

---

## Experimentos históricos nos livros didáticos: implicações para o ensino de química<sup>†\*</sup>

---

Beatriz Maia de Sousa<sup>1</sup>

Mestranda em Ensino de Ciências e Matemática  
Universidade Federal de São Paulo

João Paulo da Silva Souza<sup>1</sup>

Graduando em Licenciatura em Química  
Instituto Federal de São Paulo – Campus São Paulo

José Otavio Baldinato<sup>1</sup>

Instituto Federal de São Paulo – Campus São Paulo  
São Paulo – SP

### Resumo

*A história da ciência tem sido usada como importante contribuinte das relações de ensino, embasando uma melhor compreensão da atividade científica. Em muitos casos, porém, a descrição equivocada de episódios históricos pode dificultar o entendimento de conceitos e induzir visões distorcidas do que é a ciência e de como ela é feita. Neste trabalho, compilamos uma lista com 24 experimentos históricos encontrados em livros didáticos (LD) de Química voltados ao Ensino Médio e, a partir da análise de originais e da literatura secundária já produzida por historiadores da ciência, explicitamos diferenças entre as descrições de experimentos presentes nos LD e seus respectivos originais históricos. Os casos analisados envolvem a pilha de Daniell e o experimento com a folha de ouro de Rutherford. Comparando as descrições dadas pelos LD com os originais históricos, verificamos diferenças expressivas, tanto em relação às montagens e aos materiais utilizados pelos cientistas quanto na execução dos experimentos e em sua vinculação com proposições teóricas. No caso de Daniell, a separação da pilha em duas semicélulas*

---

<sup>†</sup> Historical experiments in textbooks: implications for chemistry teaching

\* Recebido: 3 de março de 2023.

Aceito: 29 de maio de 2023.

<sup>†</sup> Recebido em 01 de março de 2023. E-mails: [biamai101@hotmail.com](mailto:biamai101@hotmail.com); [joapaulo4015@hotmail.com](mailto:joapaulo4015@hotmail.com); [baldinato@ifsp.edu.br](mailto:baldinato@ifsp.edu.br)

<sup>2</sup> O acesso aos livros digitais foi disponibilizado pelas próprias editoras no contexto da pandemia de Covid-19.

<sup>1</sup> E-mails: [biamai101@hotmail.com](mailto:biamai101@hotmail.com); [joapaulo4015@hotmail.com](mailto:joapaulo4015@hotmail.com); [baldinato@ifsp.edu.br](mailto:baldinato@ifsp.edu.br)

*conectadas por uma ponte salina representa uma distorção do original histórico que o afasta, também, das representações cotidianas de pilhas elétricas e de qualquer aplicação prática do dispositivo. Já no caso da folha de ouro, identificamos que as ilustrações tradicionais deste experimento representam um híbrido de ao menos quatro montagens realizadas pelo grupo de pesquisa de Rutherford. Também notamos que os LD tratam da proposição do modelo atômico como decorrência deste experimento, o que gera uma distorção da cronologia histórica com viés indutivista, uma vez que o modelo teórico de Rutherford foi proposto antes e alguns desses experimentos foram projetados, justamente, como tentativas de verificação do modelo. Apresentamos pontos em que essas distorções podem prejudicar o entendimento dos alunos e de que forma a fidelidade histórica pode ajudar o trabalho de professores em sala de aula.*

**Palavras-chave:** *História da Ciência; Distorções; Pilha de Daniell; Experimento de Rutherford.*

### **Abstract**

*History of science acts as an important contributor to teaching towards a better understanding of scientific activity. However, misdescriptions of historical episodes are often found in science textbooks and might do the opposite, conveying distorted views about science and its social dynamics. In this paper we present a list of 24 historical experiments found in high school chemistry textbooks. Relying on current historiographical criteria and making use of primary and secondary sources, our aim was to compare these textbooks' descriptions with the experiments' historical originals. We have deepened the cases of Daniell's battery and of Rutherford's gold leaf and found significant differences in the description of these experiments, both in relation to the experimental apparatus and materials used by the scientists as in the execution of the experiments and their relationship with theoretical propositions. Splitting the battery into two semi-cells connected by a salt bridge represents a distortion of Daniell's battery' historical original. It also deviates from everyday representations of electric batteries and compromises any practical application of the device. In Rutherford's case, we identified that the gold leaf experiment presented in textbooks represents a hybrid of at least four experiments carried out by Rutherford's research group. We also noticed that textbooks deal with*

*the proposition of the atomic model as a result of such experiment, which leads to an inductivist biased distortion of the historical chronology, since Rutherford's theoretical model was proposed before, and some of these experiments were designed, precisely, as verification attempts of this model. We discuss implications of such distortions for the students' understanding and how historical fidelity may help teachers in classroom.*

**Keywords:** *History of Science; Distortions; Daniell's Battery; Rutherford's Experiment.*

## **I. Introdução**

Muito tem se discutido sobre a relevância da história da ciência (HC) nos contextos de ensino, pois além de potencializar o entendimento dos conteúdos, a HC favorece aprendizagens sobre os processos de construção da ciência, revelando-a como atividade humana, com caráter histórico e contextual (BARBOSA; AIRES, 2017; TOLVANEN, 2014; MARTINS, 2006; PEDUZZI, 2001). Como afirmam Moura e Guerra (2016, p. 733-734):

*as práticas científicas não se restringem a habilidades performáticas, como manipulação de instrumentos e variáveis, interpretação de dados e gráficos, mas à associação entre estas performances e os fatores culturais e socioinstitucionais capazes de produzir significados válidos na comunidade científica.*

Todavia, há de se reconhecer que nem toda história da ciência favorece essa apreciação ampla das práticas científicas, e historiografias escritas sob perspectiva desatualizada podem nos afastar dos objetivos educacionais da atualidade (PORTO, 2019).

Como destacam Santos e Porto (2013) a pesquisa em ensino de ciências tem compromisso com o desenvolvimento social do país. Referindo-se especificamente ao ensino de Química, esses autores argumentam que “pesquisadores dessa área têm contribuído de forma significativa nos processos de formação de professores, de discussão e elaboração de políticas públicas e no desenvolvimento de propostas de ensino para a escola da educação básica” (SANTOS; PORTO, 2013, p. 1570). Dentre as políticas públicas afetadas pela pesquisa em ensino, podemos citar o Programa Nacional do Livro Didático (PNLD), instrumento pelo qual o Governo Federal adquire e distribui os livros que estarão disponíveis aos estudantes das redes públicas de ensino. A cada edital, parte dos critérios para seleção das obras que integrarão o PNLD considera resultados de pesquisas em ensino, de modo que se almeja criar um efeito indutor de melhorias na qualidade desses materiais (SANTOS; PORTO, 2013, p. 1574).

Apesar disso, a história da ciência ainda é comumente retratada de maneira equivocada no ensino e, principalmente, nos LD (SILVA JUNIOR; SILVA, 2022;

HIDALGO; QUEIROZ; OLIVEIRA, 2021; TARGINO; BALDINATO, 2016; HEERING; WITTJE, 2012; VIDAL; CHELONI; PORTO, 2007; MARQUES, 2006). Mesmo com alguma melhora na abordagem histórica a cada nova edição dos livros didáticos do PNLD, como a inserção de elementos históricos no texto principal e o reconhecimento da participação de algumas mulheres na HC, ainda prevalece a visão do cientista homem, europeu e branco, que trabalha sozinho e descobre fatos sobre o funcionamento da natureza, seguindo procedimentos rigorosos e baseados na experimentação. Além de ir contra o senso de humanização e não promover empatia, esse tipo de narrativa inibe que a história da ciência seja usada como meio para facilitar a compreensão de como a própria ciência é feita.

Outras pesquisas salientam que professores da Educação Básica se utilizam do livro didático como principal fonte de consulta e referência em suas aulas (TURIN; AIRES, 2016; LEITE; GARCIA, 2018). Isso certamente levanta questões sobre a formação inicial de professores, mas reflete uma realidade social e política na qual grande parte dos professores ministram aulas de disciplinas para as quais não tiveram formação adequada. De acordo com o Censo Escolar da Educação Básica mais recente, 31,7% dos professores de química do Ensino Médio ministram a disciplina sem possuir formação adequada. Esse percentual é ainda maior em outras disciplinas como física (46%) e sociologia (60,7%) (BRASIL, 2023). Sendo assim, os problemas na abordagem histórica apresentada pelos livros merecem atenção como objeto de pesquisa e também devem motivar a produção de materiais complementares para serem consultados pelos docentes.

A contextualização que remete ao desenvolvimento das teorias científicas compreende uma parte significativa do ensino da química. Desta forma, um olhar mais atento sobre os experimentos históricos que contribuíram para a consolidação dessas teorias pode favorecer sua aprendizagem (HEERING; WITTJE, 2012).

Chang (2011, p. 317) define “experimentos históricos” de forma ampla, como “experimentos que surgem do estudo da ciência do passado, não da ciência atual e suas preliminares pedagógicas”. Essa definição contempla as ocasiões em que os autores de LD se propõem a narrar episódios da história da ciência, mas em acordo com Heering (2000), Chang defende que o estudo de experimentos históricos desprezados pelos LD modernos também pode propiciar aprendizagens valiosas sobre ciências.

Neste trabalho, nos propomos a identificar representações de experimentos históricos da química em livros didáticos e compará-las com os respectivos originais históricos. Nossas considerações serão dirigidas ao âmbito do ensino e da formação de professores, buscando ilustrar como uma maior atenção dedicada à história da ciência pode contribuir para a aprendizagem de ciências na Educação Básica.

## **II. Metodologia**

Esse trabalho de pesquisa possui caráter bibliográfico e documental. A primeira etapa consistiu em mapear a ocorrência de experimentos históricos representados nas seis

coleções didáticas de química aprovadas pelo Programa Nacional do Livro Didático (PNLD) de 2018.

Cada coleção é composta por três volumes e tivemos acesso às versões digitais de todos eles<sup>2</sup>. Desta forma, percorremos os 18 livros de química do PNLD, página a página, com o objetivo de localizar experimentos químicos históricos cuja relevância seja reconhecida pelos autores dos LD, ao ponto de reservarem espaço no livro para algum tipo de representação imagética. Catalogamos então os experimentos que possuísem, no mínimo, uma representação ilustrada, seja por fotografia, esquema, desenho ou gravura, que fossem acompanhados de uma descrição e associados ao nome de algum pesquisador de forma que remeta à história da ciência, configurando o que chamamos de experimento histórico. Com base nesse critério de seleção, descrições apenas textuais de experimentos não foram contempladas em nossa pesquisa. Por outro lado, observamos que as representações de alguns dispositivos, tais como a pilha de Daniell, as ampolas de Crookes e a pilha de Volta, atendiam ao critério e foram, portanto, incluídos em nossa análise, ainda que não sejam descritos nos livros como elementos de alguma proposta experimental na história da química.

Atribuímos uma letra de A a F para identificar as coleções e acrescentamos os numerais 1, 2 e 3 para identificar os volumes dentro de cada coleção didática. Desta forma, o código D3, por exemplo, servirá para nos referirmos ao terceiro volume da coleção “Química Cidadã”, seguindo a mesma lógica para todas as demais obras analisadas. O Quadro 1, abaixo, traz os dados das coleções de Química aprovadas pelo PNLD 2018 que consideramos neste trabalho.

Tabulamos as coleções em que cada um dos experimentos é retratado e, a partir dessa lista, selecionamos os de maior recorrência para aprofundar na segunda fase da pesquisa, considerando os originais históricos.

Realizamos, então, uma busca nas plataformas Google Acadêmico, Periódicos Capes, Scielo e Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações a fim de encontrar quais desses experimentos já foram estudados sob a perspectiva da contemporânea historiografia da ciência (KRAGH, 1989; ALFONSO-GOLDFARB; BELTRAN, 2004). Trabalhamos com dois dos experimentos que recebem representações em todas as coleções, a saber, a pilha de Daniell e a lâmina de ouro de Rutherford.

A seleção das fontes secundárias sobre os experimentos foi feita nas plataformas citadas, pesquisando pelo nome convencional atribuído ao experimento e também pelo nome dos cientistas associado às expressões “experimento” e “história da ciência”. Pesquisamos os equivalentes desses termos-chave de maneira a contemplar fontes disponíveis em língua inglesa e portuguesa. Procedemos à leitura dos artigos encontrados e também dos originais históricos nos quais os experimentos foram comunicados.

---

<sup>2</sup> O acesso aos livros digitais foi disponibilizado pelas próprias editoras no contexto da pandemia de Covid-19, como recurso para facilitar as situações de Ensino Remoto Emergencial.

Quadro 1 – Coleções didáticas analisadas.

<b>Código</b>	<b>Título</b>	<b>Autores</b>	<b>Editora</b>	<b>Ano</b>
A	Química	Martha Reis	Ática	2016
B	Vivá - Química	Vera Lúcia Duarte de Novais Murilo Tissoni Antunes	Positivo	2016
C	Ser Protagonista - Química	Aline Thaís Bruni Ana Luiza Petillo Nery André Amaral Goncalves Bianco Henrique Rodrigues Julio Cezar Foschini Lisboa Kátia Santina Lia Monguilhott Bezerra Paulo A. G. Bianco Rodrigo Marchiori Liegel Simone Garcia de Ávila Simone Jaconetti Ydi Solange Wagner Locatelli Vera Lúcia Mitiko Aoki	SM	2016
D	Química Cidadã	Eliane Nilvana Ferreira de Castro Gentil de Souza Silva Gerson de Souza Mól Roseli Takako Matsunaga Salvia Barbosa Farias Sandra Maria de Oliveira Santos Siland Meiry França Dib Wildson Luiz Pereira dos Santos	AJS	2016
E	Química	Carlos Alberto Mattoso Ciscato Emiliano Chemello Luis Fernando Pereira Patrícia Barrientos Proti	Moderna	2016
F	Química	Andréa Horta Machado Eduardo Fleury Mortimer	Scipione	2016

Fonte: Os autores.

O passo seguinte consistiu em relatar como cada experimento é descrito nos LD para, em seguida, apontar as semelhanças e divergências dessas descrições em relação aos experimentos originais. A partir desses apontamentos, apresentamos possíveis implicações sobre o aprendizado desses temas da química no Ensino Médio, considerando referenciais contemporâneos que discutem contribuições da história da ciência ao ensino.

Nas próximas seções, iniciamos com considerações sobre o papel dos experimentos na ciência e no ensino para, em seguida, apresentar os resultados da análise dos LD. Listamos os experimentos históricos encontrados nas coleções do PNLD e aprofundamos a análise de dois experimentos que aparecem em todas as coleções.

### **III. Papel dos Experimentos na Construção da Ciência e no Ensino**

A experimentação tem um papel importante na construção das ciências naturais. No senso comum, entretanto, existe uma visão que supervaloriza o experimento como instância de revelação de verdades sobre o funcionamento do mundo, como algo que oferece dados objetivos e independentes de teorias prévias (HODSON, 1988).

Essa visão distorcida é chamada de visão empirista e indutivista. De acordo com ela, toda ciência começa com algum tipo de observação isenta sobre o mundo. Em seguida essas observações passam a ser mediadas por experimentos, que são entendidos pelo indutivista como observações realizadas com controle de variáveis, de modo a evitar interferências no fenômeno. Resultados experimentais repetitivos e previsíveis dariam autorização para a formulação de teorias e para o enunciado de leis científicas, produzidas por raciocínio indutivo (CHALMERS, 1993). Gil-Pérez e colaboradores (2001) alertam que essa visão distorcida muitas vezes afeta professores e os próprios cientistas.

Uma das teses defendidas por Chalmers (1993) em contraponto a essa visão é que alguma teoria sempre precede a observação, pois dirige o olhar dos pesquisadores e orienta a construção dos próprios experimentos. Quando alguém organiza materiais numa montagem experimental, essa pessoa espera detectar algo, e tal expectativa de resultado decorre de uma inclinação teórica. Esse entendimento já aparecia na filosofia de Gastón Bachelard, que descrevia os instrumentos usados em práticas experimentais como uma espécie de encarnação das teorias. De acordo com Lopes (1996, p 260), para Bachelard, “o próprio instrumento é teoria materializada”.

Martins e Buffon (2017) defendem que a retificação de erros é imprescindível na formação do pensamento científico. Estudar a execução de experimentos envolve, por vezes, estudar onde o experimento falhou e quais foram os meios que os cientistas encontraram para contornar essas falhas. Ora, mas dizer que um experimento falhou admite que havia uma expectativa teórica anterior a sua realização. Isso indica, portanto, que o experimento derivou da teoria e não o contrário.

A filosofia da ciência de finais do século XX já não afirma com tanta certeza se as teorias sempre precedem os experimentos. Hacking (1982) aponta que diferentes ciências ao longo do tempo apresentam diferentes relações entre teoria e experimento. Desta forma, atualizando o debate, “podemos dizer que não há uma relação bem definida entre teoria e experimento, no entanto há um consenso de que a Ciência não se constrói sem os dois”. (MOURA, 2014, p. 34)

Enquanto na ciência o experimento tem papel no aperfeiçoamento de teorias, no

ensino ele possui diferentes funções. Segundo Lôbo (2012) a prática experimental é um recurso didático poderoso. Os experimentos podem ser usados pelo professor para “ensinar ciências, ensinar sobre a ciência, e ensinar como fazer ciência” (HODSON, 1988, p. 9).

Jardim e Guerra (2017) apresentam uma revisão bibliográfica tendo em vista o trabalho com experimentos históricos no ensino de física dividido em categorias que contemplam: o estudo de instrumentos; narrativas; diários; reconstrução adaptada de aparatos históricos; e museus de ciências. Segundo os autores,

*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 (JARDIM; GUERRA, 2017, p. 246)*

Esses pesquisadores afirmam, ainda, que o foco dos trabalhos 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 [...]” (JARDIM; GUERRA, 2017, p. 254). Apesar disso, os autores apontam que, na educação, não se costuma atribuir relevância à discussão sobre processos relacionados ao contexto histórico, como os de validação de resultados e modos de publicação.

Existem grupos de pesquisa que trabalham com a recriação de aparatos experimentais com objetivos pedagógicos. O Professor Peter Heering, na Universidade de Oldenburg, Alemanha, realizou um programa de análise da prática experimental na formação de professores. O chamado Método de Replicação utilizado é baseado em três fases: reconstrução do aparato experimental; replicação do experimento original; e contextualização das etapas anteriores. Essa abordagem tem como objetivo compreender como foi a realização do experimento originalmente, quais eram os requisitos e habilidades necessárias e as dificuldades envolvidas na execução do experimento (HEERING, 2009).

Além de familiarizar os alunos/professores com os aspectos históricos do experimento original, o projeto também visava promover a compreensão de pontos chave da natureza da ciência e habilitar os futuros professores a utilizar desses pontos em sala de aula (HEERING, 2009)

Heering e Wittje (2012, p. 152, tradução nossa) afirmam que:

*A história da ciência tradicional foi focada majoritariamente no desenvolvimento de teorias e conferiu pouca atenção à prática experimental. Experimentos serviam principalmente como uma ferramenta para a confirmação de teorias. Ainda assim, mesmo nessas abordagens, encontram-se poucos casos que discutem a forma efetiva pela qual conhecimentos teóricos, bem como os procedimentos de produção de conhecimento, foram comunicados.*

Segundo esses autores, existe uma lacuna na história da ciência tradicional com relação ao estudo da prática experimental. O Método de Replicação se mostrou eficiente em desmembrar o processo de realização de experimentos e alcançou objetivos pedagógicos ao gerar uma compreensão mais profunda de conceitos e do processo de desenvolvimento destes (HEERING, 2009).

Neste trabalho, não propomos a replicação de experimentos históricos, mas um olhar mais atento de professores para eles, e defendemos que um conhecimento histórico sobre os contextos e práticas ligadas a alguns experimentos de interesse, tomados como estudos de caso, pode favorecer uma melhor percepção da ciência em seu caráter integral (Allchin, 2004), com potenciais benefícios pedagógicos para os estudantes e para a sociedade que eles integram.

Observamos nesta proposta uma convergência sobre a noção de que a HC contribui para aprendizagens sobre os processos de construção da ciência. No entanto, corre-se o risco de assumir uma visão de Natureza da Ciência (NdC) como um conjunto estável e bem definido de aspectos, tais como: o caráter provisório do conhecimento científico; sua natureza empírica; a distinção entre observações e inferências; e a caracterização do método científico como um mito. A aceitação dessa lista de aspectos vem sendo referida na literatura contemporânea como visão consensual de NdC (ROZENTALSKI, 2018).

Cabe ressaltar que existem críticas e alternativas a esta visão consensual, tais como a “abordagem por semelhança de família” introduzida por Irzik e Nola (2011) e desenvolvida por Dagher e Erduran (2016), além das propostas de Allchin (2011) e Martins (2015). Remetemos ao trabalho de Rozentaliski (2018) para uma revisão deste debate sobre NdC. Aqui, nossa intenção é apenas destacar o papel e implicações dos experimentos na ciência e no ensino de química.

Na próxima sessão daremos início à análise dos LD do Ensino Médio com relação aos experimentos químicos históricos encontrados.

#### IV. Análise dos Livros Didáticos

O Quadro 2, abaixo, registra as representações de experimentos históricos que encontramos ao escrutinar cada um dos volumes que compõem as coleções de química aprovadas no PNLD 2018.

Quadro 2 – Mapa de localização dos experimentos históricos nas coleções didáticas.

Experimento	Cientista Atribuído	Coleções didáticas					
		A	B	C	D	E	F
Pilha	John Frederic Daniell (1790-1845)	A2 p. 241	B2 p. 225	C2 p. 200	D3 p. 207	E2 p. 137	F2 p. 217
Lâmina de	Ernest Rutherford (1871-1937),	A1	B1	C1	D1	E1	F1

Ouro	Hans Geiger (1882-1945) e Ernest Marsden (1889-1970)	p.149	p. 89	p. 83	p. 163	p. 89	p. 148
Descoberta do Elétron	Joseph J. Thomson (1856-1940) e Jean Perrin (1870-1942)	-	B1 p. 86	C1 p. 80	D1 p. 159	E1 p. 88	F1 p. 142
Torre de Pressão	Evangelista Torricelli (1608-1647)	A1 p. 24	B1 p. 260	C1 p. 168	D1 p. 109	E1 p. 236	-
Pilha	Alessandro Volta (1745-1827)	A1 p. 137	B2 p. 221	C2 p. 199	D3 p. 205	E2 p.114, 136	-
Ampola de Crookes	William Crookes (1832-1919)	A1 p. 138	B1 p. 86	C1 p. 79- 80	-	E1 p. 87 E3 p. 159	-
Eletricidade animal	Luigi Galvani (1737-1798)	A1 p. 137	B2 p. 220	-	D3 p. 203	E2 p. 114	-
Radiações Emitidas	Ernest Rutherford, George B. Kaufmann (1888-1949) e Frederick Soddy (1877-1956)	A1 p. 145	B1 p. 88 B3 p. 15	-	-	E3 p. 161	-
Sais de Urânio	Antoine-Henri Becquerel (1852-1908)	-	-	-	-	E3 p. 160	F1 p. 143
Obtenção de Oxigênio	Joseph Priestley (1733-1804)	-	B1 p. 38	C1 p. 185	-	-	-
Conservação de Massas	Antoine Lavoisier (1743-1794)	A1 p. 84	-	-	-	E1 p. 26	-
Pilha	Georges Lechanché (1839-1882)	A2 p. 250	-	-	D3 p. 217	-	-
Terra primitiva	Stanley Miller (1930-2007) e Harold Urey (1893-1981)	A3 p. 248	-	-	-	E3 p. 244	-
Calorímetro	Antoine Lavoisier e Pierre-Simon Laplace (1749-1827)	-	-	C2 p. 55	-	-	-
Obtenção de Oxigênio	Antoine Lavoisier	-	B1 p. 38	-	-	-	-
Combustão em recipiente fechado	Antoine Lavoisier	A1 p. 85	-	-	-	-	-
Lâmpada	Thomas Edson (1847-1931)	-	B2 p. 273	-	-	-	-
Eletrólise	Humphry Davy (1778-1829)	-	B2 p. 267	-	-	-	-
Descoberta dos Prótons	Eugen Goldstein (1850-1930)	A1 p. 139	-	-	-	-	-
Espectroscópio	Joseph von Fraunhofer	A1	-	-	-	-	-

	(1787-1826)	p. 156					
Obtenção de Alumínio	Charles Hall (1863-1914) e Paul Heroult (1863-1914)	-	-	-	-	E2 p.152-153	-
Gota de Óleo	Robert Millikan (1868-1953)	-	B2 p. 274	-	-	-	-
Síntese do Polietileno	Reginald Gibson (1902-1983) e Eric Fawcett (1908-1987)	-	-	-	-	E3 p. 55	-
Empinando pipa na tempestade	Benjamin Franklin (1706-1790)	A1 p. 137	-	-	-	-	-

Fonte: Os autores.

Encontramos um total de 24 experimentos que se encaixaram nos critérios apresentados na metodologia. Destes, apenas dois aparecem em todas as coleções.

O cientista citado mais vezes foi o francês Antoine Lavoisier, com quatro experimentos diferentes, um deles em conjunto com seu compatriota Pierre-Simon Laplace. Segundo Vidal, Cheloni e Porto (2007), os LD, em sua totalidade, associam Lavoisier à noção de conservação de massas nas transformações químicas, mas são poucos os que avançam além dessa contribuição do filósofo. Lavoisier ainda é muitas vezes apresentado como “o pai da química” (VIDAL; CHELONI; PORTO, 2007), como verificamos, por exemplo, no volume A1 (p. 82), no qual se afirma que “O cientista considerado o ‘pai’ da Química moderna no Ocidente é Lavoisier, que fez vários experimentos com reações químicas [...]”.

Ainda que esse tipo de referência seja inadequado segundo a historiografia moderna da ciência, essa associação de senso comum pode ajudar a entender a presença constante de Lavoisier nos livros de química do Ensino Médio.

Outro cientista com mais de um experimento representado foi o neozelandês Ernest Rutherford. Todas as coleções descrevem o experimento da lâmina de ouro, que teria contribuído para a elaboração de seu modelo atômico. Além deste, os volumes A1, B1, B3 e E3 também apresentam um experimento em que Rutherford insere um material radioativo num bloco de chumbo com um pequeno orifício e direciona suas emissões entre duas placas, sendo uma carregada positivamente e a outra negativamente. Nesse teste, o pesquisador observaria desvios quando os feixes de emissões radioativas colidem com um anteparo fluorescente, o que teria contribuído para a caracterização das radiações alfa e beta.

Os experimentos envolvendo eletroquímica também merecem destaque, uma vez que correspondem a oito do total de 24 experimentos históricos encontrados. Essa área da química tem grande importância no currículo do Ensino Médio e se aplica em muitos processos e materiais do cotidiano (BRAGA, 2019). Segundo pesquisa realizada por Marcondes e colaboradores (2017), um terço dos professores justificam o ensino de eletroquímica pela obrigatoriedade no currículo escolar, mas cerca de 76% apontam a relação do tema com

questões cotidianas. Como veremos ao analisar o caso da pilha de Daniell, adiante, é curioso observar que as representações desse dispositivo nos LD distorcem o original de tal modo que não se percebe semelhança entre a pilha de Daniell e uma pilha comum, amplamente presente no cotidiano dos estudantes.

Destacamos a coleção B como a que apresenta o maior número de experimentos históricos, com o total de treze distribuídos em seus três volumes. Já a coleção F traz o menor número de experimentos, totalizando quatro.

## V. A Pilha de Daniell

A chamada Pilha de Daniell figura em todas as coleções analisadas. Por fazer parte do conteúdo de eletroquímica, muito valorizado no currículo da Educação Básica, essa representação de um sistema gerador de eletricidade a partir de reações químicas parece ter um papel fundamental na explicação de conceitos considerados importantes, como reações de oxirredução.

Em quatro das seis coleções (B, C, E e F), a montagem é ilustrada com dois recipientes, um contendo uma solução de sulfato de cobre e uma placa de cobre metálico, outro contendo uma solução de sulfato de zinco e uma placa de zinco metálico. As placas são conectadas por fios condutores a um dispositivo elétrico que evidencia a passagem de corrente. Já as soluções são ligadas por uma ponte salina, normalmente contendo solução de cloreto de potássio, para permitir o transporte de íons entre as soluções. Os esquemas apresentados nessas quatro coleções podem ser vistos na montagem a seguir (Fig. 1).

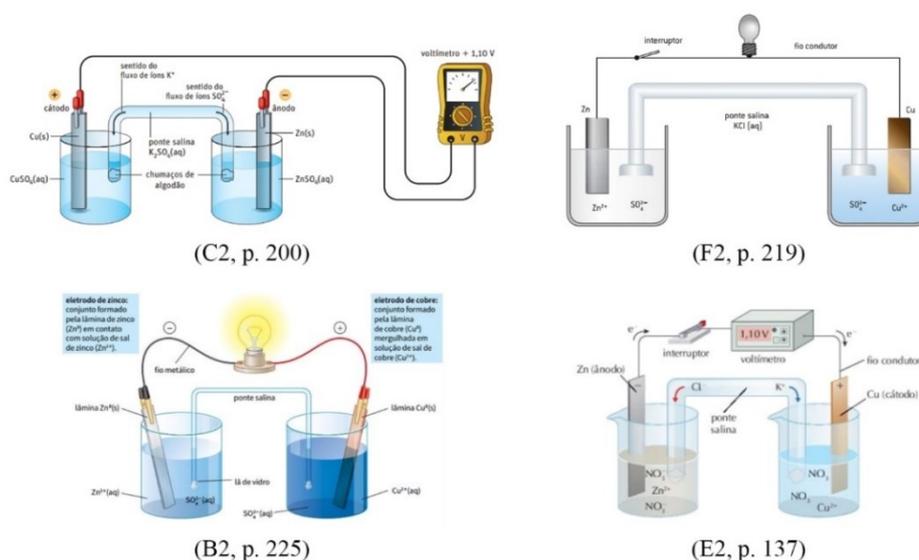


Fig. 1 – Esquemas atribuídos à pilha de Daniell.

Fonte: Montagem dos autores a partir de ilustrações das coleções B, C, E e F.

A coleção F também traz uma representação esquemática que não inclui um aparelho ligado ao fio metálico. Essa ausência representa um erro conceitual expresso na coleção, pois

coloca o sistema em curto-circuito, o que o inutilizaria como pilha (Fig. 2).

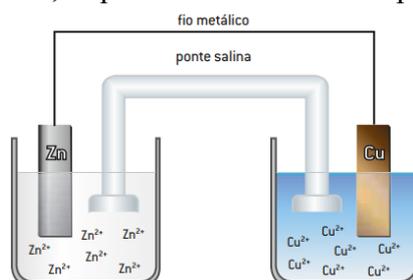


Fig. 2 – Esquema atribuído à pilha de Daniell. Fonte: F2, p. 217.

Uma terceira representação desta mesma coleção mostra a fotografia do que seria uma pilha de Daniell (

Fig. 3). Nesta, os eletrodos não estão em recipientes diferentes, mas num mesmo béquer, separados por um recipiente cilíndrico branco não identificado pelo livro. Como veremos à frente, esta representação é mais semelhante ao dispositivo original construído no século XIX.

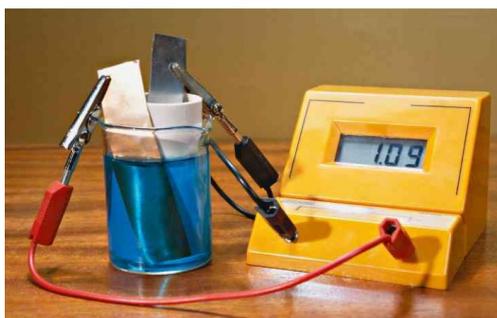


Fig. 3 – Fotografia da montagem de uma Pilha de Daniell. Fonte: F2, p. 217.

Na coleção A, a descrição do funcionamento da Pilha é semelhante às primeiras descrições que ilustramos nesta seção. Entretanto, uma diferença importante é que o esquema contendo os dois recipientes e a ponte salina não é atribuído diretamente a Daniell (Fig. 5). Na página anterior a essa ilustração, o livro descreve o funcionamento dos dois eletrodos separadamente, e também os ilustra separadamente (Fig. 4).

A coleção D, além de não atribuir o esquema com ponte salina e eletrodos independentes a Daniell, traz uma representação de como era a pilha construída originalmente (Fig. 6). A imagem, entretanto, não vem acompanhada de nenhuma explicação que elucide seu funcionamento ou que identifique seus componentes.

Outra informação importante abordada neste volume é que a ponte salina “pode ser substituída por uma membrana porosa permeável a íons” (D3, p. 207).

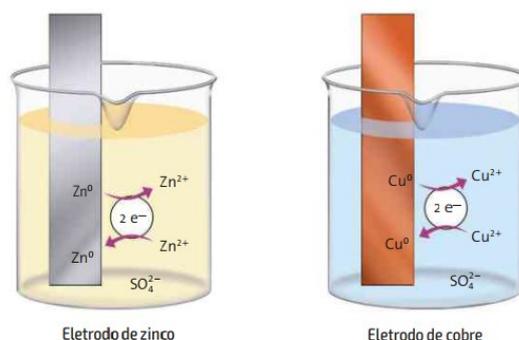


Fig. 4 – Eletrodos de zinco e de cobre. Fonte: Montagem dos autores a partir de A2, p. 241.

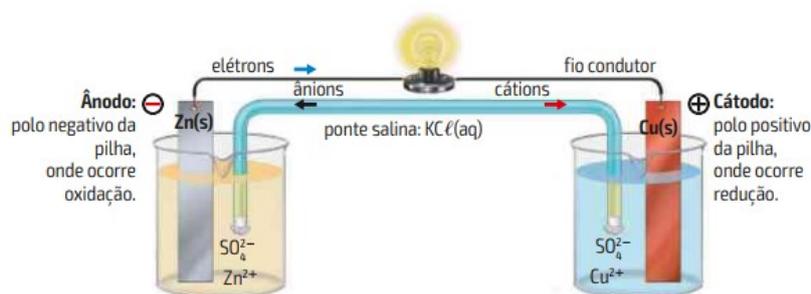


Fig. 5 – Esquema de uma pilha com eletrodos de zinco e cobre. Fonte: A2, p. 242.

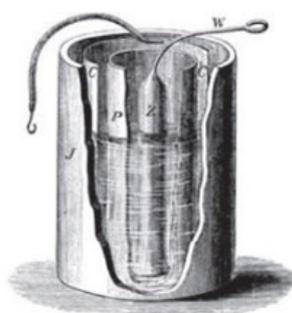


Fig. 6 – Gravura de uma pilha construída por Daniell. Fonte: D3, p. 207.

Além da fotografia apresentada na coleção F (

Fig. 3), essa é a única menção que encontramos à possibilidade de existência de uma membrana porosa ou da pilha de Daniell possuir um formato diferente do apresentado com dois copos separados. Apesar disso, não observamos maior preocupação dos autores da coleção em explicar as diferenças e semelhanças entre a construção original e os esquemas de célula eletroquímica apresentados em seguida, também usados para explicar o funcionamento dos eletrodos.

Conforme Costa e Porto (2021) constataram sobre esse caso, existem diferenças evidentes entre os modelos apresentados em LD e o dispositivo original, confeccionado por

John Frederic Daniell na década de 1830.

O trabalho de Daniell na construção e aperfeiçoamento da pilha foi descrito por ele numa série de cartas enviadas a Michael Faraday (1791-1867) entre os anos de 1836 e 1839 (COSTA; PORTO, 2021). As cartas eram intituladas “Sobre as combinações Voltaicas” e foram publicadas na forma de artigos na revista *Philosophical Transactions*, da *Royal Society*. Daniell também publicou o livro “Uma Introdução ao Estudo da Filosofia Química”, sendo a primeira edição do ano de 1839 e a segunda de 1843.

O aparato original de Daniell era formado por uma haste de zinco amalgamado no centro, dentro de um recipiente cilíndrico poroso contendo uma solução diluída de ácido sulfúrico. Esse recipiente ficava dentro de um segundo cilindro, feito de cobre e contendo uma solução saturada de sulfato de cobre. Esse cilindro maior abrigava, ainda, um recipiente perfurado contendo sulfato de cobre sólido, cujo objetivo era manter a solução constantemente saturada (COSTA, 2021). A Fig. 7, abaixo, foi extraída de uma comunicação original do autor.

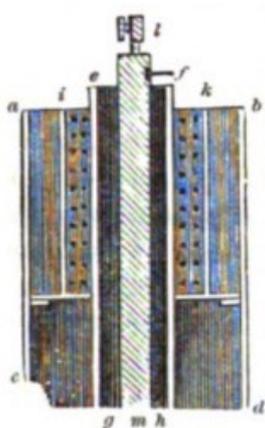


Fig. 7 – Corte esquemático da pilha de Daniell. Fonte: Daniell (1843, p. 505).

O objetivo de Daniell era superar limitações da pilha de Volta, conhecida na época, criando uma bateria que permitisse a obtenção de uma corrente contínua e duradoura, e que tivesse uso prático, além de substituir o uso de substâncias corrosivas como o ácido sulfúrico concentrado e o ácido nítrico.

O dispositivo original criado pelo químico passou por uma série de testes e modificações até chegar a sua versão final com alta aplicabilidade. Daniell realizou testes com pares de eletrodos diferentes, como de zinco e prata e de zinco e platina, antes de optar pelos eletrodos de zinco e cobre (DANIELL, 1836), que ficaram convencionados nos LD. Suas experiências sobre a corrente em altas temperaturas também acarretaram mudanças estruturais nas células.

A forma como a maioria dos LD apresenta o experimento deturpa uma das preocupações mais fundamentais de Daniell e que remete ao aspecto da utilidade: a pilha em dois copos não é útil além de trabalhos em laboratório e sua montagem dificulta a associação em série, como a pilha original normalmente era utilizada (Fig. 8). Há registros de que era

possível a associação de até 70 células da pilha histórica (COSTA, 2021).

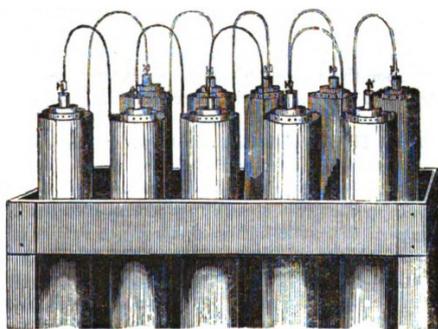


Fig. 8 – Associação de 10 células (pilhas) em série. Fonte: Daniell (1843, p. 505).

A principal utilização do dispositivo criado por Daniell foi no abastecimento de telégrafos elétricos. A demanda desse aparelho de comunicação no século XIX era considerável e, até então, não havia uma fonte de corrente constante adequada para seu funcionamento. A pilha de Daniell permitiu o desenvolvimento em grande escala de redes telegráficas pela Europa, Estados Unidos, África e Ásia (COSTA, 2021).

Curiosamente, a pilha original de Daniell também é mais parecida com as pilhas utilizadas no cotidiano atualmente do que o modelo didático apresentado pelos livros. Ausubel, em sua teoria da aprendizagem significativa, aponta a importância de utilizar subsunçores, ou seja, conhecimentos prévios que o aluno já possua, a fim de que ele compreenda melhor um novo conteúdo (DISTLER, 2015). As pilhas fazem parte do dia-a-dia de todos os estudantes, porém as pilhas apresentadas nos LD de química não oferecem a possibilidade de relação devido a suas diferenças visuais significativas.

Aproveitando esse potencial didático, Santos (2016) propõe a desmontagem de pilhas alcalinas (Fig. 9), num experimento de caráter investigativo, como estratégia para promover uma relação do conteúdo estudado em sala com questões do cotidiano dos alunos. O autor ressalta como esse experimento pode ser significativo para o conhecimento dos alunos a respeito dos componentes da pilha.

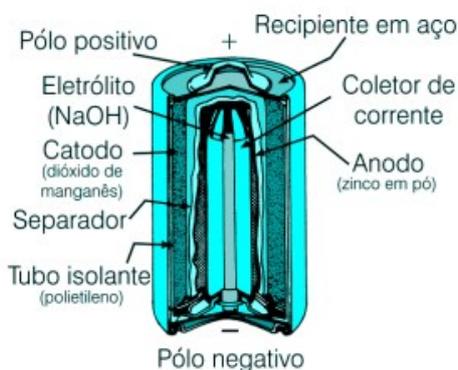


Fig. 9 – Desenho esquemático de uma pilha alcalina  $MnO_2/Zn$ . Fonte: Bocchi et al. (2000, p. 6).

A ponte salina, apresentada como peça essencial para o funcionamento da pilha dos LD, simplesmente não existia no dispositivo original. Daniell utilizou inicialmente tecido de esôfago de boi para separar as soluções dos eletrodos, mas conforme realizou testes, viu que esse material não suportava altas temperaturas e o substituiu por uma louça de barro porosa (COSTA, 2021). Segundo Velleca e colaboradores (2002), o ensino da pilha com a ponte salina pode provocar nos alunos a concepção alternativa de que os elétrons fluem através da solução iônica da ponte. Rocha (2018) também afirma que essa concepção equivocada ocorre não apenas em alunos da Educação Básica, mas também do Ensino Superior.

A separação dos eletrodos em recipientes distintos também pode contribuir para a concepção alternativa de que os processos de oxidação e redução podem ocorrer de maneira independente um do outro. Numa pesquisa realizada por Rodrigues e Gibin (2020) com 23 alunos de diferentes anos do Ensino Médio, três dos seis grupos de alunos participantes apresentaram em suas respostas os processos de oxidação acontecendo sem o processo de redução ou vice-versa, o que é um grave erro conceitual.

Em concordância com o pressuposto de que a história da ciência pode melhorar a aprendizagem dos conteúdos científicos, observamos que o conhecimento a respeito da montagem original de Pilha da Daniell traz uma série de vantagens. A primeira a ser destacada é a oportunidade de contextualização histórica e social desse advento.

Como já citado, Daniell possuía a preocupação de sanar demandas da época no quesito geração de corrente constante. Essa, dentre outras motivações, levou à criação e ao aprimoramento do dispositivo que se tornou parte integral do desenvolvimento da sociedade da época.

Outra vantagem importante é facilitar a percepção das semelhanças entre a pilha de Daniell, tão presente nas aulas de eletroquímica, e as pilhas alcalinas presentes no cotidiano dos alunos. A aproximação dos conteúdos teóricos de aula com a vivência dos estudantes em outros ambientes é um elemento essencial para favorecer que o aluno estabeleça vínculos entre o seu conhecimento geral e o conhecimento científico, conferindo maior significado ao que aprende.

Na próxima sessão, observaremos parte do trabalho experimental conduzido pela equipe do laboratório de Ernest Rutherford e como seu entendimento traz outras vantagens ao ensino da química.

## **VI. A Lâmina de Ouro de Rutherford**

Uma série de experimentos realizados na Universidade de Manchester, na Inglaterra, entre 1908 e 1913, contribuíram para a construção do modelo atômico de Rutherford. Um destes ficou conhecido como experimento da lâmina de ouro, e recebe representações em todas as coleções didáticas analisadas. Os diferentes modelos atômicos são um tema constante no estudo da estrutura da matéria para o Ensino Médio e são encontrados no primeiro volume de todas as coleções.

A coleção A apresenta um esquema atribuído a Rutherford e ao ano de 1911, no qual uma amostra de polônio radioativo é colocada dentro de uma caixa de chumbo com um pequeno orifício, da qual saem partículas alfa. Essas partículas se direcionam a folhas de chumbo que também possuem pequenos orifícios centrais e, em seguida, as partículas se chocam com uma folha de ouro. Logo à frente desta folha existe um anteparo móvel recoberto com sulfeto de zinco, que brilharia nas regiões em que as partículas colidem (Fig. 10).

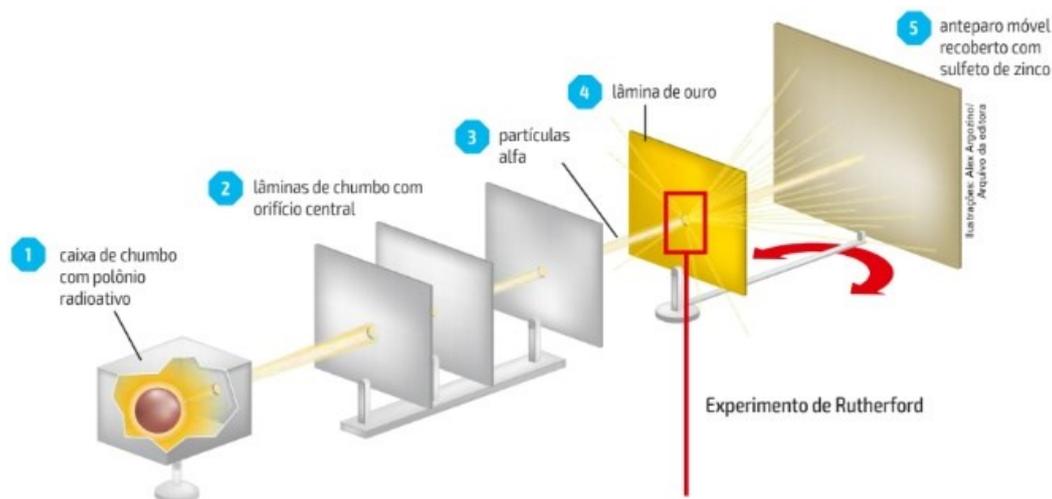


Fig. 10 – Esquema do experimento da folha de ouro na coleção A. Fonte: A1, p. 149.

A coleção B apresenta um esquema semelhante (Fig. 11), que teria sido realizado por Rutherford e colaboradores. Entretanto, a folha de ouro nessa representação aparece rodeada pelo anteparo fluorescente, que agora tem o formato da letra C. O texto dessa coleção não deixa claro qual material radioativo foi utilizado e neste só existe uma placa de chumbo com orifício, diferente do esquema anterior, que possuía três.

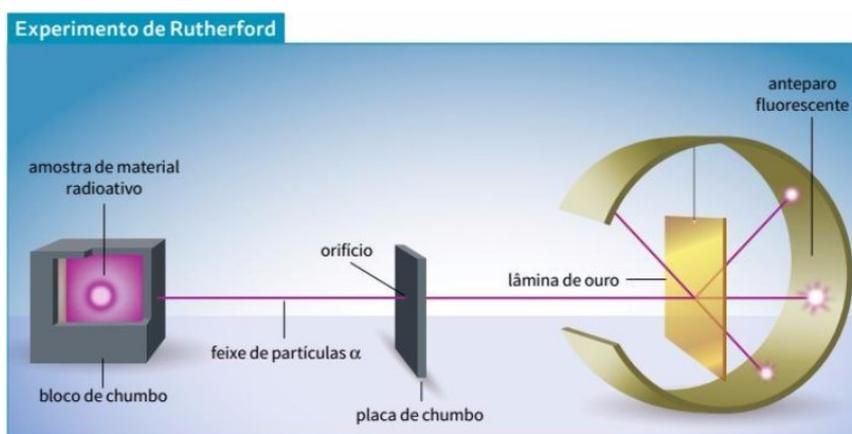


Fig. 11 – Esquema do experimento da folha de ouro na coleção B. Fonte: B1, p. 89.

As representações das coleções C, D e F são semelhantes à anterior, porém nelas não existem folhas de chumbo entre a fonte de partículas alfa e a lâmina de ouro (Fig. 12).

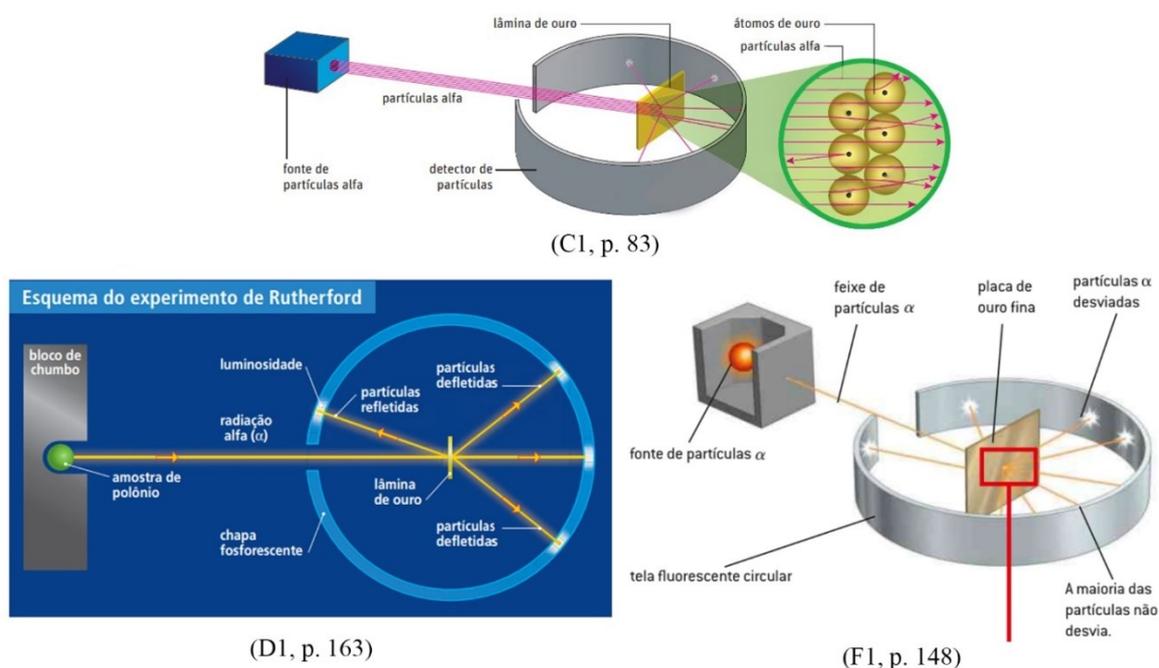


Fig. 12 – Esquemas do experimento da folha de ouro. Fonte: Montagem dos autores a partir de ilustrações das coleções C, D e F.

Hans Geiger e Ernest Marsden são citados pelas coleções C e F, respectivamente, como colaboradores e como estudantes que teriam trabalhado com Rutherford no período em que foram realizados os experimentos.

Pelas imagens e descrições, verificamos que todos os autores parecem se referir a um mesmo experimento, que teria sido realizado por Rutherford ou outros integrantes do grupo de pesquisa que ele coordenava na Universidade de Manchester. No entanto, como vimos, a coleção A vincula este evento ao ano de 1911, enquanto nas coleções D, E e F, o ano atribuído à realização do experimento é 1909.

A coleção E também atribui créditos a Geiger e Marsden, apresentados como alunos de Rutherford, e ilustra uma montagem experimental diferente das demais (Fig. 13). Nesta, a caixa de chumbo contendo o material radioativo (amostra de rádio) e a folha de ouro estão, de alguma forma, posicionadas dentro de uma “chapa fotográfica” circular. Essa representação inclui um microscópio acoplado à tal chapa fotográfica, por meio do qual seria possível observar as partículas que se espalham ao colidirem com a folha de ouro. Essa coleção é a única a informar que o experimento era conduzido sob vácuo.

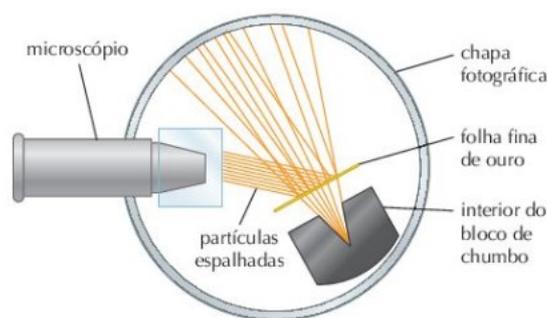


Fig. 13 – Esquema do experimento da folha de ouro na coleção E. Fonte: E1, p. 89.

Considerando as representações encontradas nas coleções didáticas, nos parece importante destacar que as partículas alfa não são visíveis a olho nu. Isso implica que, no experimento, a única forma de detectá-las é por meio das cintilações que produzem ao colidir com algum anteparo detector. Das seis coleções analisadas, apenas uma (coleção B) chama a atenção do leitor para este fato, e como podemos observar nas ilustrações, as trajetórias das partículas são claramente explicitadas com linhas coloridas, misturando elementos visíveis (os aparelhos) e invisíveis (as partículas e suas trajetórias) nas representações.

Johannes Wilhelm Geiger foi um físico nascido em *Neustadt an der Weinstrasse*, na Alemanha. Ele se graduou na Universidade de Munique e estudou relações entre matéria e energia. Após receber seu doutorado, em 1906, passou a integrar a equipe do laboratório de Rutherford em Manchester, onde realizou estudos com as partículas alfa (DIAS, 2019). Geiger representava, portanto, uma espécie de pesquisador associado ao laboratório, que não tinha o status de Professor na Universidade, mas que também não era, propriamente, um aluno sob a supervisão de Rutherford.

Já Ernest Marsden nasceu em Rishton, cerca de 40 Km ao norte de Manchester, no Reino Unido. Em 1906, entrou para Universidade de Manchester, sendo fortemente influenciado pelas pesquisas de Rutherford sobre radioatividade. Nos anos seguintes, teve Hans Geiger como orientador mais direto, e juntos foram responsáveis pela realização de experimentos sobre reflexão de partículas alfa (LISENKO, 2019).

A reconstrução histórica deste episódio não é trivial e a primeira reflexão que nos parece relevante é que não se pode atribuir a proposição do modelo atômico de Rutherford à simples interpretação dos resultados de um único experimento. A seguir, apresentaremos quatro experimentos realizados e descritos por Geiger, dois deles com a participação de Marsden, que contribuíram no processo da formulação da teoria atômica de Rutherford.

Pesquisando pelas palavras-chave “ $\alpha$ -particles”, “Geiger” e “Rutherford” no banco de dados da *Royal Society* de Londres, o primeiro registro encontrado de um experimento semelhante aos apresentados nos LD foi publicado em 1908 (chamaremos de Experimento I), numa comunicação de Hans Geiger que descrevia a montagem ilustrada na Fig. 14.

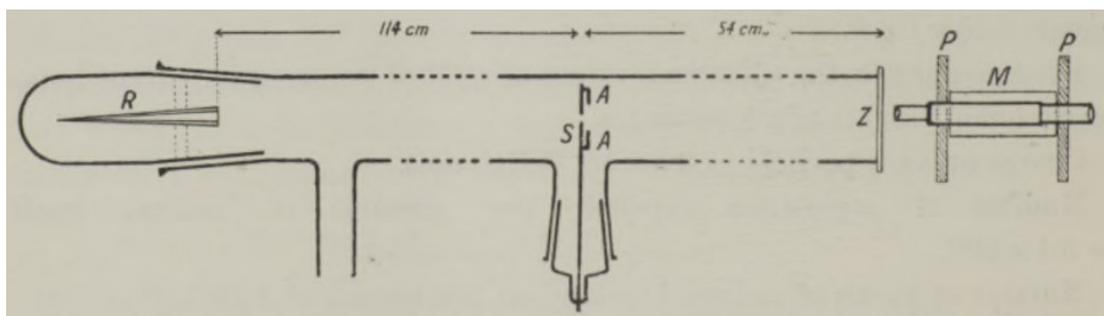


Fig. 14 – Experimento I. Fonte: Geiger (1908, p. 174).

O equipamento consistia num tubo de vidro de aproximadamente 2 metros de comprimento e 4 centímetros de diâmetro. Numa das pontas do tubo foi posicionada uma fonte com material radioativo R (empregava-se o sal brometo de rádio,  $\text{RaBr}_2$ ), que emanava partículas alfa. Seguindo pelo interior do tubo, as partículas que passavam por uma pequena abertura S colidiam com uma tela fosforescente Z no final do tubo. As cintilações provocadas pelas colisões eram observadas pelo microscópio M (GEIGER, 1908). Quando o sistema estava sob vácuo e folhas metálicas como ouro ou alumínio eram inseridas no suporte AA, Geiger registrou que era possível observar que o número de cintilações era grande na direção do centro do feixe de partículas, e diminuía conforme o microscópio era movido para as extremidades.

Dois anos depois, em 1910, Geiger publicou um novo artigo apresentando uma versão modificada desse experimento (chamaremos este de Experimento III) como mostra a

Fig. 15. Neste, o material radioativo (cerca de 50 mg de  $\text{RaBr}_2$ ) era colocado em K e empurrado por uma coluna de mercúrio até passar pelo bulbo B, preenchendo um tubo cônico A, cuja extremidade media aproximadamente 2mm de diâmetro. Esse refinamento na forma de preencher o tubo A com o material radioativo visava homogeneizar a amostra e evitar a presença de ar no tubo. As partículas alfa, então, passavam pela pequena abertura D e provocavam cintilações na tela de sulfeto de zinco S. As folhas metálicas poderiam ser inseridas tanto em D, logo após a abertura, quanto em E, a aproximadamente 13 cm de distância da tela S. As cintilações na tela eram observadas por um microscópio que podia ser movido verticalmente a fim de observar as cintilações em variados pontos da tela S (GEIGER, 1910).

Nesse experimento, Geiger utilizou folhas de ouro com diferentes espessuras, sendo a mais fina de 0,038 cm e a mais grossa de 0,108 cm. Ele afirmou que:

*Ouro parecia ser a substância mais adequada para tais medidas comparativas, uma vez que pode ser obtido em folhas muito finas e uniformes e, além disso, seu poder de espalhamento é maior do que qualquer outro material disponível (Geiger, 1910, p. 497, tradução nossa).*

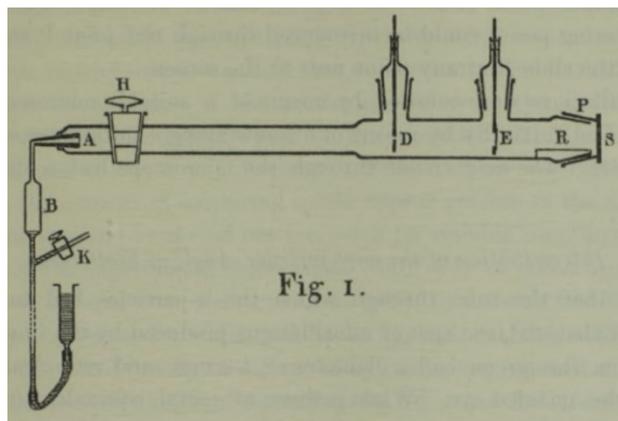


Fig. 15 – Experimento III. Fonte: Geiger (1910, p. 493).

Essa conclusão sobre as qualidades das lâminas de ouro partiu de um experimento anterior, de 1909 (que chamaremos de Experimento II, pela cronologia), conduzido por Geiger e Marsden, que era ainda um estudante de graduação integrando a equipe do laboratório. Este experimento consistia num tubo cônico AB contendo  $\text{RaBr}_2$  e um gás sob baixa pressão. As partículas eram emitidas na direção da folha refletora R e as cintilações eram vistas na tela de sulfeto de zinco S por meio do microscópio M. A placa de chumbo P servia para garantir que as partículas alfa não atingiriam a folha de sulfeto de zinco, a menos que fossem refletidas pela folha R (GEIGER; MARSDEN, 1909).

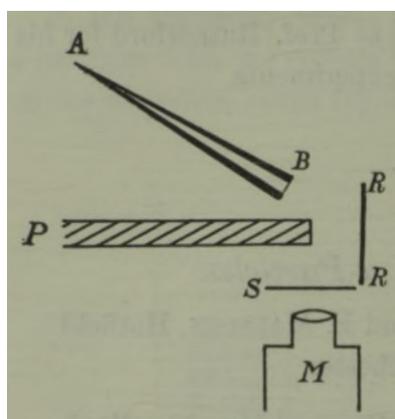


Fig. 16 – Experimento II. Fonte: Geiger e Marsden (1909, p. 496).

O experimento foi realizado com folhas metálicas de diferentes materiais e os resultados podem ser vistos no Quadro 3, sendo o ouro o material que registrou mais cintilações por minuto.

Quadro 3 – Resultados obtidos por Geiger e Marsden no Experimento II.

<i>1. Metal</i>	<i>2. Peso atômico, A</i>	<i>3. Número de cintilações por minuto, Z</i>	<i>4. A/Z</i>
<i>Chumbo</i>	<i>207</i>	<i>62</i>	<i>30</i>
<i>Ouro</i>	<i>197</i>	<i>67</i>	<i>34</i>
<i>Platina</i>	<i>195</i>	<i>63</i>	<i>33</i>
<i>Estanho</i>	<i>119</i>	<i>34</i>	<i>28</i>
<i>Prata</i>	<i>108</i>	<i>27</i>	<i>25</i>
<i>Cobre</i>	<i>64</i>	<i>14,5</i>	<i>23</i>
<i>Ferro</i>	<i>56</i>	<i>10,2</i>	<i>18,5</i>
<i>Alumínio</i>	<i>27</i>	<i>3,4</i>	<i>12,5</i>

Fonte: Geiger e Marsden (1909, p. 497, tradução nossa)<sup>3</sup>.

Outro experimento (Experimento IV), mais parecido com o apresentado nos LD, é descrito numa publicação de Geiger e Marsden datada de 1913, e tinha como objetivo verificar os ângulos de deflexão das partículas alfa já identificados nos experimentos anteriores e considerados por Rutherford em sua publicação de 1911, na qual ele elucida sua teoria atômica (MELZER, 2012). Chamamos aqui a atenção para essas datas. A proposição do modelo atômico de Rutherford se deu, formalmente, em abril de 1911, no artigo intitulado “O espalhamento de partículas  $\alpha$  e  $\beta$  pela matéria e a estrutura do átomo” (RUTHERFORD, 1911). Isso ocorreu antes, portanto, da publicação dos dados relativos ao experimento histórico que mais se assemelha ao mostrado pelos LD de química.

O equipamento empregado está esquematizado na Fig. 17 e possui os seguintes componentes:

- F: Folha metálica (de ouro)
- R: Bloco de chumbo com material radioativo
- M: Microscópio
- S: Folha de sulfeto de zinco acoplada ao microscópio
- D: Diafragma utilizado para colimar as partículas alfa
- A: Plataforma móvel
- B: Caixa cilíndrica
- C: Junta cônica, responsável pela rotação da plataforma A
- P: Placa de vidro que tampa a caixa B

<sup>3</sup> Julgamos curioso observar que os valores indicados na coluna 4 do Quadro não correspondem ao cálculo de  $A/Z$ . No texto do artigo original, os autores afirmam que a coluna 4 indicaria a razão [*ratio*] do número de cintilações ( $Z$ ) em função do peso atômico ( $A$ ) (GEIGER; MARS DEN, 1909, p. 497). A fórmula correta seria, portanto,  $Z/A$ . Acreditamos tratar-se de um erro tipográfico perpetuado no documento original.

T: Tubo fixador do conjunto RDF

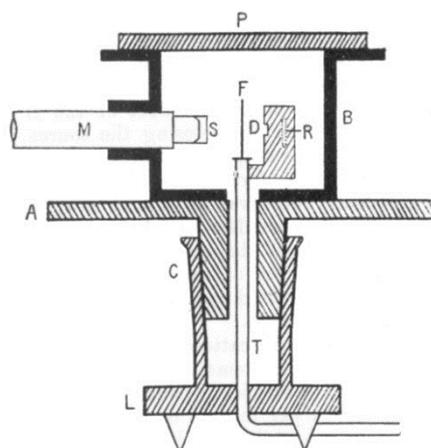


Fig. 17 – Experimento IV. Fonte: Geiger e Marsden (1913. p. 4).

Neste experimento, que visava medir a deflexão de partículas alfa, o material radioativo utilizado por Geiger e Marsden eram sais de rádio. O conjunto contendo o bloco de chumbo R, o diafragma D e a folha metálica F era fixo, enquanto os demais componentes da estrutura podiam ser rotacionados no plano da mesa, de forma que o microscópio pudesse ser posicionado em diferentes ângulos em relação à folha F. Todo o sistema dentro da caixa B estava sob vácuo a fim de minimizar influências externas à propagação das partículas.

Para a realização deste experimento (e dos anteriores) e coleta de dados, a equipe precisava de um ambiente escuro que permitisse observar as cintilações provocadas pelo choque das partículas com a folha de sulfeto de zinco acoplada à lente objetiva do microscópio. Era necessário contar, visualmente, o número de cintilações registradas em frente à lente do microscópio num dado intervalo de tempo, variando-se o ângulo do observador em relação à folha metálica, que era fixa, e fazendo novas medidas a cada inclinação.

Considerando esse pormenor operacional dos experimentos, salientamos que a trajetória das partículas alfa não é representada por linhas em nenhuma das ilustrações presentes nas comunicações de Geiger e Marsden. Esse detalhe sugere que as representações dos LD atuais diminuem a dimensão interpretativa dos resultados dos experimentos, associando a eles uma correspondência objetiva com a realidade dos fenômenos estudados (SOUZA, 2012). Esse ato remete a leituras distorcidas sobre a ciência e sua história já denunciadas por vários autores (ALLCHIN, 2004; GIL-PEREZ *et al.*, 2001; MATTHEWS, 1995).

Geiger e Marsden fizeram testes com folhas de metais variados, e constataram que as folhas de prata e de ouro geravam melhores resultados de deflexão (GEIGER; MARSDEN, 1913).

Segundo Marques e Caluzi (2003), o relato do surgimento do modelo atômico de Rutherford é importante, mas os LD apresentam graves erros ao descrever esses

experimentos. Estes autores também afirmam que os livros têm dificuldade em relacionar os experimentos com a teoria atômica.

Julgamos importante ressaltar que os LD não deixam claro a qual dos experimentos conduzidos no laboratório de Rutherford estão se referindo. As coleções D, E e F datam o experimento de 1909. O experimento publicado nesse ano é o experimento II (Fig. 16), conduzido por Geiger e Marsden, que possui uma montagem bastante diferente do esquema apresentado nos livros. Já as coleções A e B afirmam que o experimento em questão foi realizado em 1911. Contudo, este foi o ano da comunicação de Rutherford na qual ele apresenta um modelo matemático teórico de como as partículas alfa deveriam se comportar, junto a uma interpretação para os resultados dos experimentos anteriores, o que serviu de base para a elaboração de sua teoria atômica (RUTHERFORD, 1911).

No Quadro 4 comparamos informações sobre o experimento apresentadas nas coleções.

Quadro 4 – Elementos comparativos entre os experimentos dos LD.

<b>Coleção</b>	<b>Ano do experimento</b>	<b>Cientista Responsável</b>	<b>Material Radioativo</b>	<b>Colimador de chumbo</b>	<b>Detector das Partículas</b>
A	1911	Rutherford e colaboradores	Polônio	3 placas	Anteparo retangular móvel
B	1911	Rutherford e colaboradores	Não informado	1 placa	Anteparo circular
C	Não informado	Rutherford, Geiger e Marsden	Não informado	Não consta	Detector de partículas circular
D	1909	Geiger e Marsden	Polônio	Não consta	Chapa fluorescente circular
E	1909	Rutherford, Geiger e Marsden	Rádio	Não consta	Chapa fotográfica circular + microscópio
F	1909	Geiger e Marsden	Não informado	Não consta	Tela fluorescente circular

Fonte: Os autores.

Diferente do que encontramos representado nas coleções B, C, D, E e F, a chapa circular descrita como tendo objetivo de registrar as cintilações do choque das partículas simplesmente não existia nesse formato nos experimentos originais. A tela de sulfeto de zinco possuía uma posição fixa nos experimentos I, II e III, e o microscópio utilizado para observar essas cintilações é que era móvel.

A coleção E parece apresentar um esquema semelhante ao experimento IV, com um

microscópio acoplado a uma caixa circular. No entanto, os autores da coleção identificam uma “chapa fotográfica” circundando o sistema emissor de partículas e a folha de ouro (Fig. 13), quando originalmente o anteparo detector existia apenas na lente objetiva do microscópio.

Essa versão retratada em E1 deixa muitas dúvidas sobre a montagem e sobre os próprios fenômenos envolvidos, pois além de não explicar a função da tal chapa fotográfica, também sugere que seria possível ao pesquisador observar diretamente o espalhamento das partículas alfa por meio do microscópio.

A placa de chumbo com uma abertura utilizada para colimar as partículas alfa aparece apenas nas coleções A e B. Este item aparece com essa função em todos os experimentos históricos originais, com exceção do experimento III, no qual a placa de chumbo tem a função explícita de impedir que as partículas atinjam diretamente a folha de sulfeto de zinco.

Também não há consenso nos livros a respeito da composição do material radioativo utilizado na emissão das partículas. As coleções A e D afirmam que o material era polônio, mas como vimos, Geiger e Marsden usavam sais de rádio em seus experimentos, como apontado pela coleção E.

A falta de fidelidade histórica na apresentação desses experimentos reforça algumas visões distorcidas da ciência, como apontam Gil-Pérez e colaboradores (2001). Uma delas é a visão individualista e elitista, que retrata cientistas como gênios isolados, que trabalham sozinhos. Os quatro experimentos abordados foram conduzidos por Hans Geiger, que já era doutor à época, e dois destes contaram com a atuação de Ernest Marsden, estudante de graduação. Rutherford era o responsável pelo laboratório, mas não pela realização dos experimentos. A ele se atribui a interpretação dos resultados que, incorporados a todo um histórico de pesquisas e considerações teóricas, fundamentou a proposição de um novo modelo atômico (RUTHERFORD, 1911). Apesar disso, as coleções A e B não citam os nomes de Geiger e Marsden, e apenas as coleções D e F apontam que os experimentos foram conduzidos pela dupla.

Este ponto remete à importante discussão sobre a colaboração e o papel dos grupos de pesquisa na produção científica. No período em questão, Marsden era um jovem estudante de graduação e seu trabalho contribuiu para o desenvolvimento de uma teoria que hoje é considerada importantíssima na história da química. Assim como Marsden, alunos da graduação têm a possibilidade de participar ativamente da construção da ciência por meio dos projetos de iniciação científica. Conhecer essas nuances da história pode ser um grande incentivo para que os estudantes considerem carreiras científicas e se dediquem a projetos de pesquisa.

Outra visão distorcida da ciência que é reforçada pela abordagem dos LD é a visão rígida ou algorítmica. Nesta, o processo da construção de determinado conhecimento é reduzido à simples aplicação de uma sequência de passos daquilo que seria o método

científico (GIL-PEREZ *et al.*, 2001). Essa visão trata a ciência com caráter indutivista, sobrevalorizando o papel dos experimentos como precursores das teorias. Apesar das coleções B, C, D e E mencionarem que uma série de experimentos levou aos resultados que Rutherford apresentou, estes ainda são reduzidos a uma montagem simples, que oferecia um resultado direto e de fácil interpretação. Como vimos, os experimentos eram trabalhosos, demandavam horas no escuro e a contagem manual de cintilações, o que exigia um grande esforço dos cientistas.

Segundo Marques (2006), em anos anteriores às pesquisas de Geiger, outros cientistas já haviam discutido resultados de deflexão de partículas alfa, o que mostra que isso não foi uma novidade dos experimentos de Geiger. Rutherford (1911) também explicita claramente em seu artigo que já tinha conhecimento do modelo atômico nuclear proposto pelo pesquisador japonês Hantaro Nagaoka (1865-1950), publicado em 1904 e que ficou conhecido como modelo do Átomo Saturniano. Neste, o átomo seria composto por um núcleo rodeado de elétrons, como nos anéis do planeta saturno (BENEDETTI FILHO; MATSUMOTO, 2022; FIOLETTI; RUIVO, 1996).

Em todas as coleções analisadas, existe a ideia de que Rutherford formulou sua teoria atômica depois e como resultado da realização dos experimentos. Isso não é correto, uma vez que Rutherford (1911) afirma que experimentos estavam em progresso para fortalecer e testar o modelo teórico já apresentado com base em cálculos. A versão dos LD promove uma inversão histórica que reforça a visão indutivista da ciência, na qual teorias ou afirmações universais são formuladas a partir de observações singulares feitas por um observador imparcial (CHALMERS, 1993). No artigo, Rutherford apresenta um modelo matemático de como poderiam ser explicados os desvios de partículas alfa e beta considerando interações únicas destas com os átomos constituintes da folha de ouro, e compara os valores teóricos com os resultados obtidos em experimentos de Geiger e Marsden.

Um argumento central no modelo de Rutherford é que o comportamento das partículas alfa com relação aos desvios de trajetória poderia ser interpretado admitindo-se a interação da partícula com a parte central de um único átomo, e não como um efeito somatório da interação das partículas com muitos átomos constituintes da folha de ouro. Em razão do tamanho dessa parte central e da espessura das folhas metálicas utilizadas, seria improvável que a partícula se chocasse com vários átomos, mas isso contrariava as hipóteses interpretativas utilizadas pelo seu antigo orientador, Joseph John Thomson (1856-1940). Rutherford defendia que os grandes desvios de trajetória observados só podiam ser explicados pela teoria de colisão única.

A teoria atômica, entretanto, é apresentada em 1911 de forma preliminar. Rutherford afirma que, para a teoria, era irrelevante questionar se a parte central do átomo possuía carga positiva ou negativa. O fundamental era admitir que o tamanho dessa parte central do átomo deveria ser extremamente reduzido, na ordem de  $10^{-12}$  cm, e que a “esfera de influência” ao redor deste núcleo possuiria carga oposta e raio da ordem de  $10^{-8}$  cm, o que é 10 mil vezes

maior que a parte central do átomo (RUTHERFORD, 1911, p. 2). No artigo, Rutherford admite explicita e reiteradamente que o sinal positivo para a carga central foi adotado nos cálculos por questão de conveniência.

Por mais que as descrições de experimentos históricos encontradas nas coleções tentem favorecer a aprendizagem dos conceitos químicos, concluímos que, ao menos nos casos analisados, elas simplesmente distorcem a história, ou inventam uma nova história da ciência. Isso vai na contramão das diretrizes educacionais que demandam a abordagem da ciência como empreendimento histórico, social e cultural (PORTO, 2019).

## **VII. Considerações finais**

Essa pesquisa tinha como objetivo realizar uma análise de livros didáticos com foco nas representações de experimentos químicos históricos, apontando divergências entre as descrições apresentadas nos livros e as versões originais.

Comparando os resultados da análise dos LD com artigos historiográficos e com documentos históricos originais, identificamos distorções relacionadas à montagem experimental, aos materiais utilizados, aos procedimentos, às motivações sócio-históricas e à própria relação entre experimentos e teorias no fazer científico.

Sobre a pilha de Daniell, nossa principal fonte de referência foi o artigo de Costa e Porto (2021) que detalha o processo de aprimoramento e as motivações para a construção do dispositivo. Já sobre Rutherford, tivemos dificuldade para localizar literatura secundária detalhando sua abordagem experimental. Desta forma, consultamos um maior número de originais históricos para compor nossa análise das representações encontradas nos LD.

No caso de Daniell, as principais diferenças remetem à montagem experimental da pilha. As pilhas originais construídas por Daniell correspondiam a um único cilindro contendo os polos positivo e negativo separados por uma membrana semipermeável. Já nos LD, a pilha é formada por dois copos fisicamente separados, cada um correspondendo a um polo, o que requer uma ponte salina que simplesmente não existia no equipamento original. Essa diferença de apresentação também torna a imagem da pilha vista nas aulas de química algo difícil de comparar com a experiência cotidiana dos alunos envolvendo pilhas comerciais.

Sobre o trabalho de Rutherford, destacamos que os LD apresentam um único experimento como sendo responsável pela proposição de uma nova estrutura para o átomo. Considerando os registros históricos, identificamos uma série de experimentos realizados para a confirmação e testagem de ideias sobre o átomo que se encontravam em debate. A montagem dos experimentos originais também possui diferenças em relação àquela apresentada pelos LD. Esta última parece ser uma mescla ou um híbrido de vários experimentos conduzidos por Geiger e Marsden entre os anos de 1908 e 1913.

As implicações didáticas dessas distorções incluem problemas conceituais com relação a reações de oxirredução, distanciamento entre o cotidiano dos estudantes e a atividade científica e visões distorcidas da natureza da ciência.

Entendemos que os autores dos LD se comprometem com a dimensão histórica da ciência à medida que se referem ao dispositivo como “a pilha de Daniell” ou atribuem a Rutherford a realização do experimento. Se o experimento descrito não encontra paralelo na HC e se o dispositivo efetivamente criado por Daniell não se parece com o mostrado pelos LD, observamos que a falta de fidelidade histórica compromete a aprendizagem sobre ciências que poderá ser desenvolvida pelos estudantes. As implicações conceituais que decorrem das versões dos experimentos retratadas nos LD podem ser contornadas a partir de uma análise teórica do experimento original, utilizando a HC como eixo orientador da abordagem.

Defendemos, portanto, que são consideráveis as vantagens de analisar um experimento científico estudando não apenas os seus resultados, mas também as motivações que levaram a ele, as hipóteses e objetivos envolvidos, procedimentos de montagem e execução, além do contexto sociocientífico no qual ele se insere.

Desta forma, concluímos que as descrições superficiais de experimentos históricos apresentadas pelos livros didáticos podem representar um obstáculo ao entendimento dos processos de construção da ciência. Por esse motivo, entendemos que o livro didático ainda não é uma fonte suficiente para que professores se informem sobre história da ciência. Docentes preocupados com essa questão precisam se municiar de materiais alternativos, considerando trabalhos historiográficos e artigos da área de interface entre a história da ciência e o ensino como fontes para suas aulas.

Esperamos que os apontamentos historiográficos reunidos neste trabalho possam orientar a revisão de futuras obras didáticas, e que os seus autores consigam fazer melhor uso da história da ciência como elemento capaz de favorecer a aprendizagem dos conceitos e da ciência em si.

### **Referências Bibliográficas**

ALFONSO-GOLDFARB A. M.; BELTRAN, M. H. R. (Ed.) **Escrevendo a história da ciência: tendências, propostas e discussões historiográficas**. São Paulo: Livraria da Física, EDUC, Fapesp, 2004

ALLCHIN, D. Pseudohistory and pseudoscience. **Science & Education**, v. 13, p. 179-195, 2004.

ALLCHIN, D. Evaluating knowledge of the nature of (whole) science. **Science Education**, v. 95, n. 3, p. 518-542, 2011.

BARBOSA, F. T.; AIRES, J. A. A abordagem HFC por meio de estudos de casos históricos: Propostas didáticas para o Ensino de Química. **Educação Química em Ponto de Vista**, v. 1, n. 2, p. 97-120, 2017.

BENEDETTI FILHO, E.; MATSUMOTO, M. Y. Hantaro Nagaoka e o modelo saturniano. **Química Nova na Escola**, v. 44, n. 1, p. 9-16, 2022.

BOCCHI, N.; FERRACIN, L. C.; BIAGGIO, S. R. Pilhas e Baterias: Funcionamento e Impacto Ambiental. **Química Nova na Escola**, v. 11, p. 3-9, 2000.

BRAGA, M. B. S. **Ensino de eletroquímica no ensino médio em uma abordagem CTS**. 2019. 55 f. Monografia (Licenciatura em Química) - Universidade de Brasília, UNB, Brasília, 2019.

BRASIL. Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (Inep). **Censo Escolar da Educação Básica 2022**: Resumo Técnico. Brasília, 2023.

CHALMERS, A. F. **O que é ciência afinal?** 2. ed. São Paulo: Brasiliense, 1993.

CHANG, H. How Historical Experiments Can Improve Scientific Knowledge and Science Education: The Cases of Boiling Water and Electrochemistry. **Science & Education**, v. 20, n. 3, p. 317-341, mar. 2011.

COSTA, M. C. da S. **Uma convergência entre história da ciência e ensino de química: o caso da pilha de Daniell**. 2021. 111 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências) - Universidade de São Paulo, USP, São Paulo, 2021.

COSTA, M. C. da S.; PORTO, P. A. A pilha de Daniell: um estudo de caso histórico. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 38, n. 3, p. 1650-1673, 2021.

DAGHER, Z. R.; ERDURAN, S. Reconceptualizing the Nature of Science for Science Education - Why does it matter? **Science & Education**, v. 25, p. 147-164, 2016.

DANIELL, J. F. **An Introduction to the study of chemical philosophy**: being a preparatory view which concur to produce chemical phenomena. 2. ed. London: Marrison & Company Printers, St. Martin's Lane, 1843.

DANIELL, J. F. On voltaic combinations. **Philosophical Transactions**, v. 126, p. 107-124, 1836.

DIAS, L. C. **Johannes Wilhelm Geiger (1882-1945)**. Disponível em: <<https://www3.unicentro.br/petfisica/2019/09/26/johannes-wilhelm-geiger-1882-1945/>>.

Acesso em: 14 jul. 2023.

DISTLER, R. R. Contribuições de David Ausubel para a Intervenção Psicopedagógica. **Revista Psicopedagogia**, v. 32, n. 98, p. 191-199, 2015.

FIOLHAIS, M. F.; RUIVO, M. DA C. O modelo atômico saturniano de Nagaoka. **Gazeta de física**, v. 19, p. 6-10, 1996.

GEIGER, H. On the scattering of the  $\alpha$ -particles by Matter. **Proceedings of the Royal Society A**, v. 81, n. 5, p. 174-177, 1908.

GEIGER, H.; MARSDEN, E. On a Diffuse Reflection of the  $\alpha$ -particles. **Proceedings of the Royal Society A**, v. 5, n. I, p. 495-500, 1909.

GEIGER, H.; MARSDEN, E. The Laws of Deflexion of  $\alpha$  Particles Through Large Angles. **The London Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science**, series 6, v. 25, n. 148, p.604-623, 1913.

GEIGER, H. The Scattering of the  $\alpha$ -particles by Matter. **Proceedings of the Royal Society A**, v. XXIII, n. 3, p. 492-504, 1910.

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

HACKING, I. Experimentation and Scientific Realism. **Philosophical Topics**, v. 13, n. 1, p. 71-87, 1982.

HEERING, P. The role of historical experiments in science teacher training: experiences and perspectives. **Actes d'història de la ciència i de la tècnica**, v. 2, n. 1, p. 389-399, 2009.

HEERING, P. Getting Shocks: Teaching Secondary School Physics Through History. **Science & Education**, v. 9, p. 363-373, 2000.

HEERING, P.; WITTJE, R. An Historical Perspective on Instruments and Experiments in Science Education. **Science and Education**, v. 21, n. 2, p. 151-155, 2012.

HIDALGO, J. M; QUEIROZ, D. de M.; OLIVEIRA, M. C. J. de. A História da Ciência no PNLD 2018: O Princípio de Arquimedes como estudo de caso. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 38, n. 2, p. 1251-1281, 2021.

HODSON, D. Experiments in science and science teaching. **Educational Philosophy and Theory**, v. 20, n. 2, p. 53-66, 1988.

IRZIK, G.; NOLA, R. A Family Resemblance Approach to the Nature of Science for Science Education. **Science & Education**, v. 20, n. 7-8, p. 591-607, 2010.

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

KRAGH, H. **An Introduction to the Historiography of Science**. Cambridge: Cambridge University Press, 1989.

LEITE, Á. E.; GARCIA, N. M. D. A formação inicial de professores e o livro didático de Física: passos e descompassos. **Ciência & Educação**, Bauru, v. 24, n. 2, p. 411-430, 2018.

LISENKO, B. H. **Ernest Marsden (1889-1970)**. Disponível em:  
<<https://www3.unicentro.br/petfisica/2019/09/20/4406/>>. Acesso em: 14 jul. 2023.

LÔBO, S. F. O trabalho experimental no ensino de química. **Química Nova**, v. 35, n. 2, p. 430-434, 2012.

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

MARCONDES, M. E. R.; SOUZA, F. L. DE; AKAHOSHI, L. H. Conteúdos de Eletroquímica e Focos de Ensino Evidenciados por Professores de Química do Ensino Médio. **Enseñanza de las Ciencias**, n. extra, p. 5673-5678, 2017.

MARQUES, D. M. **As investigações de Ernest Rutherford sobre a estrutura da matéria: contribuições para o ensino de química**. 2006. 181 f. Dissertação (Mestrado em Educação para a Ciência) - Faculdade de Ciências, UNESP, Bauru, 2006.

MARQUES, D. M.; CALUZI, J. J. **Ensino de Química e História da Ciência: O Modelo Atômico de Rutherford**. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, IV, 2003, Bauru. **Anais...** Bauru, 2003.

MARTINS, A. F. P. Natureza da Ciência no ensino de ciências: uma proposta baseada em “temas” e “questões.” **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 32, n. 3, p. 703-737, 2015.

MARTINS, M. R.; BUFFON, A. D. A história da ciência no currículo de física do ensino médio. **ACTIO: Docência em Ciências**, v. 2, n. 1, p. 420-437, 2017.

MARTINS, R. A. Introdução: A história das ciências e seus usos na educação. In: SILVA, C. C. (Ed.). **Estudos de história e filosofia das ciências**: subsídios para aplicação no ensino. São Paulo: Livraria da Física, 2006. p. xxi-xxxiv.

MATTHEWS, M. R. História, filosofía y enseñanza de las ciencias: La aproximacion actual. **Enseñanza de las ciencias**, v. 12, n. 2, p. 255-277, 1994.

MELZER, E. E. M. **Do Saber Sábio ao Saber a Ensinar**: A Transposição Didática dos Modelos Atômicos nos Livros de Química (1931 - 2012). 2012. 554 f. Dissertação (Mestrado em Educação em Ciências e em Matemática) - Setor de Exatas, Universidade Federal do Paraná, UFPR, Curitiba, 2012.

MOURA, B. A. O que é natureza da Ciência e qual sua relação com a História e Filosofia da Ciência? **Revista Brasileira de História da Ciência**, v. 7, n. 1, p. 32-46, 2014.

MOURA, C. B. de; GUERRA, A. História Cultural da Ciência: Um Caminho Possível para a Discussão sobre as Práticas Científicas no Ensino de Ciências? **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 16, n. 3, p. 725-748, 2016.

PEDUZZI, L. O. Q. Sobre a utilização didática da história da ciência. In: PIETROCOLA, M. (Ed.). **Ensino de física**: conteúdo, metodologia e epistemologia numa concepção integradora. Florianópolis: Ed.UFSC, 2001. p. 151-170.

PORTO, P. A. História e Filosofia da Ciência no Ensino de Química: em busca dos objetivos educacionais da atualidade. In: O. A. Maldaner; W. L. P. Santos; P. F. L. Machado (Ed.). **Ensino de Química em Foco**. 2 ed. Ijuí: Editora Unijuí, 2019. p. 141-156.

ROCHA, T. A. S. **Material de Apoio Didático para o Ensino de Eletroquímica**: Uma elaboração baseada em concepções de um grupo de futuros professores. 2018. 246 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática) - Universidade Federal de Uberlândia, UFU, Uberlândia, 2018.

RODRIGUES, A. M.; GIBIN, G. B. Modelos mentais dos alunos sobre a pilha de Daniell: investigação com o aplicativo stop motion. **TICs & EaD em Foco**, v. 191, n. 686, p. 28-32, 2020.

ROZENTALSKI, E. F. Indo além da Natureza da Ciência: o filosofar sobre a Química por meio da ética química. 2018. 432 f. Tese (Doutorado em Ensino de Química) - Universidade de São Paulo, USP, São Paulo, 2018.

RUTHERFORD, E. The scattering of  $\alpha$  and  $\beta$  particles by matter and the structure of the atom. **The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science**, v. 21, n. 125, p. 669-688, 1911.

SANTOS, W. L. P.; PORTO, P. A. A pesquisa em ensino de química como área estratégica para o desenvolvimento da química. **Química Nova**, v. 36, n. 10, p. 1570-1576, 2013.

SANTOS, S. de M. S.; SÁ, M. B. Z. **O Estudo de Conceitos Químicos por meio de uma Abordagem de Temas Cotidianos: Pilhas e Baterias em uma Perspectiva Ambiental**. In: PARANÁ. Secretaria de Estado da Educação. Superintendência de Educação. Os Desafios da Escola Pública Paranaense na Perspectiva do Professor PDE, 2016. Curitiba: SEED/PR., 2018. V.1. (Cadernos PDE).

SILVA JUNIOR, A. C.; SILVA, L. L. da. A Transposição Didática do Fenômeno da Radioatividade em Manuais Escolares de Física. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 39, n. 1, p. 259-287, 2022.

SILVA, V. C. da; VIDEIRA, A. A. P. Como as ciências morrem? Os ataques ao conhecimento na era da pós-verdade. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 37, n. 3, p. 1041-1073, 2020.

SOUZA, K. A. F. D. **Estratégias de comunicação em química como índices epistemológicos: análise semiótica das ilustrações presentes em livros didáticos ao longo do século XX**. 2012. 189 f. Tese (Doutorado em Química) - Universidade de São Paulo, USP, São Paulo, 2012.

TARGINO, A. R. L.; BALDINATO, J. O. Abordagem histórica da lei periódica nas coleções do PNLD 2012. **Química Nova na Escola**, v. 38, n. 4, p. 324-333, 2016.

TOLVANEN, Simo. *et al.* How to use historical approach to teach nature of Science in chemistry education? **Science & Education**, v. 23, p. 1605-1636, 2014.

TURIN, J.; AIRES, J. A. Programa Nacional do Livro Didático: um estudo sobre a escolha do livro didático de química por professores da rede pública de ensino de Curitiba. **Série-Estudos - Periódico do Programa de Pós-Graduação em Educação da UCDB**, v. 21, n. 41, p. 128-152, 2016.

VELLECA, R. F. *et al.* Investigando as Concepções Alternativas dos Estudantes Sobre Eletroquímica. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, V, 2005, Bauru. **Atas** [...]. Bauru: ABRAPEC, 2006. p871, p.1-11.

VIDAL, P. H. O.; CHELONI, F. O.; PORTO, P. A. O Lavoisier que Não Está Presente nos Livros Didáticos. **Química Nova na Escola**, n. 26, p. 29-32, 2007.



Direito autoral e licença de uso: Este artigo está licenciado sob uma [Licença Creative Commons](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).