

A pilha de Daniell: um estudo de caso histórico⁺*

Mayra Cristina da Silva Costa¹

Doutoranda em Ensino de Ciências

Universidade de São Paulo

Paulo Alves Porto¹

Instituto de Química – Universidade de São Paulo

São Paulo – SP

Resumo

O modelo didático da pilha de Daniell tem papel central no ensino de eletroquímica, associado a conceitos fundamentais, tais como as reações de oxirredução. O dispositivo criado originalmente por John F. Daniell (1790-1845), porém, apresenta diferenças em relação ao modelo didático difundido na atualidade. Este artigo apresenta um estudo de caso histórico sobre o desenvolvimento da pilha por Daniell em meados do século XIX. A análise das comunicações de Daniell acerca desse assunto à Royal Society revelam a influência de Michael Faraday e William Snow Harris sobre seus trabalhos. Foram necessários cerca de dez anos para que Daniell chegasse à versão final de sua pilha, com um eletrodo de zinco amalgamado em um eletrólito de ácido sulfúrico diluído, e outro eletrodo de cobre em contato com uma solução ácida de sulfato de cobre. A separação entre os eletrólitos, inicialmente feita com uma membrana de origem animal, foi posteriormente feita por um recipiente de argila porosa. Essa pilha, capaz de fornecer corrente contínua de maneira constante por um tempo considerável, foi fundamental para a expansão das redes telegráficas nessa época. A compreensão do processo de desenvolvimento do conhecimento científico e tecnológico, e de suas implicações para a sociedade, por meio de um estudo de caso histórico, pode trazer contribuições relevantes para o ensino de ciências na atualidade.

⁺ The Daniell cell: a historical case study

^{*} Recebido: 21 de junho de 2021.

Aceito: 23 de agosto de 2021.

¹ E-mails: ma.criscosta@usp.br; palporto@iq.usp.br

Palavras-chave: *Pilha de Daniell; Eletroquímica; História da Ciência.*

Abstract

Daniell's cell didactic model has a key role in the teaching of electrochemistry, associated with fundamental concepts such as redox reactions. The original device created by John F. Daniell (1790-1845), however, presents notable differences if compared to the current didactic model. This paper presents a historical case study about the battery development by Daniell in the mid-19th century. An analysis of Daniell's communications to the Royal Society on this subject reveals an important influence by Michael Faraday and William Snow Harris on his work. It took around ten years to Daniell reach the final version of his device, with an amalgamated zinc electrode in a dilute sulfuric acid electrolyte, and a copper electrode in contact with an acidic solution of copper sulfate. The separation between the electrolytes, initially made with an animal membrane, was later made by a porous earthenware container. Such battery, capable of supplying constant direct current for a considerable period of time, had a fundamental role in the expansion of telegraph networks. Understanding the process of development of scientific and technological knowledge and its implications for society, by means of a historical case study, may bring relevant contributions to science teaching.

Keywords: *Daniell Cell; Electrochemistry; History of Science.*

I. Introdução

Notebooks, tablets, smartphones e outros dispositivos fazem parte da vida do século XXI, permitindo que as pessoas se comuniquem, trabalhem, estudem, socializem. Nada disso seria possível sem as baterias que alimentam esses dispositivos, cada vez mais eficientes, compactas e com maior durabilidade. O desenvolvimento industrial e tecnológico demanda o uso eficiente desses e de outros dispositivos para os mais diversos fins, o que fez com que a eletroquímica se tornasse um conteúdo relevante para a educação básica, pois a compreensão do funcionamento desses dispositivos passa pelos conhecimentos de eletroquímica (BOULABIAR *et al.*, 2004).

A eletroquímica começou a ser sistematizada como área de conhecimento em meados do século XIX, e passou a integrar livros universitários nas primeiras décadas do século XX com crescente quantidade e variedade de conteúdos. Um dos propósitos da inserção da eletroquímica no currículo é o ensino das chamadas reações de oxirredução, ou

reações de transferência de elétrons. Esse conteúdo é amplo e se situa em uma área de intersecção entre a física e a química, envolvendo dificuldades específicas de aprendizagem.

Assim como em outros conteúdos de ciências, aqui também ocorre a incorporação de modelos didáticos ao ensino conceitual. A classe de modelos envolvida é do tipo *representacional*, ou seja, aqueles modelos que expressam algo concretamente (JUSTI, 2006). A inserção desses modelos no ensino tem finalidade puramente didática, ou seja, seu propósito é ensinar: atuam como simplificadores e mediadores das teorias científicas para com a realidade, porém *não são* a realidade (CUPANI, PIETROCOLA, 2002).

No ensino de eletroquímica, um modelo didático muito utilizado é a pilha de Daniell, sendo relacionada ao ensino dos conceitos de pilhas, células eletroquímicas, reações de oxirredução, cátodo, ânodo, número de oxidação (nox), entre outros (WALANDA *et al.*, 2017). Uma rápida busca na internet com a palavra-chave “pilha de Daniell” resulta em imagens de modelos didáticos muito semelhantes às que se pode encontrar em livros didáticos tanto do ensino médio quanto superior (Fig. 1).

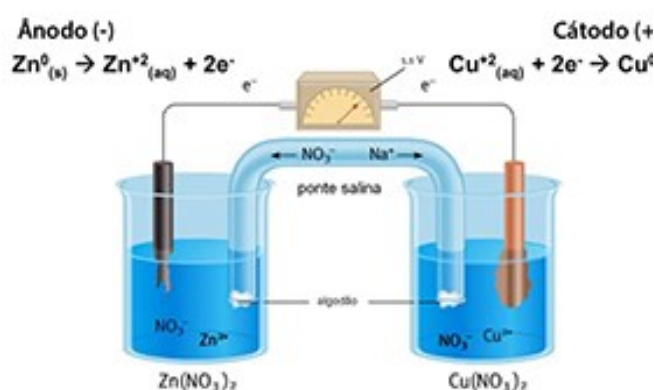


Fig. 1 – Resultado típico de busca por imagens da “pilha de Daniell” na internet. Fonte: <<https://pilhadedaniellmodelo.blogspot.com/2010/06/pilhadedaniell.html>>. Acesso em: 14 jun. 2021.

O modelo didático ilustrado na Fig. 1, que representa o protótipo de uma pilha no contexto do ensino de eletroquímica, é quase sempre chamado de pilha de Daniell. Porém, suas características apresentam diferenças significativas em relação ao dispositivo original desenvolvido por John F. Daniell (1790-1845) no século XIX. O modelo apresentado em contextos didáticos apresenta o eletrodo de cobre e o eletrodo de zinco em recipientes separados, ligados a um dispositivo que mostra a existência de corrente elétrica (um medidor analógico ou digital, ou ainda uma lâmpada), e uma ponte salina entre os béqueres para manter o equilíbrio iônico entre as soluções eletrolíticas. É comum encontrar as semirreações de oxidação e de redução escritas junto aos respectivos eletrodos. No dispositivo originalmente criado por Daniell, porém, a disposição dos recipientes contendo os eletrólitos

era bem diferente, não havia a ponte salina e os eletrólitos não eram os mesmos que aparecem nos modelos didáticos.

O objetivo do presente trabalho é explicitar as diferenças entre o dispositivo criado por Daniell no século XIX e o modelo didático atualmente associado a seu nome, por meio de um estudo de caso histórico fundamentado em publicações originais. Pretende-se mostrar o processo de desenvolvimento da referida pilha, as motivações e as dificuldades enfrentadas por Daniell e a importância do dispositivo no contexto histórico e social em que foi desenvolvido. Assim, este artigo visa contextualizar a pilha de Daniell, revelando um pouco da complexidade que existe por trás daquilo que, em materiais de ensino, costuma ser apenas um nome associado a um modelo didático.

II. John Frederic Daniell: breve biografia

John Frederic Daniell (Fig. 2) nasceu em 12 de março de 1790 em Strand, um pequeno distrito de Londres, localidade em que recebeu sua primeira educação formal em casa, seguindo tradições da época (GILLISPIE, 1990; SISTRUNK, 1952). Desde jovem mostrou afinidade pela investigação da Natureza e frequentou palestras que abrangiam diversos assuntos da filosofia natural.



Fig. 2 – John Frederic Daniell. Fonte: <<https://www.worldofchemicals.com/205/chemistry-articles/john-frederic-daniell-inventor-of-daniell-cell.html>>. Acesso em: 14 jun. 2021.

Em 1812, com apenas 22 anos, se associou à *Royal Institution*, sendo aceito como membro oficial em 1819. Entre os anos de 1828 até sua morte em 1845, foi o responsável pela seção de química das comunicações oficiais da *Royal Institution*. Foi funcionário público e também trabalhou na refinaria de açúcar de um parente (JAMES, 2004). Suas qualidades profissionais fizeram com que se tornasse conselheiro governamental na questão da proteção dos navios da marinha britânica contra a corrosão, e também no desenvolvimento de aparatos

que pudessem proteger as embarcações de raios (GILLISPIE, 1990).

Daniell também trabalhou intensamente com meteorologia. Em 1823, reuniu e publicou mais de duas dezenas de trabalhos sobre diferentes estudos atmosféricos, geológicos e climáticos, em um livro que ganhou três edições: o *Meteorological Essays*. Realizou estudos também em cristalografia, buscando compreender a estrutura de diferentes minerais, além de dissertar sobre a cristalização e densidade de sais.

Além de seu empreendimento mais famoso, a pilha que leva seu nome, pode-se destacar outras criações menos conhecidas, como o barômetro de água (um instrumento utilizado para medir pressão atmosférica), o pirômetro (dispositivo para medir a temperatura à distância) e o higrômetro de ponto de orvalho (desenvolvido em 1820 para medir umidade atmosférica, e ainda utilizado atualmente). Também investigou sobre o calor e temperaturas ideais para fornos de fundição. Seu trabalho sobre a umidade ideal para ambientes de estufas o levou a receber a *Medalha Rumford*, oferecida pela *Royal Society* em 1832. Foi reconhecido ainda por suas contribuições em medições e registros climáticos.

Além de administrador e experimentador, era professor e divulgador da ciência. Preocupava-se com a popularização e divulgação do conhecimento para o público leigo, promovendo publicações e atuando em instituições que tinham esses objetivos. Em 1816, relançou com William Brande o *Quarterly Journal of Science and the Arts*, publicado pela *Royal Institution*. Foi um dos mentores da *Society for Promoting Useful Knowledge* (1827), e de 1836 até sua morte foi professor no departamento de química e geologia do seminário militar da *East India Company*. Também esteve diretamente envolvido com a fundação da *Chemical Society of London* (1836).

Em 1831, foi convidado para lecionar química no recém fundado *King's College* de Londres, instituição na qual inicialmente trabalhou com o estudo de espectros de gases em parceria com William Allen Miller (1817-1870) (GOLD, 1973). Preocupado em lecionar da melhor forma possível e também com o aprendizado dos alunos iniciantes em química, escreveu o livro *An Introduction to the Study of Chemical Philosophy: being a preparatory view of the forces which concur to the production of chemical phenomena* [“Uma introdução ao estudo da filosofia química: uma visão preparatória das forças que concorrem para a produção de fenômenos químicos”, em tradução livre] (DANIELL, 1839a; DANIELL, 1843).

O trabalho na *Royal Institution* e as afinidades pessoais o levaram a se aproximar de Michael Faraday (1791-1867) (BURNS, 1993). Daniell reproduziu experimentos de Faraday em seu laboratório, buscando a compreensão de diferentes fenômenos relacionados à eletrólise e eletricidade de forma geral, voltando-se então à eletroquímica. Dedicado e curioso, publicou muitos trabalhos durante sua vida profissional. Sua morte precoce e súbita, em 17 de março de 1845, ocorreu após um derrame cerebral (apoplexia), momentos depois de comparecer a um compromisso de trabalho na *Royal Institution* (JAMES, 2004).

III. As publicações de Daniell: fontes primárias para o estudo de caso histórico

Neste estudo de caso, foram utilizadas seis publicações de Daniell (Tabela 1). O livro intitulado *An introduction to the study of chemical philosophy* é um grande tratado sobre o conhecimento químico da época. Suas duas edições, publicadas em 1839 e 1843, foram obtidas via *Google Books*[®]. Foram consultadas também quatro comunicações dirigidas por Daniell à *Royal Society*.

Tabela 1 – Fontes primárias utilizadas neste estudo de caso histórico.

Título	Ano
<i>An introduction to the study of chemical philosophy: being a preparatory view to the forces which concur to the production of chemical phenomena</i> (1 st ed.)	1839
<i>An introduction to the study of chemical philosophy: being a preparatory view to the forces which concur to the production of chemical phenomena</i> (2 nd ed.)	1843
<i>On voltaic combinations. In a letter adressed to Michael Faraday (...)</i> [Sobre as combinações voltaicas. Em uma carta endereçada a Michael Faraday]	1836
<i>Additional observations on voltaic combinations</i> [Observações adicionais sobre as combinações voltaicas]	1836
<i>Further observations on voltaic combinations</i> [Novas observações sobre as combinações voltaicas]	1837
<i>Fifth letter on voltaic combinations</i> [Quinta carta sobre as combinações voltaicas]	1839

O conjunto dos textos oferece uma complementaridade de abordagens. As duas edições do livro apresentam conteúdo abrangente, o que possibilitou a aproximação com o pensamento químico da época. As comunicações à *Royal Society*, por sua vez, fornecem informações específicas acerca dos estudos de Daniell sobre a pilha. Para este estudo de caso foram selecionados os capítulos de interesse no livro, que abordam eletricidade, máquinas elétricas, circuitos elétricos, eletroquímica, entre outros. Na investigação dedicou-se especial atenção para a compreensão dos fenômenos em contexto, bem como para o uso de palavras atualmente em desuso ou que foram ressignificadas ao longo do tempo e ainda estão presentes no vocabulário da eletroquímica, como eletrodo e eletrólito, por exemplo.

As outras fontes primárias são do acervo digitalizado das *Philosophical Transactions of the Royal Society*, cujas publicações mais antigas datam de 1665. Foram localizadas diversas comunicações feitas por Daniell, dentre as quais selecionamos 14 comunicações relacionadas à pilha de Daniell, designada por ele como bateria constante. Desse conjunto, quatro foram identificadas como relevantes para esta pesquisa, e foram analisadas em detalhes.

IV. Daniell, a química e a eletricidade

É possível notar, pelo próprio título do livro *An introduction to the study of chemical philosophy: being a preparatory view to the forces which concur to the production of chemical phenomena*, seu caráter introdutório ao estudo da química, entendida como uma filosofia da Natureza. Daniell se preocupou em formalizar um tratado que contivesse todo o escopo da química e alguns outros aspectos da filosofia natural de sua época. Buscava, de várias formas, desempenhar um papel relevante na formalização do ensino de química em seu tempo, e tornar a química mais acessível ao público leigo.

Embora quisesse que seu público viesse a conhecer e interagir com o conhecimento químico de sua época, o autor enfatiza que seu livro não é um guia ou um mero manual, e sim um instrumento para melhor conhecer a arte (operações práticas) e a filosofia químicas, que seriam instâncias distintas do conhecimento (DANIELL, 1843). Empenhava-se, assim, em possibilitar que as pessoas vivenciassem a química de forma significativa. Além disso, almejava que os estudos de Faraday fossem de conhecimento do público geral. Daniell afirma que reproduziu todos os experimentos de Faraday sobre eletrólise e outros fenômenos relacionados à eletricidade (DANIELL, 1839a, p. v).

O texto foi delineado de modo a culminar no estudo dos fenômenos elétricos em conjunto com os dispositivos que vinham sendo desenvolvidos na época. Ao organizar seu livro, Daniell entendeu ser necessário apresentar primeiro as ideias relativas à eletricidade e aos fenômenos a ela relacionados, e então a invenção de diferentes dispositivos. Primeiramente, ele tratou da eletricidade estática, começando pelas ideias atribuídas ao filósofo grego Tales de Mileto e mencionando tudo o que acreditava ser relevante sobre o assunto, de evidências experimentais que intrigavam as pessoas às práxis empíricas relacionadas aos fenômenos. Através dos cuidados e comentários que guiam a leitura, nota-se uma preocupação pela forma como uma pessoa leiga passaria a conceber os assuntos abordados.

Além do comportamento dos então chamados *fluidos elétricos*², Daniell buscou apresentar como ocorria a interação dos mesmos com os corpos constituídos por diferentes materiais, ou seja, a questão da condução ou não condução de eletricidade pelos materiais. Particular interesse recaía sobre a condução em materiais metálicos. Nesse contexto, destacam-se os trabalhos de William Snow Harris (1791-1867), que exerceram importante influência para a construção da pilha de Daniell.

² Na época, havia duas principais concepções acerca da natureza da eletricidade: as hipóteses de Du Fay e de Franklin. Charles Du Fay (1698-1739) propôs a existência de dois fluidos elásticos e imponderáveis, um *vítreo* e um *resinoso*, que formariam o *fluido elétrico* (DANIELL, 1843). Para Benjamin Franklin (1706-1790), por sua vez, haveria um único *fluido elétrico*; e quando houvesse desequilíbrio desse *fluido* em diferentes corpos é que ocorreria atração e repulsão entre eles. Explicações baseadas em *elétrons* como parte constituinte dos átomos somente seriam desenvolvidas no final do século XIX.

V. A influência de Snow Harris

Snow Harris nasceu em 1º de abril de 1791 em Plymouth, Inglaterra. Após concluir seus estudos de medicina em Edimburgo, atuou como cirurgião militar no exército britânico. Trabalhou de forma contínua para a Marinha Real Britânica, desenvolvendo e melhorando para-raios para embarcações (DANIELL, 1843). Seus estudos sobre para-raios para proteção dos navios ingleses se prolongaram por muito tempo; porém, suas ideias sofreram grande resistência, pois foram necessários cerca de 12 anos para que a marinha reconhecesse e remunerasse esse trabalho (ANÔNIMO, 1868, p. xx-xxi). Após conciliar por alguns anos a medicina e os estudos em eletricidade, em 1824 Snow Harris passou a se dedicar integralmente à filosofia natural. Por muitos anos, foi membro da *Edinburgh Royal Society*.

A primeira publicação de Snow Harris em *Proceedings of the Edinburgh Royal Society* data de 1829, e trata de “Investigações experimentais sobre as leis das forças magnéticas”. Os estudos e dispositivos inventados por Snow Harris para investigar eletricidade chamaram a atenção do presidente da *Royal Society*, Sir Humphry Davy, que o convidou para uma conferência. O trabalho apresentado versou “Sobre os poderes relativos de várias substâncias metálicas como condutores de eletricidade”, que o levou a se tornar membro da *Royal Society*.

Snow Harris estudou as relações entre magnetismo e eletricidade, e criou máquinas elétricas cilíndricas e de placas que foram extremamente úteis para o estudo sobre eletricidade na Inglaterra. Seus trabalhos exerceram grande influência sobre as escolhas de Daniell em relação aos materiais metálicos da pilha. Utilizando um dispositivo chamado termômetro de ar (construído por ele mesmo), Snow Harris estudou como diferentes materiais metálicos se comportavam e produziam calor diante da passagem dos *fluidos elétricos*. Seus dados experimentais foram apresentados por Daniell em *An Introduction to the Study of Chemical Philosophy* (Figura 3), e certamente influenciaram a escolha final do par zinco e cobre para a construção da bateria constante. Antes de chegar a isso, Daniell fez muitos experimentos com diferentes pares de metais, e por muito tempo utilizou os pares zinco e platina ou zinco e prata.

O trabalho de Snow Harris foi pioneiro e trouxe importantes contribuições para outros estudos da área. Os dados experimentais apresentados na Figura 3 mostram os valores de uma propriedade intensiva que Snow Harris denominou *resistance* para diferentes metais e uma liga (latão, uma liga de cobre e zinco). Essa propriedade é hoje chamada de *resistividade* – ou seja, a oposição que um material oferece à passagem de corrente elétrica: quanto menor o valor da resistividade de um material, melhor a condução de corrente elétrica pelo mesmo³.

³ É importante distinguir resistividade de resistência (R). A resistência se refere à oposição à passagem de corrente em um circuito e pode ser descrita pela lei de Ohm ($V = R.i$). Essas grandezas são importantes para a determinação de qual é o material mais adequado para ser utilizado em situações distintas, como em circuitos eletrônicos ou instalações elétricas prediais e industriais.

Na Fig. 3, observa-se que Snow Harris utilizou unidades arbitrárias para a resistividade⁴, e que houve precisão em suas medições, pois a prata é o material metálico com menor resistividade que se tem conhecimento ($1,6 \cdot 10^{-8} \Omega.m$), seguida pelo cobre ($1,7 \cdot 10^{-8} \Omega.m$) e pelo ouro ($2,4 \cdot 10^{-8} \Omega.m$).

TABLE XXXVIII. Electrical Conduction.

	Heat evolved.	Resistance.
Silver	6	1
Copper	6	1
Gold	9	1½
Zinc	18	3
Platinum	30	5
Iron	30	5
Tin	36	6
Lead	72	12
Brass	18	3

Fig. 3 – Dados experimentais de Snow Harris sobre o comportamento de diferentes materiais metálicos. O calor liberado (“heat evolved”) representa quanto o material em questão aquecia ao ser atravessado pela eletricidade; “resistance” representa uma grandeza análoga ao que entendemos hoje por resistividade. Fonte: Daniell (1843).

VI. Em busca da pilha constante

Daniell, que começara seus estudos sobre eletricidade reproduzindo experimentos de Faraday, adquiriu independência ao perceber uma lacuna em relação aos dispositivos existentes até então para produzir e transmitir eletricidade. Em *An Introduction to the Study of Chemical Philosophy*, após fazer o apanhado histórico das ideias sobre eletricidade, Daniell discute as ideias de seus contemporâneos e chega à então importante questão das pilhas. Assim como foi aumentando a complexidade em suas descrições e relatos a respeito das ideias sobre eletricidade, também o fez ao abordar diferentes circuitos (Figura 4). Apresentou os circuitos menos complexos e a pilha de Volta, que foi assim chamada por literalmente ser uma pilha de discos de zinco e prata intercalados por um tecido ou papelão embebido em uma mistura de ácidos fortes. A ação dos ácidos provocava a corrosão dos discos de zinco e levava à produção de bolhas de gás hidrogênio, fazendo com que a pilha de Volta não produzisse eletricidade por mais do que alguns minutos.

⁴ No Sistema Internacional (SI) utilizado atualmente, a unidade para resistividade é o $\Omega.m$ (ohm vezes metro).

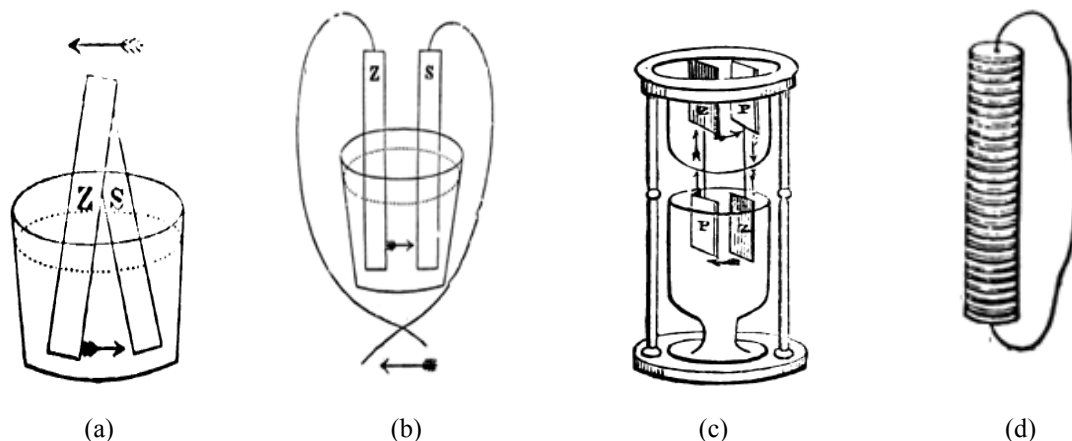


Fig. 4 – (a) Uma placa de zinco (Z) e uma placa de prata (silver, S) em contato dentro de um recipiente com um eletrólito; as setas indicam o sentido da corrente elétrica, chamada de força de afinidade pelo autor; (b) placas de zinco e prata em um recipiente contendo um eletrólito e ligadas com um fio; (c) um “circuito de copos”: duas placas de zinco (Z) e duas placas de platina (P) em recipientes diferentes com um eletrólito cada, em contato por meio de fios condutores; (d) pilha de Volta. Fonte: Daniell (1843).

Os elementos essenciais necessários à produção de corrente elétrica por uma pilha eram os componentes metálicos em contato com um meio condutor (eletrólito)⁵, e os fios ou o dispositivo (por vezes o galvanômetro) que fechasse o circuito. A pilha de Volta foi um dispositivo pioneiro na produção de corrente elétrica contínua.

Em cada uma das quatro cartas escritas por Daniell são relatados processos relacionados a variáveis envolvidas na construção da bateria constante. Na primeira comunicação de 1836, *On voltaic combinations*, foram testadas novas combinações voltaicas, isto é, diferentes arranjos estruturais de eletrodos e eletrólitos da bateria em função de necessidades técnicas. Os eletrodos anteriormente utilizados por Daniell eram de zinco e platina, e nessa comunicação ele descreveu como a utilização do par zinco e cobre permitia resolver diversos problemas técnicos que até então impediam que as pilhas mantivessem corrente constante por muito tempo. A pilha com os metais zinco e cobre e soluções de ácido sulfúrico diluído e sulfato de cobre como eletrólitos viria a ser a combinação final descrita também nas duas edições de seu livro (DANIELL, 1839a; DANIELL, 1843).

⁵ A palavra *eletrólito* originalmente se referia àquilo que provoca eletrólise, ou seja, a força de decomposição química que provocaria as separações químicas. Faraday utilizou pela primeira vez o termo, e Daniell se referiu a *eletrólito* várias vezes em seu livro. Essa palavra sofreu ressignificação e atualmente os eletrólitos são os meios pelos quais ocorre a passagem de corrente elétrica em solução ou no estado fundido, por sofrerem dissociação iônica. Existem diferentes grandezas e forças físico-químicas que influenciam a ação dos eletrólitos, como o grau de dissociação da espécie química dissolvida no meio, a força eletrolítica e o coeficiente de atividade das espécies iônicas. No contexto atual da eletroquímica, não é o eletrólito em si que provoca a condução de corrente nem a eletrólise.

Em seus primeiros estudos sobre circuitos simples, Daniell observou a rápida adesão de gás hidrogênio sobre as placas de zinco que eram submergidas em eletrólitos de ácidos fortes, o que impedia a circulação da *força de corrente* (ou corrente elétrica). Conseguiu evitar esse problema utilizando um amálgama de zinco e mercúrio como metal gerador⁶ – uma alternativa que se mostrou economicamente viável. Além disso, utilizou soluções ácidas mais diluídas do que aquelas utilizadas por Volta.

A pilha foi montada colocando a haste de zinco amalgamado no centro, sustentada em seu topo por uma haste de madeira e circundada por uma membrana obtida do tecido de esôfago de boi. A função dessa membrana era separar os eletrólitos em que os dois metais componentes da pilha estavam imersos. A pilha de Daniell não apresentava as inconstâncias de funcionamento que caracterizavam a pilha de Volta, e por isso seu inventor a designou como *célula*⁷ *constante*. A comunicação de 1836 inclui um desenho do dispositivo descrito (Fig. 5).

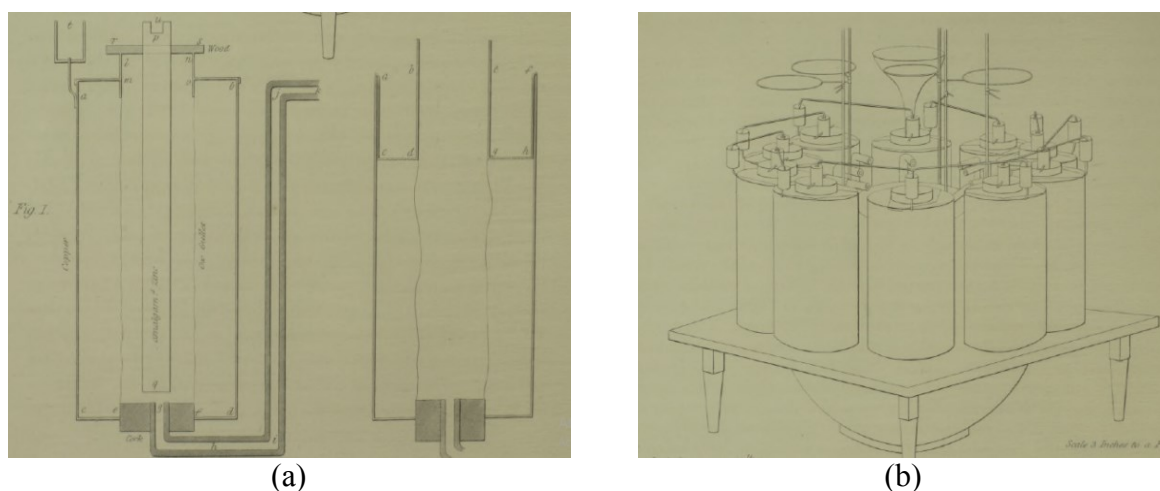


Fig. 5 – (a) Desenho da bateria constante na comunicação de Daniell de 1836. Observa-se a existência de um sifão na parte inferior e um compartimento no canto superior esquerdo (mercury cup), destinado a conter mercúrio e por meio do qual se estabelecia o contato com outras células ou com o objeto a ser submetido à eletricidade. Esses componentes foram excluídos de versões posteriores da bateria. (b) Uma associação de dez células sobre uma mesa de madeira perfurada no centro, com uma bacia na parte inferior para receber o eletrólito que era eliminado conforme mais eletrólito era manualmente derramado em cada célula com auxílio dos funis. Fonte: Daniell (1836a).

⁶ Daniell se referia ao metal menos nobre (ou seja, mais reativo) do par como *metal gerador*, por ser considerado o responsável por *gerar* a força de afinidade.

⁷ Em geral, o termo “bateria” era usado para se referir a uma associação de várias “células” – que era como Daniell chamava cada dispositivo individual. Para facilitar o entendimento pelo leitor atual, neste artigo foram utilizados os termos “célula” e “pilha” como sinônimos, e “bateria” no sentido utilizado por Daniell, de associação de pilhas.

Pode-se observar, na Fig. 5a, que abaixo da haste central de zinco há um sifão (g,h,i,j) que comunica o compartimento interno com o meio exterior, e ainda um compartimento t (no alto, à esquerda da figura), descrito como *mercury cup*. Por meio desse copo de mercúrio era possível ligar essa célula a outras. O sifão permitia o escoamento do líquido contido no cilindro interno à medida que mais porções de líquido eram despejadas por um funil, visando manter constante a concentração do eletrólito. Observa-se, ainda, que o dispositivo era montado dentro de um cilindro de cobre, que se constituía em recipiente para o segundo eletrólito sendo, ao mesmo tempo, o próprio eletrodo. Ao final dessa comunicação, Daniell concluiu:

Meu principal objetivo com essas pesquisas tem sido atingir essa constância [da corrente], mas, além disso, acredito que se observará que esta nova combinação possui vantagens que lhe garantirão uma aplicação mais geral do que imaginei a princípio. Primeiro, o fim de toda a ação local pelo recurso de se empregar o zinco amalgamado. Segundo, o insignificante custo de repor os bastões de zinco depois de desgastados (...), e a total ausência de desgaste do cobre. Terceiro, a não necessidade de se empregar ácido nítrico, e sua substituição por materiais mais baratos, sulfato de cobre e óleo de vitriolo [i.e., ácido sulfúrico]; e, posso acrescentar, a ausência de quaisquer fumos irritantes; e quarto, a facilidade e perfeição com que todas as comunicações metálicas podem ser feitas (...)
(DANIELL, 1836a, p. 124).

No ano seguinte, em 1837, Daniell escreveu “*Further observations on voltaic combinations*”, na qual se destacam suas investigações sobre a influência da temperatura sobre a ação voltaica. Daniell explicou que, diante de um inconveniente, teve que interromper um experimento, devido ao “rompimento de todas as membranas que haviam sido expostas por cinco semanas à solução ácida” (DANIELL, 1837, p. 124). Iniciou, então, uma série de tentativas para substituir o material membranoso de origem animal destinado a separar os dois eletrólitos por algum outro que suportasse as condições experimentais. Sua escolha final recaiu sobre um recipiente poroso de argila (*porous earthenware*), material que passou a ser sempre utilizado, mesmo sob temperatura ambiente e condições regulares de operação da bateria constante, conforme pode ser visto nas posteriores duas edições do livro *An Introduction to the Study of Chemical Philosophy*.

Procurando a mencionada “constância” da corrente elétrica produzida, Daniell percebeu experimentalmente que outros fatores poderiam influenciar a obtenção de eletricidade. Em sua segunda comunicação datada de 1836, e novamente em 1837, Daniell declarou que, após realizar muitos experimentos com diferentes concentrações de ácido no cilindro interno da pilha (ou seja, em contato com o bastão de zinco), concluiu ser a solução mais diluída (8 partes de água para 1 de ácido sulfúrico) a mais adequada, sendo então adotada por ele em todos os experimentos subsequentes (DANIELL, 1836b, p. 127; DANIELL, 1837, p. 141). No cilindro externo, Daniell experimentou diferentes substâncias,

como amônia, barita, sulfato de amônia, potassa e ácido muriático (clorídrico), chegando à conclusão de que os melhores resultados eram mesmo obtidos com uma solução ácida de sulfato de cobre como eletrólito colocado no cilindro externo (em contato direto com a superfície de cobre metálico) (DANIELL, 1837).

Seu foco estava voltado para as variáveis que mostraram ter influência sobre o tempo que a bateria produzia eletricidade sem que sua intensidade decaísse significativamente. A meta era a obtenção “de uma corrente⁸ invariável de força suficiente para efetuar decomposições químicas” (DANIELL, 1836b, p. 125). Já na segunda comunicação de 1836 Daniell inclui relatos de operação da bateria por 15, 20 e 24 horas ininterruptas, com pequena diminuição de sua ação, enquanto na comunicação anterior ele descrevera a operação do dispositivo por até 8 horas.

A fim de comparar o desempenho de diferentes pilhas, os pesquisadores da época tiveram que desenvolver equipamentos que pudessem, de alguma forma, quantificar a eletricidade produzida. Entre os dispositivos utilizados estavam o galvanômetro e o voltâmetro⁹. O galvanômetro era constituído por uma agulha magnética apoiada sobre um ponto, circundada por uma bobina com dois terminais, e muitas vezes compunha o elemento final de um circuito. Quando era colocado, por exemplo, entre os eletrodos de um circuito, a deflexão da agulha (medida em graus) permitia inferir a intensidade da corrente: quanto maior a deflexão da agulha, mais intensa seria a corrente pelo circuito. Porém, por mais eficaz que fosse o galvanômetro, essa era uma medida de caráter mais qualitativo do que quantitativo. Por isso, o desenvolvimento do voltâmetro se mostrou importante, pois possibilitou mensurar, de forma mais precisa, a corrente elétrica, ainda que fosse uma medida indireta.

Quando um circuito era fechado, estando os terminais do voltâmetro em contato com um eletrólito (solução aquosa de ácido sulfúrico diluído) contido em um recipiente acoplado a uma coluna de vidro graduada e fechada, imediatamente uma reação de eletrólise da água se iniciava: os gases eram coletados e seu volume era medido na coluna graduada. Inferia-se que, quanto maior a quantidade de gás coletado, maior a quantidade de eletricidade produzida pela pilha acoplada a ele (SANTOS *et al.*, 2020, p. 333). O próprio Daniell realizou experimentos buscando otimizar o funcionamento do voltâmetro criado por Faraday, a fim de comparar o desempenho de diferentes pilhas (DANIELL, 1836b, p. 125-126).

⁸ É importante observar que a concepção moderna de corrente elétrica (como movimento de cargas elétricas elementares) ainda não havia sido formulada nessa época. O que Daniell chama de *corrente* se relaciona ao que se chamava *força de afinidade oposta* e *força de corrente* estabelecidas pelos *fluidos elétricos* na produção da eletricidade. Para que a eletricidade fluísse, a força de corrente deveria ser quantitativamente superior à força de afinidade oposta.

⁹ O dispositivo aqui referido como voltâmetro não deve ser confundido com o que conhecemos hoje como voltímetro, utilizado para mensurar diferença de potencial elétrico. O nome “*voltmeter*”, usado por Daniell, pode ser entendido como uma abreviação de “*volta-electrometer*”, ou seja, eletrômetro de Volta. Esse dispositivo foi criado por Faraday para mensurar correntes elétricas, recolhendo os gases produzidos na eletrólise de uma solução aquosa: o volume de gás produzido é diretamente proporcional à corrente elétrica que atravessa o circuito.

Em outro experimento, em vez de utilizar o voltâmetro, Daniell conectou uma bateria de vinte células a um fino fio de platina de oito polegadas de comprimento, e este se aqueceu ao rubro (ficou incandescente) e assim permaneceu por um longo período de tempo (DANIELL, 1836b). Assim, além de fazer mudanças relacionadas à construção da bateria, havia interesse também em alterar o modo de fazer as observações experimentais. Neste caso, a incandescência do fio era uma evidência qualitativa da intensidade da corrente elétrica produzida.

A influência da distância entre as superfícies geradora e condutora e a extensão dos fios que conectavam uma célula a outra também foram objeto de estudo. Daniell investigou o efeito de se aproximar o metal gerador do metal condutor, diminuindo o diâmetro do cilindro de cobre – o que implicava também em diminuir a superfície do metal condutor (DANIELL, 1839b). Observou, assim, que havia uma diminuição da ação da bateria (medida pelo volume de gás produzido medida pelo voltâmetro) que era aproximadamente igual à respectiva redução da área superficial do cilindro condutor. Ao aumentar, porém, o diâmetro do cilindro de cobre, observou que a ação da bateria também diminuía. Sem ter uma explicação para esse comportamento, declarou que seriam necessárias investigações posteriores e admitiu que:

a única conclusão que neste momento podemos obter dos experimentos... é que cilindros de três e meia polegadas de diâmetro constituem placas de condução muito mais eficientes em um arranjo voltaico do que cilindros de diâmetros maiores ou menores. Deve-se ter em mente, entretanto, que isso somente foi provado com uma série de dez células, pois é altamente provável que os limites de eficiência possam mudar com o número [de células] da série (DANIELL, 1839b, p. 90).

As observações cuidadosas com relação à construção dos elementos da bateria constante, variando tamanhos e formas dos componentes em busca do melhor arranjo, levaram Daniell a fazer algumas considerações teóricas sobre como seria a pilha ideal:

Considerando um ponto de vista teórico, esses experimentos me parecem levar à conclusão de que a combinação voltaica mais perfeita consistiria em uma esfera sólida de um metal gerador, cercada por uma esfera oca de um metal condutor, com um estrato de eletrólito intermediário perpetuamente renovado e os metais se comunicando por um fio protegido do eletrólito por um tubo de vidro que cobriria a porção que necessariamente passaria através dele (DANIELL, 1836b, p. 128).

Daniell reconheceu a impossibilidade de concretizar a pilha idealizada, e concluiu: “O bastão de zinco dentro do cilindro de cobre é, provavelmente, a melhor aproximação prática que se pode fazer para esse arranjo” (DANIELL, 1836b, p. 128). A célula constante ilustrada na edição de 1843 do seu livro apresenta as dimensões dos eletrodos que resultaram no melhor desempenho: uma haste de zinco amalgamado de meia polegada de diâmetro, dentro de um cilindro de cobre de 3,5 polegadas de diâmetro.

Em outra série de experimentos, Daniell investigou os efeitos da utilização de

diferente número de células (com diâmetros padronizados) ligadas em série em diferentes arranjos, envolvendo até vinte células. Para outros experimentos, porém, utilizou ainda mais células:

Combinei agora, em uma única série, uma bateria de setenta células das mesmas dimensões, carregadas da mesma maneira, com o propósito de observar principalmente os efeitos da luz e do calor produzidos pela corrente em um estado de alta intensidade e de ação constante (DANIELL, 1839b, p. 92, grifo nosso).

Aqui, além do grande número de células, chama a atenção o fato de se utilizar a liberação de luz e calor como indicativos da ação voltaica. Daniell descreveu vários experimentos em que produziu descargas elétricas entre duas agulhas feitas de carbono, através do ar e sob vácuo, produzindo um brilho tão intenso que era prejudicial aos olhos, e o calor era capaz de provocar queimaduras semelhantes às causadas pelo Sol (DANIELL, 1839b, p. 92).

Uma interessante série de experimentos se refere ao uso da bateria voltaica para provocar a decomposição da água, recolhendo os gases formados em um recipiente fechado. Entre os objetivos de Daniell estava observar se a crescente pressão da mistura gasosa recolhida teria algum efeito sobre a ação da bateria, ou mesmo se poderia haver recombinação dos gases. Vários experimentos foram realizados, incluindo mesmo a eletrólise em um tubo de vidro hermeticamente fechado até que a pressão interna dos gases provocasse a explosão do tubo. Em nenhum caso foi observada qualquer alteração na ação da bateria, o que levou Daniell a concluir que a “força elétrica” da bateria não era afetada mesmo quando a ela se opunha a “força elástica” dos gases acumulados. Ao calcular os valores da pressão interna nos tubos, Daniell especulou se esse tipo de experimento poderia ser usado para a liquefação de gases – um assunto que era de interesse de Faraday (DANIELL, 1839b, p. 94-95).

Daniell também procurou contribuir para a nomenclatura usada em eletroquímica, seguindo os passos de Faraday – que criou, em colaboração com William Whewell (1794-1866), uma série de termos utilizados na área, como eletrodo, ânodo, cátodo, íon, ânion, cátion, eletrólito e eletrólise (ROSS, 1961). Daniell sugeriu o uso da denominação de *zincodo* para o eletrodo correspondente ao metal gerador, e *platinodo* para o eletrodo correspondente ao metal condutor – embora, em seu texto, o uso desses termos seja confuso (DANIELL, 1839b, p. 92). Diferente dos termos criados por Faraday (ressignificados ao longo do tempo, mas em uso ainda hoje), essa sugestão de Daniell acabou por cair no esquecimento.

Após anos de pesquisas, Daniell apresentou em seu livro *An Introduction...* (1839a, 1843) a versão mais aperfeiçoada de sua bateria constante (Fig. 6).

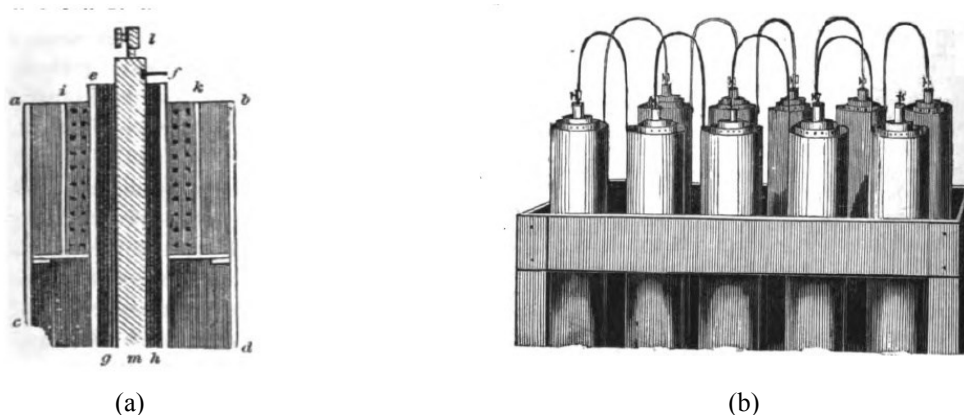


Fig. 6 – (a) Célula constante de Daniell. À esquerda, *lm* é uma haste de zinco amalgamado com mercúrio; *abcd* é um cilindro de cobre que contém todo o arranjo voltaico; *efgh* é um cilindro poroso de argila. O cilindro externo é preenchido com uma solução de sulfato de cobre saturada, e o cilindro interno com uma solução diluída de ácido sulfúrico. No recipiente perfurado *ik* é colocado sulfato de cobre sólido, para manter a solução no cilindro externo saturada; (b) Associação de dez células. Fonte: Daniell (1843).

Nem o copo de mercúrio nem o sifão aparecem nessa versão da pilha, que não necessitava desses componentes. A ilustração (Fig. 6b) mostra que a conexão entre as dez células era feita apenas com fios metálicos, dispensando o compartimento de mercúrio das primeiras pilhas de Daniell. Além disso, para manter saturado o eletrólito no cilindro externo, foram inseridos saquinhos de musselina – um tecido parecido com algodão – contendo um sal sólido de cobre, cuja dissolução o liberava vagarosamente para o eletrólito. Assim otimizadas, as associações de células produziam correntes elétricas por longos períodos de tempo. É possível observar como a pilha construída por Daniell era bem diferente dos modelos didáticos difundidos hoje: não havia recipientes separados feitos de vidro, mas recipientes concêntricos de argila porosa e cobre; um desses recipientes (cilindro externo) era o próprio eletrodo de cobre; não havia ponte salina (o contato entre os eletrólitos se dava através da argila porosa); um dos eletrólitos era ácido sulfúrico diluído, e o metal imerso nele não era zinco puro, mas amalgamado (isto é, uma liga de zinco e mercúrio).

Após otimizar o funcionamento de sua bateria constante, Daniell a utilizou em estudos sobre eletrólise. Esse dispositivo tornou-se uma ferramenta de laboratório de vários pesquisadores ingleses interessados em eletricidade, ou que precisavam de uma fonte de corrente contínua para fins específicos (OWEN, 2001).

Em sua segunda comunicação de 1836, Daniell sugeriu que a ação de sua bateria faria dela uma fonte econômica de oxigênio (por eletrólise de soluções aquosas) para uso em laboratório, destacando, portanto, um exemplo de sua utilidade prática. Pouco depois, em pós-escrito a sua comunicação de 1837, Daniell afirmou explicitamente que a bateria constante abria novas possibilidades de aplicações econômicas para a eletricidade voltaica. Fica claro, portanto, que suas motivações para o aperfeiçoamento do dispositivo não se restringiam ao

estudo da Natureza ou à eletricidade voltaica em si, mas também incluíam aspectos práticos. A bateria desenvolvida foi importante especialmente para a implantação de um sistema de comunicação em larga escala para a época, inicialmente na Inglaterra e depois entre localidades mais distantes: o telégrafo.

VII. A pilha de Daniell e o telégrafo elétrico

Na Inglaterra de meados do século XIX havia grande interesse em tornar possível a comunicação entre polos industriais ou de exploração mineral que se encontravam geograficamente distantes, bem como entre as zonas que estavam progressivamente se tornando mais urbanizadas dentro do país. O desenvolvimento econômico e industrial da Grã-Bretanha nessa época foi, em grande parte, devido à indústria têxtil abastecida com o algodão vindo de colônias, especialmente da Índia (LEONARDO *et al.*, 2009). Nesse contexto, o telégrafo elétrico foi uma invenção muito bem vinda.

A necessidade de estabelecer comunicação direta dentro do território inglês e com outros países para finalidades comerciais, especialmente com os Estados Unidos e países europeus com bolsas de valores ativas, foi atendida com o advento das redes telegráficas. Entre os anos 30 e 50 do século XIX as redes de telégrafos¹⁰ foram consolidadas e as empresas britânicas detinham o monopólio do conhecimento e da técnica para sua implantação (HUUDERMAN, 2003).

O telégrafo inaugurou uma nova era de comunicação eficiente, conectando o mundo de uma forma que não era possível anteriormente. Exemplo do impacto de sua consolidação foi a criação do Observatório Mundial, para padronizar o horário internacional (KOCHER, 2014a). Embora as redes telegráficas tenham tido um desenvolvimento relativamente rápido em duas décadas, no período anterior houve diferentes empecilhos para a sua implementação. Um deles era a necessidade de uma fonte de alimentação de corrente contínua para as redes, obstáculo para cuja superação Daniell contribuiu de maneira decisiva.

A eficiência dos telégrafos decorria de um princípio físico já bastante conhecido e explorado no século XIX: a condução de eletricidade por um material metálico. As palavras que constituíam uma mensagem eram codificadas em impulsos elétricos que deveriam percorrer a rede. As redes de transmissão consistiam em fios metálicos (inicialmente feitos de ferro e depois substituídos por fios de cobre) revestidos por materiais isolantes como resinas ou borrachas naturais, entre os quais a guta-percha, e suspensos em postes de madeira.

¹⁰ Geralmente, o uso da palavra “telégrafo” se refere aos telégrafos elétricos, ou seja, àqueles que dependiam da eletricidade para transmitir, por fios condutores, as mensagens constituídas de pulsos elétricos. Os fios podiam ser dispostos pelo ar (redes aéreas), pelo solo (redes subterrâneas) ou pelas águas (redes submarinas). Entretanto, o telégrafo elétrico não é o único tipo existente: o telégrafo visual (do tipo óptico, de sinalizações luminosas e mais simples) surgiu primeiro, como uma alternativa aos sinalizadores marítimos. Em nosso texto, a palavra “telégrafo” se refere ao tipo elétrico, porém esse não foi o único tipo utilizado nos séculos XVIII e XIX.

Nesse contexto, a bateria como fonte de eletricidade foi um componente essencial para o desenvolvimento do telégrafo. As inovações introduzidas por Daniell relacionadas aos eletrólitos e ao arranjo interno do dispositivo tornaram a bateria mais eficiente e facilitou seu uso, o que permitiu a estruturação das redes telegráficas em larga escala.



Fig. 7 – Associação de pilhas de Daniell para redes telegráficas. Fonte: <<http://www.victorianweb.org/painting/reviews/decoded1.jpg>>. Acesso em: 01 jun. 2021.

Singer (1958, p. 649) aponta três momentos importantes na evolução dos telégrafos. O primeiro foi a criação dos telégrafos eletrostáticos, como o telégrafo do espanhol Francisco Salvá y Campillo, no qual a eletricidade era armazenada em garrafas de Leiden¹¹ conectadas a fios que tinham uma letra correspondente (HIGHTON, 1852). O segundo foi o desenvolvimento dos telégrafos eletroquímicos, que utilizavam pilhas voltaicas para produzir corrente para transmitir as mensagens. O terceiro momento é caracterizado pelos telégrafos eletromagnéticos, como o de Wheatstone e Cooke, que já era um modelo comercial. Nele, havia cinco agulhas magnetizadas que estavam dispostas em um suporte de madeira; com a passagem de corrente elétrica, as agulhas se movimentavam em ângulos específicos e apontavam para a letra correspondente (KOCHER, 2014b).

Dentre os diversos modelos de telégrafo, o que mais se popularizou foi o do estadunidense Samuel Morse (1791-1872), devido a sua simplicidade e eficácia na transmissão de mensagens. Morse criou um sistema de pontos e traços, no qual cada impulso elétrico com duração de um segundo era um ponto, um impulso de três segundos era um traço. Cada letra do alfabeto e cada número eram um conjunto de pontos e traços.

¹¹ A garrafa de Leiden pode ser interpretada atualmente como uma espécie de capacitor, ou seja, um dispositivo capaz de armazenar carga elétrica. Criada em 1746 por Pieter van Musschenbroek (1692-1761), em Leiden, Países Baixos, consistia de um frasco cilíndrico revestido de um material condutor por dentro e por fora, sendo que entre eles há um material isolante. Segundo Jardim e Guerra (2018), a partir da garrafa de Leyden, quantidades significativas de carga elétrica puderam ser armazenadas, o que possibilitou e impulsionou estudos em eletricidade.

O impacto da pilha de Daniell em sua época pode ser ilustrado pelo destaque dado a ela em um livro de divulgação, dedicado aos “Triunfos e maravilhas do século XIX..., exibindo as diversas e maravilhosas conquistas que notabilizaram cem anos de progresso material, intelectual, social e moral”, conforme alardeia seu título¹². Nesse livro, há uma seção dedicada ao telégrafo, na qual o autor assinala a importância da contribuição de Daniell:

(...) até 1836, nenhuma bateria havia sido produzida que fosse suficientemente constante em seu funcionamento para fornecer o tipo de corrente necessária [para suprir os telégrafos]. Para possibilitar a telegrafia, dois passos importantes seriam ainda necessários. Um deles foi a descoberta do eletroímã, 1825-30. O outro foi a descoberta da bateria ou célula de Daniell, em 1836, por meio da qual uma corrente elétrica constante poderia ser sustentada por um longo tempo (BOYD, 1901, p. 27).

Para se ter uma dimensão do rápido crescimento da demanda por baterias para suprir as redes telegráficas, pode-se mencionar que, somente na sede do *London General Post Office* havia cerca de 20.000 células (PREECE; SIVEWRIGHT, 1876; PRESCOTT, 1860). Na central telegráfica da *Western Union Telegraph Company* em Nova York, as baterias eram organizadas em estantes que dispunham de oito prateleiras duplas, cada qual com 24 células, somando 192 células por estante (Fig. 8) (PRESCOTT, 1879).

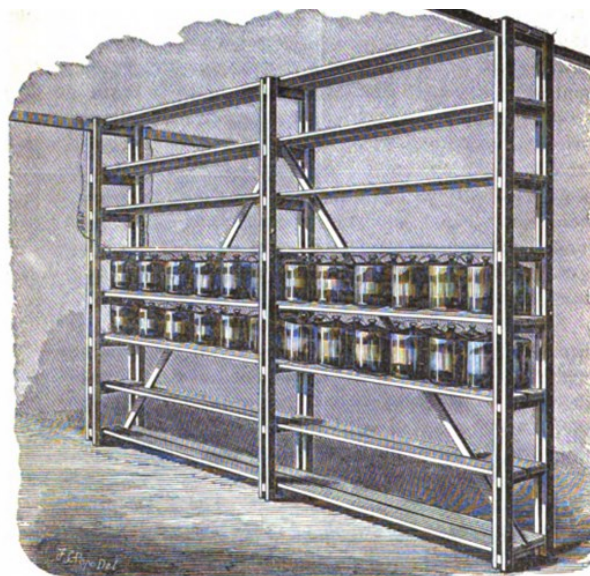


Fig. 8 – Estante de baterias na estação telegráfica da Western Union Telegraph Company, Nova York, EUA. Para melhor visualização, nessa gravura apenas duas das oito prateleiras aparecem ocupadas por baterias. Fonte: PRESCOTT (1879).

¹² O título original é: *Triumphs and wonders of the 19th century, a volume of original, historic and descriptive writings showing the many and marvellous achievements which distinguish an hundred years of material, intellectual, social and moral progress* (Boyd, 1901).

VIII. Considerações finais

O estudo de caso apresentado neste artigo permite uma série de reflexões úteis para a formação inicial e continuada de professores de ciências, no que se refere à aproximação entre o ensino e a história da ciência. Alguns aspectos da trajetória de Daniell, focalizados neste trabalho, oferecem contrapontos a imagens comumente disseminadas na mídia e mesmo em certos materiais didáticos a respeito da atividade dos cientistas.

Daniell ficou conhecido por seus trabalhos em eletroquímica, porém sua atuação científica se expandia também a outros campos do conhecimento e a atividades como a divulgação científica e a docência no *King's College* de Londres (DANIELL, 1843). Observa-se assim que a criação de uma pilha eficiente não foi um evento isolado e genial, mas parte de uma complexa carreira científica. Essa complexidade envolve também a influência de outros pensadores: o estudo dos textos publicados por Daniell revela menções a cerca de três dezenas de autores anteriores e contemporâneos, sendo Michael Faraday e William Snow Harris os mais frequentemente citados. Além disso, o desenvolvimento da pilha de Daniell não se deu de uma hora para outra: durante cerca de uma década, Daniell trabalhou em uma série de tentativas para aperfeiçoar o dispositivo capaz de produzir corrente contínua de maneira estável. A escolha dos eletrodos, por exemplo, envolveu experimentar diferentes metais, ligas e carvão mineral, e por muito tempo Daniell utilizou os pares metálicos platina e zinco, e também prata e zinco, antes de optar por cobre e zinco.

O estudo de caso também permite vislumbrar o contexto em que a pilha de Daniell foi desenvolvida, no qual o novo campo da eletroquímica era explorado por diversos pesquisadores. A bateria constante se constituiu em importante ferramenta para estudos em eletrólise e em diversas áreas, desenvolvidos pelo próprio Daniell, por Faraday e muitos outros. Também foi marcante para o estabelecimento de um dos primeiros sistemas modernos de comunicação em escala global, os telégrafos elétricos, bem como encontrou aplicação em eletrometalurgia (MERTENS, 1998). Houve, nesse caso, uma convergência muito profícua entre sociedade e ciência. Assim, esse episódio também pode contribuir para a compreensão da importância da pilha de Daniell para a história da comunicação.

Ao observar as Figuras 6 e 7, o leitor moderno verá que a construção da pilha de Daniell era bem diferente do modelo didático comumente apresentado aos estudantes na atualidade, no qual os eletrodos se encontram em béqueres separados e há uma ponte salina entre eles (Figura 1). De fato, o formato cilíndrico da pilha de Daniell, com um recipiente metálico externo e um eletrodo interno em forma de bastão, se assemelha mais às nossas conhecidas pilhas “AA” – embora, é claro, tanto os materiais condutores quanto os eletrólitos sejam bem diferentes desses dispositivos portáteis atuais.

A complexidade do processo de colaboração e comunicação entre pares que resultou, ao longo de anos, no desenvolvimento da bateria constante permanece oculto aos estudantes que se deparam com modelos idealizados da pilha de Daniell nos livros didáticos. Este estudo de caso histórico exemplifica como modelos didáticos muitas vezes estão dissociados dos

eventos, dispositivos ou conceitos científicos que os inspiraram, o que pode trazer consequências para o ensino de ciências. A perspectiva histórica pode ser útil para recuperar conhecimentos esquecidos e reaproximar conhecimento científico e conhecimento escolar, ampliando o interesse e o envolvimento dos estudantes nos diversos níveis de ensino.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior -Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001. PAP agradece ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo financiamento à pesquisa (processos 426519/2016, 307652/2017-3 e 312351/2020-8).

Referências bibliográficas

ANÔNIMO. Obituary notices of fellows deceased – Between 30th Nov. 1865 and 30th Nov. 1867. Sir William Snow Harris. **Proceedings of the Royal Society of London**, v. 16. London: Taylor and Francis, 1868, p. xviii-xxii.

BOULABIAR, A. *et al.* A historical analysis of the Daniell cell and eletrochemistry teaching in French and Tunisian textbooks. **Journal of Chemical Education**, v. 81, n. 5, p. 754-757, 2004.

BOYD, J. P. **Triumphs and wonders of the 19th century**, a volume of original, historic and descriptive writings showing the many and marvellous achievements which distinguish an hundred years of material, intellectual, social and moral progress. Philadelphia: A. J. Holman & Co., 1901.

BURNS, D. T. The state of chemistry in 1841. London Chemists and Chemistry, prior to the formation of the Chemical Society in 1841. **Analytical Proceedings**, v. 30, p. 334-337, 1993.

CUPANI, A.; PIETROCOLA, M. A Relevância da Epistemologia de Mário Bunge para o Ensino de Ciências. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 19, p. 100-125, 2002.

DANIELL, J. F. **An Introduction to the study of chemical philosophy: being a preparatory view which concur to produce chemical phenomena**. London: John W. Parker, St. Martin's Lane, 1839a.

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

DANIELL, J. F. **On voltaic combinations. In a letter addressed to Michael Faraday, D. C. L., F. R. S., Fullerian Prof. Chem. Royal Institution, Corr. Memb. Royal & Imp. Acadd. of Science, Paris, Petersburg, &c. By J. F. Daniell, F. R. S., Prof. Chem. in King's College, London** (1836a). Disponível em:

<<https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rstl.1836.0012>>. Acesso em: mai. 2021.

DANIELL, J. F. **Additional observations on voltaic combinations.** In a letter addressed to Michael Faraday, D. C. L., F. R. S., Fullerian Prof. Chem. Royal Institution, Corr. Memb. Royal & Imp. Acadd. of Science, Paris, Petersburg, &c. By J. F. Daniell, F.R.S., Prof. Chem. in King's College, London (1836b). Disponível em:

<<https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rstl.1836.0013>>. Acesso em: mai. 2021.

DANIELL, J. F. **Further observations on voltaic combinations.** In a letter addressed to Michael Faraday, Esq. D. C. L., F. R. S., Fullerian Prof. Chem. Royal Institution, Corr. Memb. Royal & Imp. Acadd. of Science, Paris, Petersburg, &c. By J. F. Daniell, F.R.S., Prof. Chem. in King's College, London (1837). Disponível em:

<<https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rspl.1830.0285>>. Acesso em: mai. 2021.

DANIELL, J. F. **Fifth letter on voltaic combinations, with some account of the effects of a large constant battery.** Addressed to Michael Faraday Esq. D. C. L., F. R. S., Fullerian Prof. Chem. Royal Institution, Corr. Memb. Royal & Imp. Acadd. of Science, Paris, Petersburg, &c. By J. F. Daniell, F. R. S., Prof. Chem. in King's College, London. (1839b). Disponível em: <<https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rstl.1839.0007>>. Acesso em: mai. 2021.

GILLISPIE, C. John Frederic Daniell. **Dictionary of Scientific Biography**, s.v. New York: Charles Scribner's Sons, 1990.

GOLD, V. Samuel Taylor Coleridge and the appointment of J. F. Daniell, F. R. S., as Professor of Chemistry at King's College London. **Notes and Records of the Royal Society of London**, v. 28, n. 1, p. 25-29, 1973.

HIGHTON, E. **The Electric telegraph: its history and progress.** London: John Weale, 1852.

HUUDERMAN, A. A. **The worldwide history of telecommunications.** Hoboken: John Wiley & Sons, 2003.

JAMES, F. A. L. John Frederic Daniell (1790-1845). **Oxford Dictionary of National Biography**, s. v. Oxford: Oxford University Press, 2004. Disponível em:

<<https://doi.org/10.1093/ref:odnb/7124>>. Acesso em: jan. 2021.

JARDIM, W. T.; GUERRA, A. A garrafa de Leiden em uma perspectiva histórica da ciência: replicando experimentos históricos e suas alternativas com materiais de baixo custo. **Física na Escola**, v.16, p. 36-43, 2018.

JUSTI, R. La enseñanza de ciencias basada en la elaboración de modelos. **Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas**, v. 24, p. 173-84, 2006.

KOCHER, J. M. Das redes telegráficas às telefônicas: delineando uma evolução. **Anais Scientiarum Historia VII**, v. 1, s. p., 2014a.

KOCHER, J. M. **Telegrafia no século XIX: ciência e técnica no contexto da industrialização**. 2014b. Dissertação (Mestrado em História das Ciências e das Técnicas e Epistemologia) - Universidade Federal do Rio de Janeiro.

LEONARDO, A. J. F. *et al.* A telegrafia eléctrica nas páginas de “O Instituto”, revista Acadêmica de Coimbra. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 31, p. 2601-1 a 2601-13, 2009.

MERTENS, J. From the lecture room to the workshop: John Frederic Daniell, the constant battery and electrometallurgy around 1840. **Annals of Science**, v. 55, n. 3, p. 241-261, 1998.

OWEN, D. The Constant Battery and the Daniell-Becquerel-Grove Controversy. **Ambix**, v. 48, n. 1, p. 25-40, 2001.

PREECE, W. H.; SIVEWRIGHT, M. A. **Telegraphy**. London: Longmans Green, 1876.

PRESCOTT, G. B. **History, theory and practice of the electric telegraph**. Boston: Ticknor and Fields, 1860.

PRESCOTT, G. B. **Electricity and the Electric Telegraph**. 3rd. ed. New York: D. Appleton, 1879.

ROSS, S. Faraday Consults the Scholars: The Origins of the Terms of Electrochemistry. **Notes and Records of the Royal Society of London**, v. 16, n. 2, p. 187-220, 1961.

SANTOS, M. C. G.; PORTO, P. A.; KIOURANIS, N. M. M. Michael Faraday rumo às Leis da Eletrólise: alguns experimentos. **Química Nova na Escola**, v. 42, n. 4, p. 330-336, 2020.

SINGER, C. *et al.* **A history of technology**. Volume IV: the Industrial Revolution, 1750 to 1850. New York: Oxford University Press, 1958.

SISTRUNK, T. O. John Frederic Daniell. **Journal of Chemical Education**, v. 29, n. 1, p. 26-28, 1952.

WALANDA, D. K. *et al.* Misconceptions sequencing the chemical processes in Daniell and electrolysis cells amongst first-year science and mathematics education university students. **Journal of Science Education**, v. 18, p. 113-116, 2017.



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