução da pilha pelos alunos. Em seguida, ele usou o terceiro modelo em uma terceira oficina, atraindo a atenção e a motivação dos alunos para a atividade investigativa e a compreensão dos conceitos de Física.



**Figura 3:** Terceira pilha construída. Pra manter a coluna de células estável e pressionada, foi introduzido o "general" e um suporte cilíndrico (feito de cano de PVC) entre duas das hastes de madeira. Pra essa pilha, as placas podem ter área menor, mas é possível aumentar o número de células, o que levava a uma corrente maior e mesma tensão que na pilha dois.

Fonte: Acervo dos autores.

Na terceira oficina, os alunos questionaram porquê uma pilha normal não poderia ser utilizada para carregar um celular. Ele então incluiu na oficina um conjunto de diferentes pilhas e baterias modernas, mostrando como elas se diferenciavam em termos de tensão e corrente produzida.

Durante o processo de construção e reconstrução da pilha, o licenciando testou os modelos com os membros do grupo de pesquisa e nas atividades da sala de aula. As perguntas dos membros do grupo de pesquisa e dos alunos o ajudaram a repensar o aparato e o fenômeno elétrico, quase simulando a academia científica do século XVIII.

Como no estudo de caso de Volta, o licenciando foi capaz de entender que os fenômenos elétricos eram devidos às propriedades do metal e que a esponja úmida funcionava como um

meio. Portanto, melhorar implicava a necessidade de aumentar as placas em relação ao seu número ou superfície. Ao mesmo tempo, era necessário manter a coluna de células estável com todas as placas em contato (que é a função da parede de madeira e da rosca do parafuso).

Observa-se que o episódio histórico teve um papel importante no desenvolvimento das diferentes versões da pilha e na compreensão de seu funcionamento. Por outro lado, o conhecimento apenas do funcionamento não satisfaz completamente o licenciando, ou ele não teria se empenhado em aproximar seu segundo modelo de pilha ao correspondente histórico do museu (Fig. 1a). Do ponto de vista da AHI esperava-se que esse processo estivesse presente nas ações em sala de aula, destacando que não houve um caminho linear para se chegar a uma versão da pilha que fosse, ao mesmo tempo, prática para montar e em pleno funcionamento. No entanto, o licenciando permaneceu focado no resultado do funcionamento da pilha (valores de tensão e corrente), recorrendo a explicações por meio de equipamentos modernos na sala de aula.

Para associar baterias modernas aos três modelos de pilha, ele explicou: "quanto maior o número de pastilhas, é como se eu estivesse trabalhando em série [...] porque a pilha de Volta é o seguinte, quanto maior a massa do reagente maior a corrente, mas quanto mais células<sup>5</sup> maior a tensão". Essa explicação prescinde de conhecimentos do episódio histórico, e até mesmo da montagem do aparato a partir do relato histórico, focando em observações empíricas e conceitos atuais.

## ALGUMAS CONSIDERAÇÕES

Durante o processo de reconstrução, o licenciado foi levado a refletir, em participação com o grupo, quais conhecimentos foram necessários para que Volta chegasse a uma conclusão sobre o funcionamento da pilha. Ele também conseguiu entender questões conceituais envolvendo as diferentes formas de produzir eletricidade e como esse conhecimento foi se adequando conforme novas demandas apareciam (como o aumento da corrente e da tensão). Tentando suprir informações que não estavam declaradas por Volta, ele fez novas hipóteses, associou seu conhecimento com o conhecimento histórico. Ao executar as oficinas, os questionamentos dos alunos trouxeram novos problemas e o licenciado foi levado a rever sua atuação em sala e seu planejamento, antecipando possíveis problemas e refletindo sobre seus erros.

Todo o processo, realizado em três oficinas de Física, durou mais de um ano, desde o primeiro modelo até a versão 3 da pilha. Durante esse período, a participação no grupo de pesquisa ajudou o licenciado a melhorar suas habilidades e adquirir novas competências relacionadas à investigação. Como parte do processo, ele aprendeu a questionar as fontes históricas e a entender que o conhecimento científico é mais complexo do que simplesmente reproduzir resultados prontos. Ao construir de três formas diferentes o mesmo aparato, ele foi levado a investigar os fenômenos conceituais envolvidos na pilha, ou invés de simplesmente reproduzir modelos prontos.

No entanto, isso não se refletiu na sua ação em sala de aula. Durante as oficinas ele deu grande ênfase nas atividades manuais, em detrimento de reflexões históricas. Mesmo recorrendo à fonte primária para tentar solucionar seus problemas, o licenciado buscava chegar a uma conclusão, inicialmente, a partir do teste empírico. Só depois concluía que talvez precisasse modificar seus pressupostos teóricos. Por outro lado, suas habilidades técnicas, principalmente relacionadas à marcenaria, foram essenciais para que ele pudesse representar materialmente suas hipóteses.

A riqueza da vivência da preparação da oficina não foi percebida pelo licenciado como uma fonte de problematização para o desenvolvimento de atividades para a sala de aula. As questões trazidas por ele e o replanejamento das atividades traziam pouca ou nenhuma reflexão acerca de

---

<sup>5</sup> Uma célula corresponde ao conjunto (cobre) + (zinco) + (esponja umedecida).

que tipo de interação, espaço e tempo seriam necessários para desenvolver uma atividade histórico-investigativa. Ao contrário, as atividades desenvolvidas, ainda que com algum nível de interação, permaneciam centralizadas na figura do professor e na exposição de resultados experimentais esperados.

Este estudo de caso mostrou os desafios entre a potencialidade teórica da AHI como cenário problematizador em contraposição a prática em sala de aula. Ainda que o licenciando tenha planejado e construído seu aparato a partir das ideias da moderna historiografia da ciência, em que se destaca o processo de aquisição de um conhecimento, sua ação em sala de aula não foi capaz de superar o modelo tradicional para realização de atividades experimentais. Apesar da existência de disciplinas em que se desenvolvem abordagens como a AHI, e o incentivo por meio de projetos como a Residência Pedagógica, que proporciona um espaço estratégico para implementação e pesquisa de diferentes metodologias, os obstáculos formativos entre o planejamento e a prática nos mostram a necessidade de fomentar uma formação que, além de reflexiva, torne-se crítica; espera-se assim que o ensinar ciências e sobre ciências promova, também, uma reconstrução da sala de aula enquanto espaço de possibilidades. Não obstante, o surgimento de questões na prática e a necessidade de articulá-las com o episódio histórico é um passo importante para que a história da ciência passe a exercer um papel efetivo no planejamento e na sala de aula de ciências.

### Agradecimentos

Os autores agradecem o suporte financeiro do Conselho Nacional de Desenvolvimento científico e Tecnológico (CNPq) e da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

### REFERÊNCIAS

- BATISTA, Renata F. M.; SILVA, Cibelle C. A abordagem histórico-investigativa no ensino de Ciências. **Estudos Avançados**, v. 32, n. 94, p. 97-110, 2018.
- BATISTA, Renata F. M.; SILVA, Cibelle C. When things go wrong. **Science & Education**, p. 1-17. Online first. 2019. <https://doi.org/10.1007/s11191-019-00071-z>.
- BRUNEAU, O.; GRAPÍ, P.; HEERING, P.; LAUBÉ, S.; MASSA-ESTEVE, M.; VITTORI, T. (eds.) **Innovative methods for Science Education: History of Science, ICT and Inquiry-based Learning**. Berlin: Frank & Time GmbH, 2012.
- CARVALHO, Anna M. P. O ensino de Ciências e a proposição de sequências de ensino investigativas. In: CARVALHO, Anna M. P. (Org). **Ensino de Ciências por investigação: condições para implementação em sala de aula**. São Paulo: Cengage Learning, 2013. P. 7-20.
- CARVALHO, Anna. M. P. Fundamentos Teóricos e Metodológicos do Ensino por Investigação. **Revista Brasileira De Pesquisa Em Educação Em Ciências**, v. 18, n. 3, p. 765-794, 2018. <https://doi.org/10.28976/1984-2686rbpec2018183765>
- CAVICCHI, Elizabeth M. Historical experiments in students' hands: unfragmenting Science through action and history. **Science & Education**, v. 17, n. 7, p. 717-749, 2008.
- CHANG, Hasok. How historical experiments can improve scientific knowledge and science education: The cases of boiling water and electrochemistry. **Science & Education**, v. 20, n. 3-4, p. 317-341, 2011
- COSTA, Márcia; MACEDO, Andréia H.; BATISTA, Irinéa L. Pesquisas Nacionais a Respeito de Experimentos Históricos: Uma Revisão de Literatura. XII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências. **ANAIS...XII ENPEC** Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2019.

FORATO, Thaís. C. M.; GUERRA, Andreia. Alessandro Volta e a pilha. In: SILVA, Ana P. B.; GUERRA, Andreia (Orgs.). **História da Ciência e Ensino: fontes primárias e propostas para sala de aula**. São Paulo: Livraria da Física, 2015. Pp. 17-25

FORS, Hjalmar; PRINCIPE, Lawrence M.; SIBUM, H. Otto. From the Library to the Laboratory and Back Again: Experiment as a Tool for Historians of Science. **Ambix**, v. 63, n. 2, p. 85-97, 2016.

GERMANO, Marcelo G.; LIMA, Isabelle P. C.; SILVA, Ana P. B. Pilha voltaica: entre rãs, acidentes e necessidades. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 29, n. 1, p. 145-155, 2012.

HEERING, Peter. Getting shocks: Teaching secondary school physics through history. **Science & Education**, v. 9, n. 4, p. 363-373, 2000.

HEERING, Peter; HÖTTECKE, Dietmar. Historical-investigative approaches in Science teaching. In: MATTHEWS, Michael R. (Ed.), **International handbook of research in history, philosophy and science teaching**. Netherlands: Dordrecht: Springer, 2014. p. 1473–1502.

HEERING, Peter; WITTJE, Rowland. **Learning by doing. Experiments and instruments in the History of Science Teaching**. Franz Steiner Verlag. (elibrary), 2011. Disponível em <https://elibrary.steiner-verlag.de/book/99.105010/9783515100151>.

HOADLEY, Christopher. Design-Based Research Collective. Design-based research: an emerging paradigm for educational inquiry. **Educational Researcher**, v. 32, n. 1, p. 5–8, 2003. <https://doi.org/10.3102/0013189X032001005>.

HÖTTECKE, Dietmar; SILVA, Cibelle C. Why implementing history and philosophy in school science education is a challenge: an analysis of obstacles. **Science & Education**, v. 20, n. 3, p. 293–316, 2011.

JARDIM, Wagner T.; GUERRA, Andreia. Experimentos Históricos e o Ensino de Física: Agregando Reflexões a partir da Revisão Bibliográfica da Área e da História Cultural da Ciência. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 22, n. 3, p. 244-263, 2017.

KIPNIS, Nahum. Luigi Galvani and the debate on animal electricity, 1791–1800. **Annals of Science**, v. 44, n. 2, p. 107-142, 1987.

KIPNIS, Nahum. Scientific controversies in teaching Science: the case of Volta. **Science & Education**, v. 10, n. 1-2, p. 33-49, 2001.

KRAGH, Helge. **An introduction to the historiography of science**. Cambridge: Cambridge U.P., 1987.

MAGNAGHI, Ceno P.; ASSIS, André K. T. Sobre a eletricidade excitada pelo simples contato entre substâncias condutoras de tipos diferentes uma tradução comentada do artigo de volta de 1800 descrevendo sua invenção da pilha elétrica. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 25, n. 1, p. 118-140, 2008.

MARTINS, Roberto A. Alessandro Volta e a invenção da pilha: dificuldades no estabelecimento da identidade entre o galvanismo e a eletricidade. **Acta Scientiarum**, v. 21, n. 4, p. 823-835, 1999.

MARTINS, Roberto A. Romagnosi and Volta's pile: Early difficulties in the interpretation of Voltaic electricity. **Nuova Voltania: Studies on Volta and his Times**, v. 3, n. 1, p. 81-102, 2001.

MCCONNELL, Anita. Instruments and Instruments-Makers, 1700-1850. In: Buchwald, J. Z. and Fox, R. (eds.) **The Oxford Handbook of the History of Physics**. Oxford: University Press, 326-357, 2013.

MEDEIROS, Alexandre; MONTEIRO JR, Francisco Nairon. A reconstrução de experimentos históricos como uma ferramenta heurística no ensino da física. In: **III ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM ENSINO DE CIÊNCIAS**, Atibaia. **ATAS...ABRAPEC**, 2001.

MERTENS, Joost. Shocks and sparks: the voltaic pile as a demonstration device. **Isis**, v. 89, n. 2, p. 300-311, 1998.

PANCALDI, Giuliano. **Volta. Science and Culture in the Age of Enlightenment**. Princeton: Princeton University Press, 2003.

PESTRE, Dominique. La pratique de reconstitution des expériences historiques: une toute première réflexion. In: BLONDEL, Christine; DÖRRIES, Matthias (eds.) **Restaging Coulomb. Usages, controverses et répliques autour de la balance de torsion**. Firenze: Leo S Olschki, 1994, p. 17-30.

PINTO, Ingrid K. L. S.; SILVA, Ana P. B.; PINTO, José A. F. Entre o planejamento e a execução: desafios de uma abordagem histórica para ensinar eletrostática. **Experiências em Ensino de Ciências**, v. 13, n. 3, p. 192-211, 2018.

SHAPIN, Steven. History of science and its sociological reconstructions. **History of science**, v. 20, n. 3, p. 157-211, 1982.

SILVA, Ana P. B.; PINTO, José A. F.; FERREIRA, Ewerton. J. B. Design and implementation of a lesson plan for high school students: a case study with Oersted's experiment. In: PRESTES, Maria E. B.; SILVA, CIBELLE C. (Eds.). **Teaching Science with Context**. Netherlands: Springer, 2018. P. 327-339.

SILVA, Cibelle; HEERING, Peter. Re-examining the early history of the Leiden jar: Stabilization and variation in transforming a phenomenon into a fact. **History of Science**, v. 56, n. 3, p. 314-342, 2018.

SILVA, Katia A. C. P.; CRUZ, Shirleide P. A Residência Pedagógica na formação de professores: história, hegemonia e resistências. **Momento-Diálogos em Educação**, v. 27, n. 2, p. 227-247, 2018.

VICENTE, Samira A.; PINTO, José A. F.; SILVA, Ana P. B. História da Ciência, Experimentação e Vídeos: Introdução ao Conteúdo de Circuitos Elétricos. **Ensino de Ciências e Tecnologia em Revista – ENCITEC**, v. 10, n. 2, p. 151-165-2020.

VOLKMANN, Mark J.; ABELL, Sandra. K. Rethinking laboratories: tools for converting cookbook labs into inquiry. **The Science Teacher**, v. 70, n. 6, p. 38-41, 2003.

VOLTA, Alessandro. On the electricity excited by the mere contact of conducting substances of different kinds. **Abstracts of the papers printed in the Philosophical Transactions of the Royal Society of London**, 1, 1800-1814, 27-29, 1800.

ZABALA, Antonio. **A prática educativa: como ensinar**. Porto Alegre: Artmed, 1998.