

3.0 ESTUDO DE CASO HISTÓRICO

Neste estudo de caso histórico é apresentada uma breve exposição da biografia de Daniell, seguida por uma apresentação mais detalhada do processo de desenvolvimento de sua pilha.

3.1 John Frederic Daniell – esboço biográfico

John Frederic Daniell (Figura 06) nasceu em 12 de março de 1790 em Strand, um pequeno distrito de Londres, localidade em que foi educado formalmente (SISTRUNK, 1952). Desde jovem possuía afinidade pela investigação da Natureza. Seguindo tradições da época e também por interesse pessoal, seus pais – George Daniell, jurista, e Louisa Hahn – preocuparam-se em fornecer uma educação de qualidade para o filho, que a recebeu em casa (GILLISPIE, 1990). Daniell era de religião anglicana, assim como a maioria da população de seu país.

Desde jovem, frequentou palestras que abrangiam diversos assuntos da filosofia natural. Isso foi muito importante para que aguçasse e intensificasse seus interesses pessoais e também estreitasse laços com pessoas que já estavam nesse meio. Em 1812, com apenas 22 anos, se associou à *Royal Institution*², sendo aceito como membro oficial em 1819. Entre os anos de 1828 até sua morte, foi o responsável pela seção de química das comunicações oficiais da *Royal Institution*. Seu ingresso na instituição foi intermediado pelo químico William Thomas Brande (1788-1866), cujas conferências na *Anatomy School of Great Windmill Street* Daniell assistiu por diversas vezes (JAMES, 2004).

² A *Royal Institution of Great Britain* é uma instituição fundada em Londres em março de 1799 com o objetivo de promover divulgação científica e tecnológica para o público leigo (<https://www.rigb.org/>). Acesso em 8 maio 2021).



Figura 06: John Frederic Daniell.

FONTE: <https://www.worldofchemicals.com/205/chemistry-articles/john-frederic-daniell-inventor-of-daniell-cell.html> .
Acesso em 8 maio 2021.

Daniell começou a trabalhar em uma refinaria de açúcar de um parente em 1808, e por lá ficou durante 13 anos (GILLISPIE, 1990), o que também contribuiu para seu envolvimento com processos químicos. Havia um interesse particular em melhorar os rendimentos e os processos de obtenção de açúcar, que era um produto caro e raro na Europa do século XIX. A produção de açúcar motivou processos de colonização de outros países pelos europeus, inclusive pela Inglaterra. Na refinaria, executou trabalhos manuais e foi também administrador. Trabalhou posteriormente como diretor na *Continental Gas Company*, pela qual visitou cidades na Alemanha e na França para estudar possibilidades de iluminação pública (DAINTITH *et al.*, 1981).

Em setembro de 1817, Daniell casou-se com Charlotte Rule, com quem teve sete filhos: dois homens e cinco mulheres. Foram casados por dezessete anos até a morte de Charlotte em 1834 – um duro golpe para Daniell, cuja saúde foi se deteriorando até seu falecimento em 1845 (JAMES, 2004). Os trabalhos fora das instituições científicas não o afastaram de seu grande interesse pela filosofia natural: manteve seus estudos empíricos de forma simultânea com sua vida profissional. 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 que se refere a proteger as embarcações de relâmpagos (GILLISPIE, 1990).

Daniell também trabalhou intensamente com meteorologia. Em 1823, reuniu e publicou mais de duas dezenas de trabalhos sobre diferentes aspectos de seus estudos

atmosféricos, geológicos e climáticos, em um livro que ganhou três edições: o *Meteorological Essays* [Ensaio Meteorológico]. Realizou estudos também em cristalografia, buscando compreender a estrutura de diferentes minerais, além de dissertar sobre a cristalização e densidade de sais. Tinha ainda outro grande interesse: criar dispositivos que possibilitassem a experimentação da Natureza (BOULABIAR *et al.*, 2004).

Além de seu empreendimento mais famoso, a pilha que leva seu nome, é importante destacar outras contribuições não tão conhecidas de Daniell, como o barômetro de água (um instrumento utilizado para medir pressão atmosférica), o pirômetro (instrumento para medida de calor) e o higrômetro de ponto de orvalho. Em 1820, desenvolveu esse higrômetro para medir umidade atmosférica, instrumento que ainda é utilizado atualmente. Com a utilização de seu barômetro, as medições de pressão atmosférica da Inglaterra foram as mais precisas por muitos anos (GILLISPIE, 1990). 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 também por suas contribuições em termos de 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 Companhia das Índias Orientais. Também esteve diretamente envolvido com a fundação da *Chemical Society of London* (1836). Seus contatos profissionais e seu renome fizeram com que em 7 de fevereiro de 1831 fosse convidado para lecionar química no recém fundado *King's College* de Londres, local onde viria a desenvolver os estudos empíricos em eletroquímica pelos quais ficou mais conhecido (GOLD, 1973).

No *King's College*, antes de se dedicar integralmente à eletroquímica, trabalhou com o estudo de espectros de gases, em parceria com William Allen Miller (1817-1870). Preocupado em lecionar da melhor forma possível e também em atingir os alunos iniciantes em química, publicou em 1839 o já mencionado livro *An Introduction to the Study of Chemical Philosophy*. Uma segunda edição, revisada e com mais conteúdos, foi publicada em 1843, indicando a preocupação do autor em manter o público atualizado sobre os conhecimentos

mais recentes. Na folha de rosto de ambas edições desse livro, Daniell se identifica apresentando suas diferentes práticas profissionais, evidenciando assim sua versatilidade ao assumir diferentes papéis nas instituições em que trabalhou (Figura 07).

AN INTRODUCTION
TO
THE STUDY
OF
CHEMICAL PHILOSOPHY:
BEING A PREPARATORY VIEW OF
THE FORCES WHICH CONCUR TO THE PRODUCTION
OF
CHEMICAL PHENOMENA.

BY
J. FREDERIC DANIELL, F.R.S.;
PROFESSOR OF CHEMISTRY IN KING'S COLLEGE, LONDON;
LECTURER ON CHEMISTRY AND GEOLOGY IN THE HON. EAST INDIA COMPANY'S MILITARY
SEMINARY AT ADDISCOMBE;
AND AUTHOR OF "METEOROLOGICAL ESSAYS."



LONDON:
JOHN W. PARKER, WEST STRAND.
M.DCCC.XXXIX.

(a)

AN
INTRODUCTION TO THE STUDY
OF
CHEMICAL PHILOSOPHY:
BEING
A PREPARATORY VIEW OF THE FORCES WHICH
CONCUR TO THE PRODUCTION
OF
CHEMICAL PHENOMENA.



BY
J. FREDERIC DANIELL, For. Sec. R.S.;
PROFESSOR OF CHEMISTRY IN KING'S COLLEGE, LONDON;
LECTURER ON CHEMISTRY AND GEOLOGY IN THE HON. EAST INDIA COMPANY'S MILITARY
SEMINARY AT ADDISCOMBE;
AND AUTHOR OF "METEOROLOGICAL ESSAYS."



THE SECOND EDITION, REVISED AND ENLARGED.

LONDON:
JOHN W. PARKER, WEST STRAND.
M.DCCC.XLIII.

(b)

Figura 07: Folhas de rosto das duas edições de *An Introduction to the Study of Chemical Philosophy*. Destaque para a forma como o autor é apresentado: “Professor de química no King’s College, Londres; Professor de química e geologia no Honorável Seminário Militar da Companhia das Índias Orientais em Addiscombe, e autor de *Ensaio Meteorológicos*”: (a) primeira edição (1839) e (b) segunda edição (1843). **FONTE:** Daniell (1839a; 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, e passou a se dedicar integralmente à eletroquímica. Em *An Introduction to the Study of Chemical Philosophy*, manifestou seu desejo de que as pessoas conhecessem o trabalho de Michael Faraday. Suas próprias inquietações o levaram a uma independência de atuação, e à invenção de um novo dispositivo, capaz de fornecer uma corrente elétrica contínua por um intervalo de tempo considerável para a época. Os dispositivos até então tinham um de seus constituintes metálicos, sendo zinco o mais utilizado, corroído pelo eletrólito, ou apresentavam outros inconvenientes que não permitiam o funcionamento do dispositivo como desejado.

Daniell dedicou quase uma década a sua pesquisa para a melhoria da pilha voltaica, e obteve êxito: seu dispositivo se tornou uma referência em termos de suprimento de eletricidade. A bateria constante também foi utilizada como um instrumento auxiliar importante em outras pesquisas que precisavam de uma fonte de eletricidade. O próprio Daniell a utilizou por muito tempo em seus estudos sobre o fenômeno da eletrólise, e em outras investigações sobre as afinidades químicas, a circulação dos então chamados *fluidos elétricos* por circuitos voltaicos, a influência da temperatura sobre a própria bateria, entre outras. Esteve em constante comunicação com Faraday, de quem veio a se tornar muito próximo (Figura 08) (DANIELL, 1836a; DANIELL, 1837; DANIELL, 1839; DANIELL, 1843).

Além de se mostrar muito útil para as pesquisas da época, sua bateria foi importante para suprir eletricidade para a rede de telégrafos em toda a Inglaterra, o que será mais detalhado adiante. Na eletrometalurgia, a pilha de Daniell foi um dispositivo muito utilizado em processos de eletrodeposição (MERTENS, 1998). Em meados do século XIX, com a crescente urbanização e industrialização dos centros europeus, era extremamente necessário e urgente que novas formas de comunicação se tornassem eficientes, assim como processos industriais economicamente relevantes, como a mineração e a metalurgia.

Daniell foi um dos poucos estudiosos agraciados com todas as honrarias da *Royal Society*: além da *Medalha Rumford*, recebeu por sua bateria e seus estudos em eletroquímica a *Medalha Copley* em 1836 e a *Royal Medal* em 1842. Profundamente 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).

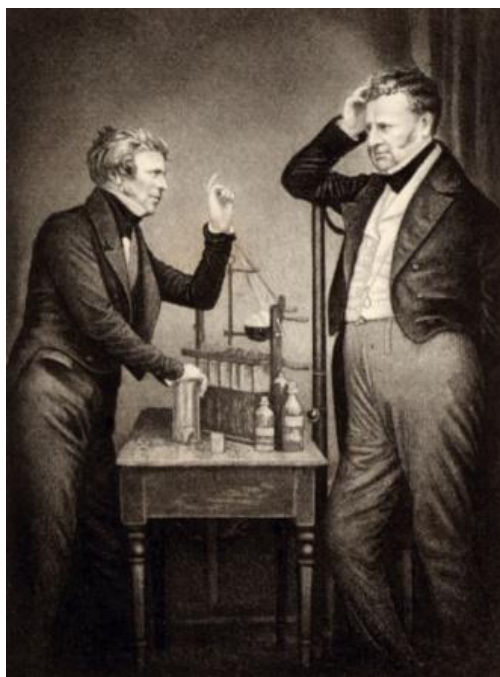


Figura 08: Michael Faraday (à esquerda) e Daniell (direita). **FONTE:** *Encyclopaedia Britannica* (<https://www.britannica.com/biography/John-Frederic-Daniell> . Acesso em 8 maio 2021).

3.2 As publicações de Daniell sobre a pilha

Para compreender o processo de construção e desenvolvimento da pilha de Daniell, recorreremos aos documentos primários especificados na Tabela 01. As seções a seguir descrevem a análise dessas fontes primárias.

3.2.1 *An Introduction to the Study of Chemical Philosophy: being a preparatory view which concur to the production of chemical phenomena*

É possível notar, pelo próprio título do livro, 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 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. As duas edições de *An Introduction to the Study of Chemical Philosophy* foram preparadas enquanto lecionava no *King's College*, onde desenvolvia pesquisas experimentais e demonstrações públicas. Segundo o autor, a química era uma ciência experimental e não deveria ser ensinada sem que

os pupilos tivessem contato com o aspecto prático da filosofia química: “A química é uma ciência experimental (‘todas suas induções são fundamentadas sobre fenômenos palpáveis’), e é por isso que um curso de química precisa incluir demonstrações experimentais” (DANIELL, 1843, p. 22-23).

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 e a filosofia química, que seriam instâncias distintas do conhecimento (DANIELL, 1843). Isso mostra um empenho em materializar oportunidades para que as pessoas vivenciassem a química de forma significativa:

Não foi parte do meu plano construir um sistema ou um manual de química: já existem diversos trabalhos excelentes que tornam esse esforço completamente desnecessário. Mas mantenho a esperança de que as páginas que se seguem sejam consideradas como uma preparação adequada para o estudo de tais sistemas [de química] (DANIELL, 1839a, p. ix).

Além de possibilitar que as pessoas pudessem conhecer a filosofia química como um todo, 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, 1839, p. v). Na dedicatória que consta das duas edições, Daniell escreveu:

Meu caro Faraday, a você dedico esta tentativa de colocar entre os elementos da Ciência as grandes descobertas com as quais você adornou esta era prolífica. Sei que você não ficará descontente por eu havê-las considerado capazes de ser transformadas em objeto de ensino familiar.

O sucesso deste humilde esforço, não falhando meu propósito, será devido a você. Pois a seu gentil encorajamento e a suas sempre prontas explicações devo as facilidades que desfrutei ao segui-lo de perto em sua esplêndida carreira (DANIELL, 1839, p. v).

Pode-se dizer que *An Introduction to the Study of Chemical Philosophy* tinha dois objetivos: um, mais específico, em relação aos resultados e experimentos de Faraday; outro, mais geral, relacionado à arte e filosofia química. As duas edições do livro são muito abrangentes em termos de conteúdo: incluem conhecimentos não só do campo da química, mas também da física, como gravidade, calor, luz, magnetismo, além de outros, como os estudos empíricos sobre fenômenos atmosféricos, feitos pelo próprio autor e por outros contemporâneos seus. É possível observar essa abrangência de conteúdos no sumário da segunda edição, reproduzido nas Figuras 09 e 10.

TABLE OF CONTENTS.

SECTION	PAGE
I. MATTER AND FORCE	1
Varieties of Force	11
II. GRAVITY AND WEIGHT	20
Specific Gravity	26
III. ELASTICITY AND THE ATMOSPHERE	29
Elastic Fluids	30
Sound	43
IV. HOMOGENEOUS ATTRACTION	46
V. HETEROGENEOUS ADHESION	58
Capillary Attraction	60
Endosmose, &c.	72
VI. CRYSTALLIZATION	78
Polyhedral Atoms	89
Spherical Atoms	92
Systems of Crystals	95
VII. HEAT	99
Expansion	102
Temperature	104
Conduction of Heat	120
Convection	125
Heat of Composition	130
VIII. LIGHT	165
Theories of Light	168
Decomposition of Light	180
Double Refraction	193
Polarization	195
IX. RADIANT HEAT	208
Diathermancy	219
Differences of Caloric Rays	223
X. ELECTRICITY	228
Electrical Induction	244
Electrical Charge	258
Electrical Discharge	270
Atmospheric Electricity	287

Figura 09: Primeira página do sumário da segunda edição de *An Introduction to the Study of Chemical Philosophy*. FONTE: Daniell (1843).

TABLE OF CONTENTS.

	PAGE
XI. MAGNETISM	203
Terrestrial Magnetism	300
XII. CHEMICAL AFFINITY	306
Classical Elements	307
Laws of Composition	325
Non-Metallic Elements	372
Metallic Elements	423
Secondary Combinations	431
Theory of Salts	433
Concurrence of Forces	440
Photography	453
XIII. CURRENT AFFINITY	462
Simple Circuits	464
Ohm's Formula	488
Compound Circuits	496
Variable Resistances	514
XIV. LAWS OF ELECTROLYSIS	525
Electrolysis of Primary Compounds	526
Electrolysis of Secondary Compounds	532
Applications of Electrolytic Force	550
XV. THERMO ELECTRICITY	554
Electro-Thermancy	559
XVI. ELECTRO-MAGNETISM	560
Applications of Electro-Magnetic Force	574
Electro-Magnetic Machines, Telegraph, &c.	575
XVII. MAGNETO-ELECTRICITY	581
Magneto-Electric Machines	586
XVIII. ANIMAL ELECTRICITY	595
XIX. ORGANIC CHEMISTRY	602
Ultimate Organic Analysis	606
Alimentary Principles	613
Non-Alimentary Principles	621
XX. METAMORPHOSES OF ORGANIC PRODUCTS	641
Fermentation	642
Etherification, &c.	646
Pyrogenous Products	674
XXI. ATOMIC THEORY	677

Figura 10: Segunda página do sumário da segunda edição de *An Introduction to the Study of Chemical Philosophy*. FONTE: Daniell (1843).

Os objetivos de Daniell determinaram a forma pela qual ele construiu seu tratado. Buscando que o leitor tivesse condições de reproduzir seus procedimentos, forneceu as instruções necessárias. Para além de suas explicações, ele também abordou se determinado conteúdo deveria ser ensinado naquele momento:

Tais visões [*i.e.*, *hipóteses sobre a eletricidade*], entretanto, **não devem ser apresentadas a iniciantes na ciência**, e provavelmente não será na época atual que o professor será capaz de dispensar os andaimes com cuja assistência o tecido da ciência da eletricidade foi construído em suas dimensões e proporções presentes (DANIELL, 1843, p. 233, grifo nosso).

Ainda nessa página, Daniell também forneceu indicações sobre como o público deveria entender o que se abordava no livro, referindo-se às hipóteses sobre os *fluidos elétricos*:

(...) o estudante **nunca deve esquecer** que tais fluidos hipotéticos podem não ter existência real, e que as ações peculiares para as quais se recorre a eles para explicar podem ser atribuíveis a poderes com as quais a matéria pode ser dotada, sem a intervenção de qualquer meio que tenha sido imaginado (DANIELL, 1843, p. 233, grifo nosso).

O texto foi delineado de modo a culminar no estudo dos fenômenos elétricos em conjunto com os dispositivos que vinham sendo desenvolvidos. 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 a química.

Nesse contexto, aborda as observações referentes a atração e repulsão elétricas. Uma pena, quando aproximada de um bastão de vidro previamente esfregado em um lenço de seda ou outro material, poderia ser atraída ou repelida pelo bastão (Figura 11). As proposições e elaborações teóricas para explicar esses fenômenos se referem, de alguma forma, a entidades que se opõem e assim se complementam para atingir um estado neutro. As proposições se inspiravam em analogias com entidades de caracteres opostos que se manifestam na Natureza por meio de comportamentos antagônicos.

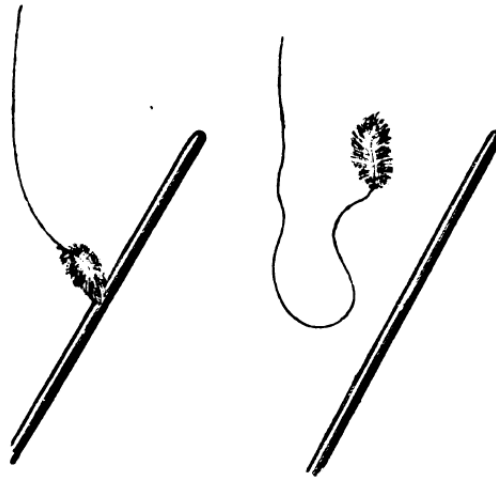


Figura 11: Atração e repulsão de corpos em diferentes estados (vítreo e resinoso). **FONTE:** Daniell (1843).

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). As denominações *vítreo* e *resinoso* tinham origem nas evidências observadas em experimentos como o descrito acima com uma pena, nos quais o uso de um bastão de vidro ou um bastão de resina geravam resultados opostos. Os pressupostos mecanicistas³ que guiavam as teorias da época permitem compreender por que se falava especificamente sobre fluidos. 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. Daniell aborda ambas as teorias, e racionaliza a respeito de sua veracidade:

De acordo com a teoria de Du Fay, os dois estados são denominados vítreo e resinoso; de acordo com a teoria de Franklin, eles são distinguidos como positivo e negativo. É óbvio que ambas as hipóteses não podem ser verdadeiras; e, de fato, pode ser demonstrado que nenhuma delas nos apresenta os processos ou mecanismos reais dos fenômenos (DANIELL, 1843, p. 222).

³ O mecanicismo pode ser entendido como um conjunto de concepções segundo as quais “a natureza, o mundo e o universo eram estudados, entendidos e tidos a partir de uma ordem mecânica, objetiva e exterior ao homem” (SOARES, 2007, p. 11). Tais concepções de uma ciência mecanicista, empirista e experimental se desenvolveram a partir do século XVII e podem ser encontradas, por exemplo, nos *Philosophiae naturalis principia mathematica* e na *Opticks* de Isaac Newton (1643-1727). Os fenômenos naturais eram então explicados em termos de entidades materiais, como no caso da eletricidade, que seria constituída pelos fluidos elétricos.

Daniell reconhece que as proposições teóricas então disponíveis ainda não eram capazes de explicar completamente os fenômenos, porém se inclina para a teoria de Du Fay, embora não deixe exatamente claro o porquê.

A experimentação a respeito da ciência elétrica sempre foi acompanhada pela invenção de dispositivos. Isso decorre de uma necessidade intrínseca aos estudos, uma vez que o objeto de investigação não é visível ou palpável. Inicialmente, quando era necessário identificar fluidos elétricos, ou corpos sob sua ação, lançava-se mão do eletrômetro de folhas de ouro. Nele, finas folhas de ouro, suspensas por um fio de seda sob influência de algo que estivesse eletrizado, podiam se aproximar (atração) ou se afastar (repulsão). Conforme o movimento dessas folhas, inferia-se sobre a eletricidade do objeto de estudo que foi aproximado ou conectado ao eletrômetro. Também era necessário produzir os *fluidos elétricos* de alguma forma para serem estudados. Surgiram, então, aparatos com essa finalidade, como as chamadas máquinas elétricas cilíndricas e de placas, que produziam por atrito os *fluidos elétricos* de interesse (DANIELL, 1843).

Além do comportamento desses *fluidos*, buscou-se compreender 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.

Snow Harris nasceu em 1º. de abril de 1791 em Plymouth, Inglaterra. Após concluir seus estudos de medicina em Edimburgo, trabalhou 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: “*Experimental Investigations about magnetic forces laws*”

[Investigações experimentais acerca das leis das forças magnéticas]. Os estudos e dispositivos inventados por Snow Harris para investigar a eletricidade chamaram a atenção do presidente da *Royal Society*, Sir Humphry Davy, que o convidou para uma conferência. Snow Harris apresentou o trabalho “Sobre os poderes relativos de várias substâncias metálicas como condutores de eletricidade”. Depois disso, se tornou membro da *Royal Society*. Foi agraciado com a *Medalha Copley* por suas contribuições à compreensão dos fenômenos relacionados a eletricidade de alta tensão (TOMLINSON, 2019). Snow Harris faleceu em janeiro de 1867, na mesma localidade em que nasceu.

Snow Harris estudou as relações entre magnetismo e eletricidade, e criou máquinas elétricas cilíndricas e de placas que foram extremamente úteis para o estudo dos *fluidos elétricos* 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), estudou como diferentes materiais metálicos se comportavam e produziam calor diante da passagem de *fluidos elétricos* (Figura 12). Seus dados experimentais foram apresentados por Daniell em *An Introduction to the Study of Chemical Philosophy*, 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.

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

Figura 12: Dados experimentais de Snow Harris sobre o comportamento de diferentes materiais metálicos.

FONTE: Daniell (1843).

O trabalho de Snow Harris foi pioneiro e trouxe importantes contribuições para outros estudos da área. Os dados experimentais apresentados na Figura 12 mostram diferentes

materiais tratados da mesma forma: o latão é uma liga metálica (cobre e zinco), e aparece junto a metais puros. A propriedade intensiva que Snow Harris estava medindo, identificada na Figura 12 como *resistance*, é o que chamamos hoje de resistividade – ou seja, a oposição que um material oferece à passagem de corrente elétrica⁴.

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, discute as ideias de seus contemporâneos e chega à então importante questão das pilhas. Sua abordagem para essa questão constitui nosso principal objeto de pesquisa.

Assim, foi aumentando a complexidade em suas descrições e relatos a respeito das ideias sobre eletricidade, também o fez ao abordar diferentes circuitos. Os primeiros a serem apresentados são os menos complexos (Figura 13).

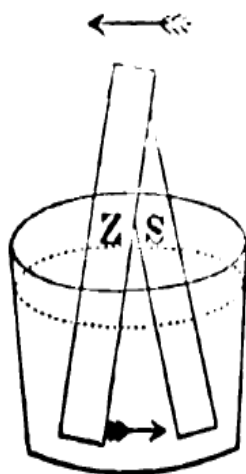


Figura 13: Circuito simples. As flechas indicam o caminho da “força de afinidade”. As placas metálicas em questão são compostas por zinco (*zinc = z*) e prata (*silver = s*). Ou seja, a *força circulante* migra do zinco (*generating cell*) para a prata (*conducting cell*), e em seguida da prata para o zinco. **FONTE:** Daniell (1843).

⁴ Snow Harris utilizou unidades arbitrárias para a resistividade. No Sistema Internacional (SI) utilizado atualmente, a unidade para resistividade é o $\Omega \cdot m$ (ohm vezes metro). Quanto menor o valor da resistividade de um material, melhor a condução de corrente elétrica pelo mesmo. Snow Harris mostrou precisão em suas medições, pois a prata é o material metálico com menor resistividade que se tem conhecimento ($1,6 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot m$), seguida pelo cobre ($1,7 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot m$) e pelo ouro ($2,4 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot m$). 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 ($V = R \cdot i$). 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.

As primeiras observações sobre placas metálicas submersas em líquidos específicos levaram à conclusão de que não era necessário que os metais estivessem em contato direto: bastava que alguma conexão fosse estabelecida entre as placas para que se notasse a condução de eletricidade. Tal evidência era posta à luz com o auxílio de um galvanômetro, ou mesmo de um eletrômetro de folhas de ouro. A conexão poderia ser feita por meio de fios, sendo que as placas metálicas poderiam ser apenas um par, ou mais de um (Figuras 14 e 15). Em qualquer dos casos, a conexão deveria ser estabelecida para que o circuito fosse fechado e assim a “força circulante” pudesse entrar em ação.

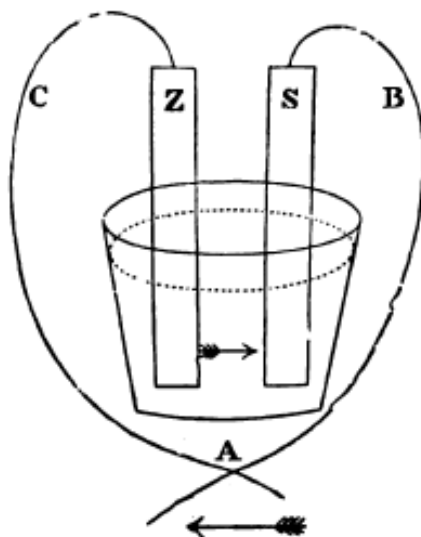


Figura 14: Circuito simples com fio condutor. **FONTE:** Daniell (1843).

A designação utilizada – “circuito” – para se referir aos arranjos voltaicos implica em concepções sobre o comportamento dos *fluidos elétricos* nesses sistemas. O movimento dos *fluidos* teria uma trajetória muito bem definida, com um ponto inicial e final:

Temos agora que considerar como o **impulso que é derivado do zinco** é transmitido através do líquido até a platina. A **força gerada** é comumente descrita como uma corrente, como a de algum fluido imponderável, fluindo do zinco através do líquido até a platina, e de volta através do fio até o zinco. A corrente pode ser concebida facilmente como sendo constituída por uma **sucessão de impulsos**, comunicados à distância através de condutores apropriados, como em uma geração perpétua de um fluido. Assim, por outro lado, as vibrações de um corpo elástico podem ser consideradas como uma corrente de força mecânica (DANIELL, 1843, p. 471-472, grifos nossos).

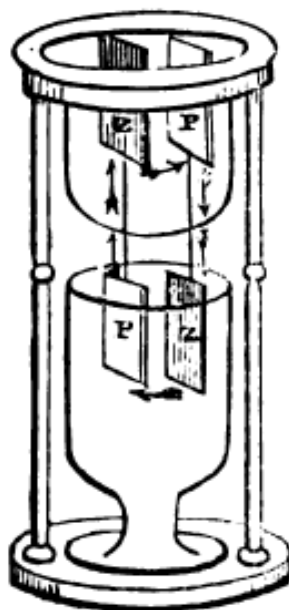


Figura 15: Circuito no qual as placas metálicas se encontram em dois recipientes e se conectam por fios. Aqui, os eletrodos são formados por zinco (*zinc = z*) e platina (*platinum = p*). Novamente, as flechas indicam a trajetória da força de corrente e para isso ocorrer é necessário que as placas metálicas estejam intercaladas. **FONTE:** Daniell (1843).

Estava claro para Daniell que a composição dos materiais constituintes dos circuitos era um fator essencial para seu funcionamento. Portanto, para além da existência dos *fluidos elétricos*, havia outras elaborações teóricas que deveriam justificar esse comportamento. Durante um longo tempo, houve debates sobre a natureza da eletricidade, como o conhecido entre Alessandro Volta (1745-1827) e Luigi Galvani (1737-1798). Para Volta, o fator essencial para a geração de eletricidade era o contato entre metais dissimilares, e para Galvani era a “eletricidade animal”, ou seja, os organismos carregavam consigo essa propriedade (MARTINS, 1999). Os aspectos químicos se mostraram essenciais para embasar teoricamente os estudos sobre as pilhas voltaicas, entre eles a composição dos eletrodos, que seria responsável pela ação voltaica de todo e qualquer circuito (DANIELL, 1843).

A afinidade química promoveria a “força de corrente”, e nos circuitos sempre haveria o contraponto da afinidade oposta. Quando a ação química se iniciava, o declínio da atividade do eletrólito, o consumo de um eletrodo, a resistência à passagem de corrente pelo meio líquido ou pelos próprios eletrodos, seriam decorrentes da afinidade oposta. Assim, o que fazia qualquer arranjo voltaico funcionar eram as afinidades circulantes. A afinidade química e a afinidade oposta eram chamadas de afinidades concorrentes: para que os *fluidos elétricos*

percorressem satisfatoriamente uma bateria, a afinidade química deveria se sobrepor à afinidade oposta.

O uso de determinados dispositivos também foi importante para o avanço dos estudos sobre as pilhas. Destaca-se o uso do galvanômetro⁵ (Figura 16), utilizado para detectar uma corrente, e também do voltâmetro⁶ (Figura 17), com o qual foi possível não só identificar as afinidades químicas que produziam correntes, mas também mensurar a corrente elétrica.

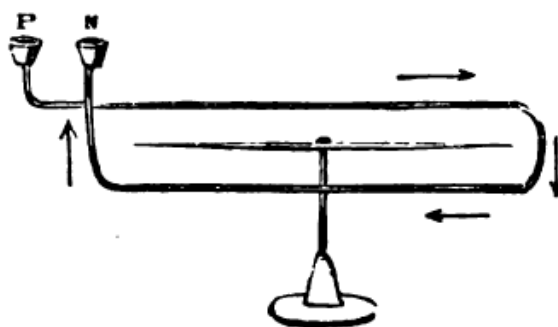


Figura 16: Galvanômetro. As letras P e N indicam os terminais positivo e negativo, respectivamente.

FONTE: Daniell (1843).

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 entre os eletrodos de um circuito, por exemplo, através da deflexão de sua agulha (medida em graus), inferia-se a intensidade da corrente. Logo, 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 qualitativo. Por isso, o desenvolvimento do voltâmetro se mostrou importante, pois possibilitou mensurar, de forma quantitativa e precisa, a corrente elétrica, ainda que fosse uma medida indireta.

No caso do voltâmetro, quando o circuito era fechado, estando os eletrodos em contato com o eletrólito (solução aquosa de ácido sulfúrico diluído), imediatamente uma reação de

⁵ O princípio de funcionamento do galvanômetro foi resultado principalmente de estudos experimentais do físico dinamarquês Hans Christian Ørsted (1777-1851), que em 1820 observou haver relação entre magnetismo e eletricidade: correntes elétricas são capazes de gerar campos magnéticos, o que anos mais tarde seria matematizado por James Clerk Maxwell (1831-1879).

⁶ O dispositivo aqui descrito 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.

eletrólise da água se iniciava: os gases eram coletados e seu volume era medido em um tubo de vidro graduado. Inferia-se que, quanto maior a quantidade de gás coletado, maior a corrente produzida pela pilha acoplada a ele.

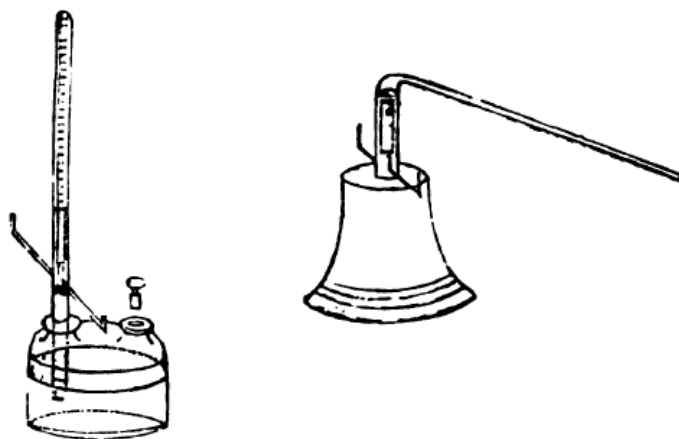


Figura 17: Voltímetros utilizados para mensurar corrente elétrica. **FONTE:** Daniell (1843, p. 500).

Os elementos essenciais necessários à produção de corrente elétrica por uma pilha eram os componentes metálicos em contato com um meio condutor (eletrólito)⁷, e os fios ou o dispositivo (por vezes o galvanômetro) que fechasse o circuito. A pilha de Volta (Figura 18) foi um dispositivo pioneiro na produção de corrente elétrica contínua. O dispositivo original construído pelo estudioso italiano era, literalmente, uma pilha de discos de zinco e prata intercalados (DANIELL, 1843, p. 501). Entre cada par metálico era colocado um disco de tecido ou papelão embebido em uma mistura de ácidos fortes (ácido nítrico e sulfúrico). A ação dos ácidos sobre os discos de zinco levava a sua corrosão e a pilha não funcionava por mais do que alguns minutos.

⁷A palavra eletrólito originalmente se refere àquilo que provoca eletrólise, ou seja, a força de decomposição química que, associada ao meio experimental, 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.

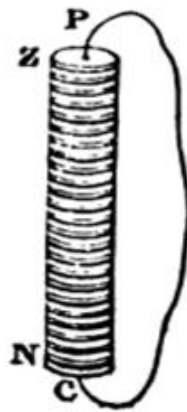


Figura 18: Pilha de Volta, constituída por discos de zinco e prata alternados, intercalados por discos de papelão embebidos em solução ácida. **FONTE:** Daniell (1834).

Considerando essas limitações, Daniell procurou formas de superá-las. Promoveu mudanças no eletrólito, diluindo-o em relação ao eletrólito da pilha de Volta. Esse eletrólito foi colocado em contato com a superfície metálica considerada “geradora” (ou seja, o metal mais reativo do par utilizado na pilha), enquanto uma solução saturada de sulfato de cobre foi utilizada como eletrólito em contato com o outro metal (no caso, cobre), moldado de forma a constituir um cilindro externo ao arranjo. Em seu arranjo mais elaborado, o cilindro interno, contendo o eletrólito diluído, era feito de argila, o que permitia o contato entre os eletrólitos mas também impedia que estes se misturassem rapidamente. A pilha de Daniell não apresentava as inconstâncias de funcionamento que caracterizavam a pilha de Volta, e por isso seu inventor a designou como *bateria*⁸ *constante* (Figuras 19 e 20).

⁸ 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, nesta dissertação foram utilizados os termos “célula” e “pilha” como sinônimos, e “bateria” no sentido utilizado por Daniell, de associação de pilhas. No uso atual em língua inglesa, a palavra *battery* pode designar tanto uma pilha quanto uma bateria. Em português, bateria se refere a uma associação de pilhas em série ou em paralelo.

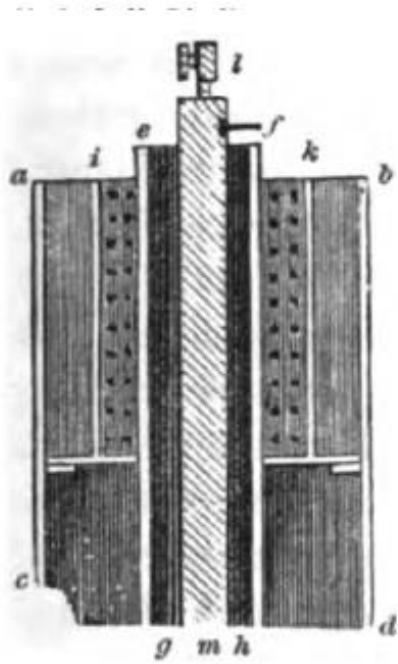


Figura 19: Bateria constante de Daniell. *lm* é uma haste de zinco amalgamado com mercúrio; *abcd* é um cilindro de cobre que contém todo o arranjo voltaico; *efgh* é um cilindro poroso de argila. O cilindro externo é preenchido com uma solução de sulfato de cobre saturada, e o cilindro interno com uma solução diluída de ácido sulfúrico. No recipiente perfurado *ik* é colocado sulfato de cobre sólido, para manter a solução no cilindro externo saturada. **FONTE:** Daniell (1843).

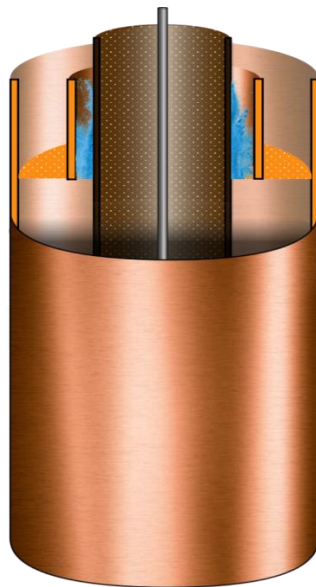


Figura 20: Bateria constante de Daniell. Representação em cores elaborada a partir da gravura da construção original da pilha. No centro há uma haste de zinco amalgamado com mercúrio, circundado por um cilindro que tem uma parede porosa de argila. Entre esse cilindro que abriga a haste de zinco e o cilindro mais externo há um recipiente perfurado que contém sulfato de cobre sólido, que vai se dissolvendo progressivamente no eletrólito, mantendo-o saturado. **FONTE:** Autora (2019). Crédito da imagem: Gustavo Sérgio dos Santos.

O diferencial aqui foram as partes constituintes e o arranjo experimental com que esse dispositivo foi pensado e materializado. Daniell descreve que foi possível realizar associações de 5, 10, 20 e até 70 células (Figuras 21 e 22), produzindo correntes elétricas por longos períodos de tempo. Após testar variadas combinações de eletrólito e eletrodos, otimizando seu funcionamento, a bateria constante foi utilizada por Daniell 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).

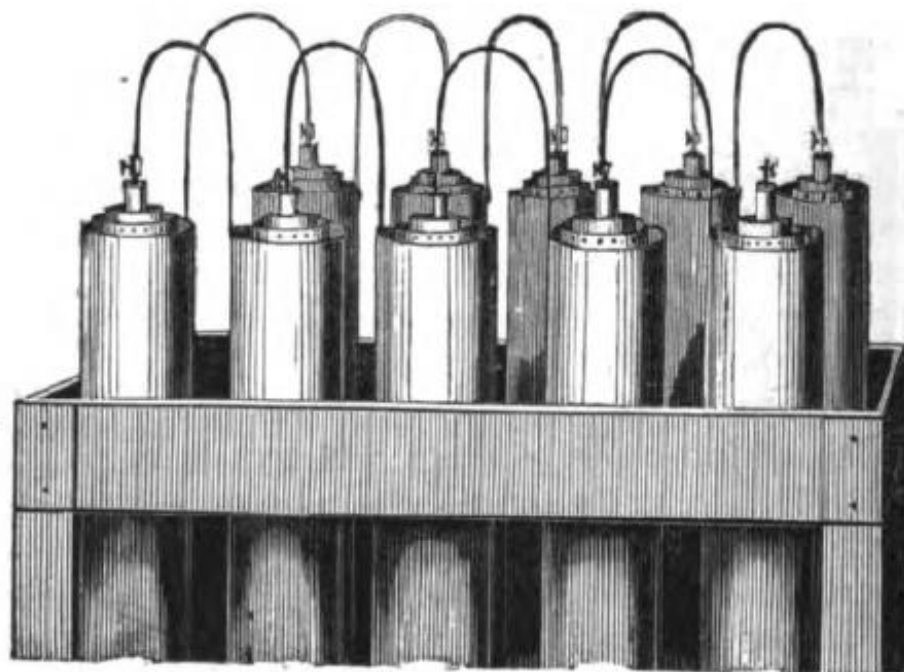


Figura 21: Associação de dez pilhas. **FONTE:** Daniell (1843).

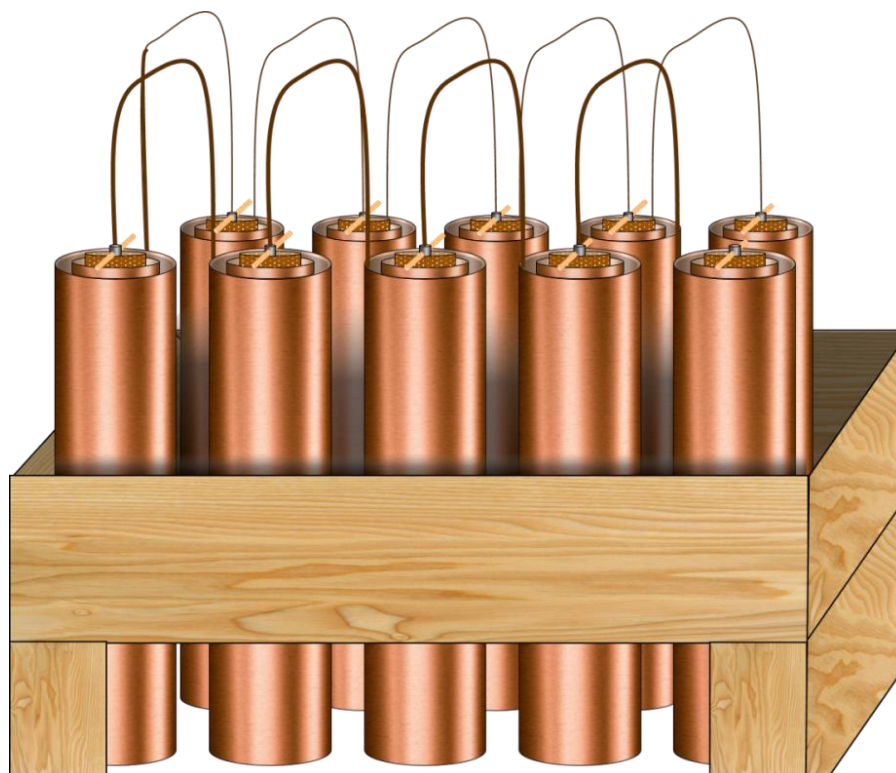


Figura 22: Associação de dez pilhas. **FONTE:** Autora (2019). Crédito da imagem: Gustavo Sérgio dos Santos.

A narrativa produzida por Daniell em seu livro não revela todo o processo de investigação que o conduziu à otimização da pilha e ao estudo de suas propriedades. Porém, é possível obter mais detalhes desse processo analisando as comunicações em que apresentou à *Royal Society* suas pesquisas sobre o que chamou de “combinações voltaicas”. É o que se apresenta na seção a seguir.

3.2.2 *On voltaic combinations: correspondências a Michael Faraday*

Como dito anteriormente, essas comunicações foram publicadas nas *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, atualmente disponíveis para acesso *on line*, e contêm detalhes relevantes que não constam do livro *An Introduction to the Study of Chemical Philosophy* (1839). Enquanto o livro é mais abrangente em seu conteúdo, as comunicações expõem diversos detalhes do processo de criação dos dispositivos que Daniell estava desenvolvendo.

3.2.2.1 X. *On voltaic combinations. In a letter adressed to Michael Faraday. D. C. L., F. R. S., Fullarian 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).*

Nessa comunicação, Daniell relata que foi levado a experimentar novas combinações voltaicas, em função de necessidades técnicas, sendo que se refere principalmente aos metais que compõem os eletrodos. Aqui, ainda utiliza o par zinco e platina em sua pilha – não havendo, nesse momento, chegada à escolha do par zinco e cobre, que viria a descrever como a combinação final nas duas edições de seu livro (DANIELL, 1836a; DANIELL, 1839).

Em seus primeiros estudos sobre circuitos simples, observou a rápida adesão de gás hidrogênio sobre as placas de zinco que eram submergidas em eletrólitos de ácidos fortes, o que, segundo ele, impedia a circulação da *força de corrente*. Conseguiu evitar esse problema utilizando um amálgama de zinco e mercúrio como metal gerador⁹ – uma alternativa que se mostrou economicamente viável.

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. Posteriormente, nas duas edições de *An Introduction to the Study of Chemical Philosophy*, um recipiente poroso de barro (*porous earthenware*) substituiu a membrana de boi. Essa mudança foi necessária para que fosse investigada a ação das combinações voltaicas a altas temperaturas (as quais a membrana de origem animal não suportava), utilizando sua bateria constante.

A comunicação inclui um desenho do dispositivo descrito (Figura 23), no qual é possível notar diferenças estruturais em relação à célula constante ilustrada na edição de 1843. Nesta última, nota-se que a célula constante é construída com uma haste de zinco amalgamado com mercúrio de 3,5 polegadas de diâmetro, dentro de um cilindro de cobre de 6 polegadas de diâmetro. A eficácia dessa configuração, na qual o metal gerador ficava circundado pelo metal condutor, foi observada experimentalmente (DANIELL, 1836a).

⁹ Daniell se referia ao eletrodo central como metal gerador por ser considerado o responsável por *gerar* a força de afinidade.

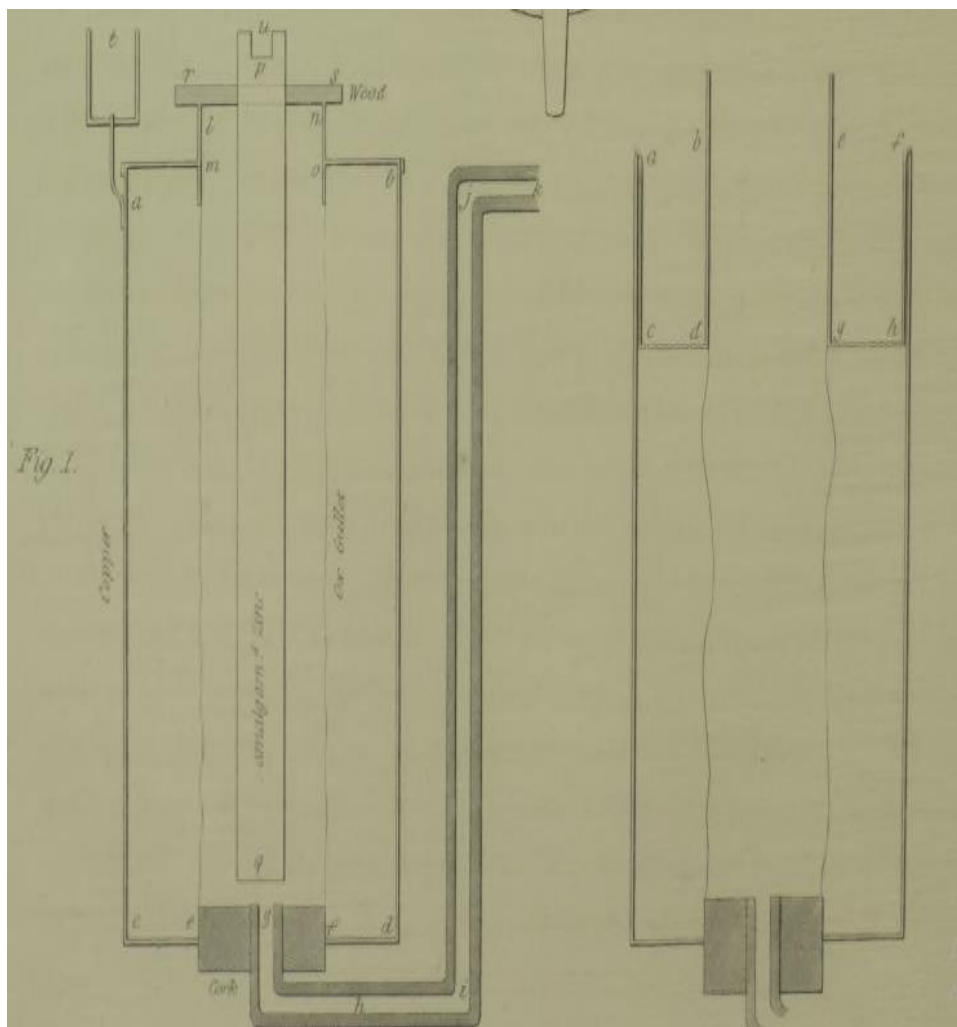


Figura 23: Esquema da bateria constante descrita em *On voltaic combinations*. **FONTE:** Daniell (1836a).

Pode-se observar, na Figura 23, que abaixo da haste 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, como mostra a Figura 24. O sifão retira o líquido do cilindro interno à medida que mais porções de líquido são despejadas por um funil exterior, para manter a concentração do eletrólito.

Nem o copo de mercúrio nem o sifão aparecem nos dispositivos descritos em *An Introduction to the Study of Chemical Philosophy*, pois o dispositivo aperfeiçoado não necessitava desses componentes. No livro, uma associação de dez pilhas foi feita apenas com fios metálicos, tendo sido retirado o compartimento de mercúrio das baterias. 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, que era vagarosamente liberado para o eletrólito.

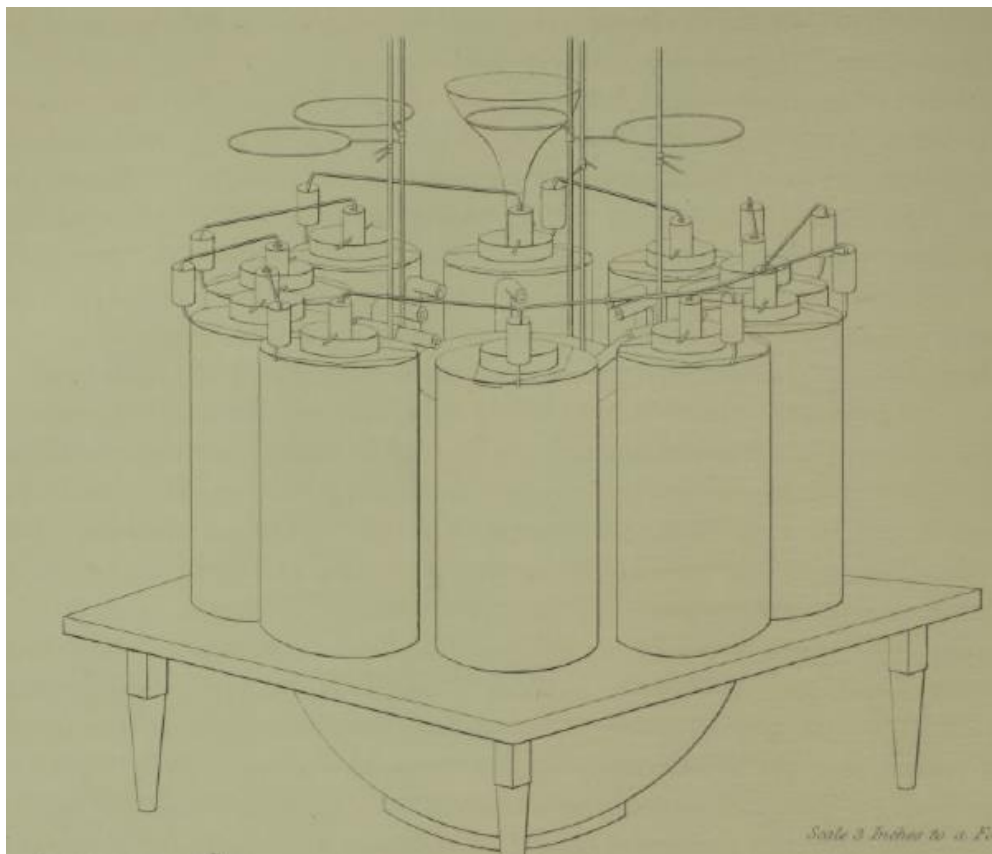


Figura 24: Associação de dez pilhas. **FONTE:** Daniell (1836a).

Em sua comunicação intitulada *On voltaic combinations* [Sobre as combinações voltaicas], Daniell relata experimentos usando como eletrólito o ácido nítrico, misturado no cilindro externo com a solução saturada de sulfato de cobre. Descreve também a realização de experimentos com diferentes concentrações de ácido no cilindro interno da pilha, concluindo ser a solução mais diluída (8 partes de água para 1 de ácido sulfúrico) a mais adequada. Com essa proporção, o consumo do zinco era mais lento do que com as soluções mais concentradas (ou mais “fortes”, na terminologia usada originalmente), permitindo que a bateria funcionasse por mais tempo.

As Figuras 24 e 25 mostram uma associação de dez pilhas, apoiada sobre uma mesa sob a qual há uma bacia para receber o eletrólito que transborda pelos sifões (DANIELL, 1836a).

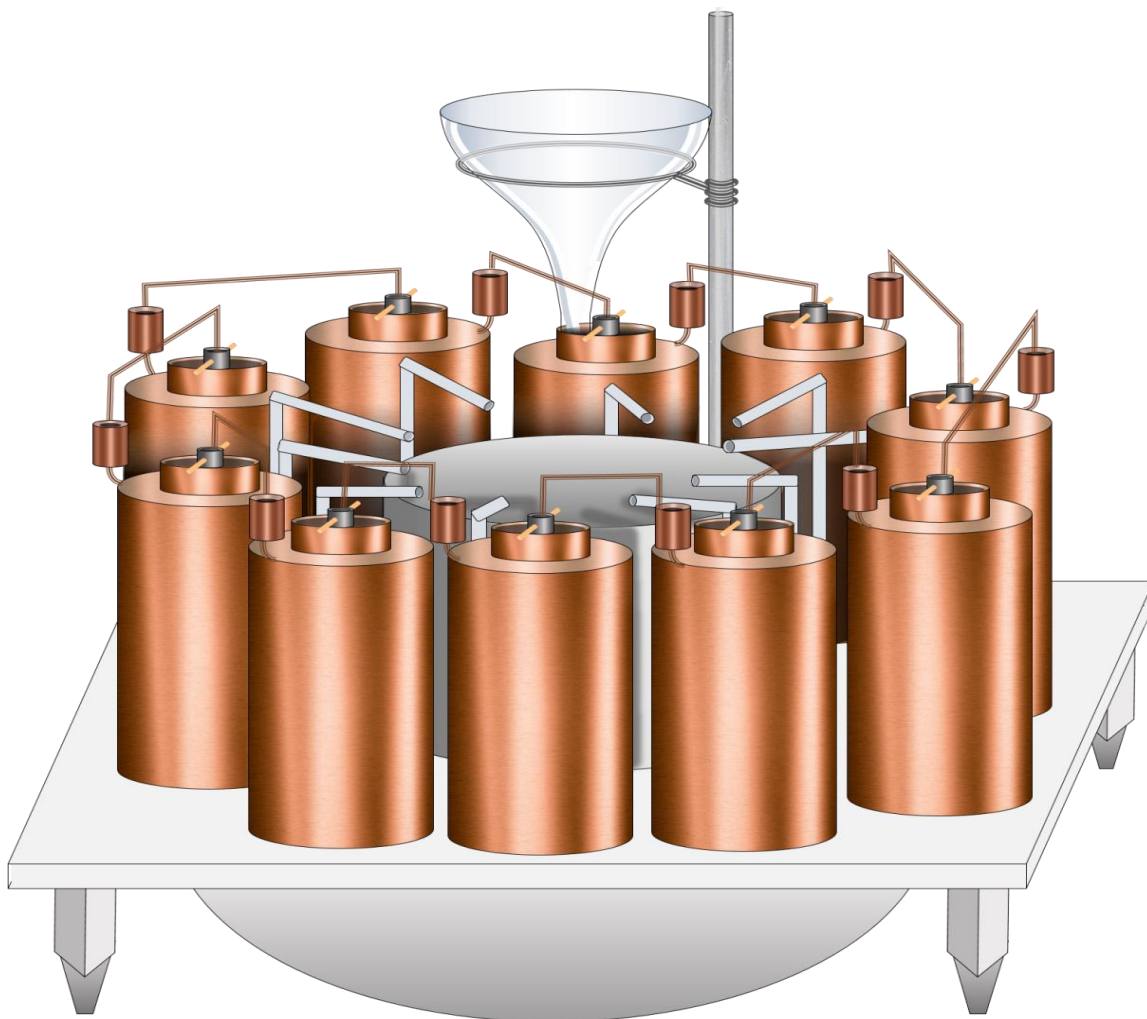


Figura 25: Ilustração colorida mostrando os detalhes da associação de dez pilhas. **FONTE:** Autora (2019).
Crédito da imagem: Gustavo Sérgio dos Santos.

Daniell avaliava a eficiência dos diferentes arranjos experimentais com o auxílio de um voltímetro, medindo a correspondente formação de gás hidrogênio devida ao funcionamento das baterias. Como dito anteriormente, quanto mais intensa a corrente produzida, maior seria o volume de gás recolhido no tubo de vidro graduado do voltímetro. Além disso, após a ação das baterias se esgotar, ele retirava as hastes de zinco e as pesava. Comparando o consumo da haste de zinco com a corrente produzida (medida com o voltímetro), era possível inferir qual a combinação mais eficiente.

A análise das ilustrações apresentadas nessa comunicação revela a inserção de posteriores mudanças estruturais nas baterias descritas em outras publicações. Isso significa que, conforme Daniell foi implementando diferentes modificações na bateria constante em

seu laboratório, elas foram sendo incorporadas aos dispositivos mais recentes. Ao final de sua comunicação, concluiu:

Meu principal objetivo com essas pesquisas tem sido atingir essa constância [da corrente], mas acrescento que novas combinações foram encontradas. Primeiro, o fim de toda a ação local empregando o zinco amalgamado. Segundo, o insignificante custo de repor as hastes de zinco depois de desgastadas. Terceiro, a não necessidade de se empregar ácido nítrico; e quarto, a facilidade e perfeição com que todas as comunicações metálicas podem ser feitas, e diferentes combinações dos arranjos das placas (DANIELL, 1836a, p. 124).

Procurando a mencionada “constância”, Daniell percebeu experimentalmente que outros fatores poderiam influenciar a obtenção de eletricidade. Isso foi relatado em comunicações posteriores, conforme se mostra a seguir.

3.2.2.2 Additional observations on voltaic combinations. In a letter addressed to Michael Faraday. D. C. L., F. R. S., Fullarian 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).

Nessa comunicação, também datada de 1836, são relatadas variáveis que mostraram ter influência sobre o rendimento da bateria, permitindo melhorá-la. A meta era a obtenção “de uma corrente invariável de força suficiente para efetuar decomposições químicas” (DANIELL, 1836b, p. 125). Há relatos de operação da bateria por períodos de 15, 20 e 24 horas ininterruptas, com pequena diminuição de sua ação, enquanto na comunicação anterior foi descrita a operação do dispositivo por até 8 horas. Daniell descreveu experimentos em que investigou a influência da distância entre as superfícies geradora e condutora e a extensão dos fios que conectavam uma célula a outra. Esses aspectos não haviam sido objeto de estudo anterior, pois o seu foco havia sido a ação do eletrólito. Além disso, apresentou experimentos que fez buscando otimizar o funcionamento do voltâmetro criado por Faraday, o qual era o principal instrumento utilizado para quantificar e comparar o desempenho de diferentes pilhas (DANIELL, 1836b, p. 125-126).

Relatou um novo arranjo experimental no qual não utilizou um funil, destinado à adição constante de ácido para renovação do eletrólito em contato com a haste de zinco. Isso porque ele percebeu que era suficiente uma adição ocasional da solução ácida para manter a

ação da bateria de maneira satisfatória, e assim o arranjo experimental ficou mais simples e mais prático (DANIELL, 1836b). O texto deixa claro que os objetivos eram aumentar o tempo de funcionamento das baterias, sem perda muito grande de sua ação, bem como aumentar a intensidade da corrente produzida.

Há observações cuidadosas com relação à construção dos elementos da bateria constante, variando tamanhos e formas dos componentes em busca do melhor arranjo. Esses experimentos o levaram 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). Em outro experimento, em vez de utilizar o voltômetro, 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). Isso evidenciava a produção de corrente de forma intensa, pois a produção de calor era associada à produção de corrente. Assim, além de fazer mudanças relacionadas à construção da bateria, havia interesse também em alterar o modo de fazer as observações experimentais. Daniell também sugeriu que a ação dessa 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.

Explorou o potencial da bateria constante tanto como um objeto de pesquisa em si mesmo quanto como um dispositivo para subsidiar outras pesquisas. Investigou diversos aspectos: os constituintes químicos, a construção física (como o tamanho e a distância entre os eletrodos) e a influência de outras grandezas sobre o dispositivo. Na comunicação a seguir, outra variável experimental é destacada em relação ao funcionamento da bateria: a temperatura.

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

A discussão central dessa comunicação é a influência da temperatura sobre os efeitos da ação voltaica (DANIELL, 1837). Foi nessa comunicação que se consolidou a versão final dos eletrólitos para a construção da célula: ácido sulfúrico diluído para o cilindro interno e solução saturada de sulfato de cobre em ácido sulfúrico diluído para o cilindro externo.

Em um dos experimentos, a temperatura do sistema quando as células foram inicialmente carregadas era cerca de 110°F (43°C) e um voltâmetro foi utilizado para monitorar a ação da bateria em intervalos de tempo determinados, à medida que ela esfriava. Em seguida, Daniell colocou a bateria, inicialmente a 68°F (20°C), em um banho de água quente a 130°F (54°C). Em ambos experimentos, observou que a ação da bateria era mais intensa a temperaturas mais altas (DANIELL, 1837). A Figura 26 mostra dados experimentais dos procedimentos descritos na comunicação.

Time.	Interval.	Voltameter.	5 min. rate.
h m	,	Cubic inches.	Cubic inches.
12 52			
12 54	2	8·8	22·
12 59			
12 61	2	8·	20·
1 3			
1 5	2	7·3	18·2
1 7			
1 9	2	7·	17·5
1 11			
1 13	2	6·5	16·2
1 14			
1 16	2	6·	15·
1 17			
1 19	2	5·7	14·2
1 21	2	4·8	12·

Figura 26: Dados experimentais obtidos por Daniell em estudos sobre temperatura e ação voltaica. Embora não fosse medida a temperatura em cada intervalo, pode-se observar que o volume de gás recolhido no voltâmetro era maior a temperaturas mais altas, ou seja, a ação da pilha foi diminuindo à medida que resfriava.

FONTE: Daniell (1837).

Porém, diante de um inconveniente, o experimento foi interrompido: “O experimento foi terminado pelo 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 por algum outro que suportasse as condições experimentais. Sua escolha final recaiu sobre uma louça porosa de barro, que passou a ser sempre utilizada, mesmo sob temperatura ambiente e condições regulares de operação da bateria constante. Posteriormente, em *An Introduction to the Study of Chemical Philosophy*, Daniell descreveu o uso desse material para a construção da pilha, sem entretanto mencionar a origem dessa escolha.

Nos estudos sobre a influência da temperatura, diferentes procedimentos foram feitos: aquecimento das células como um todo, colocando-as em um banho de água aquecido; ou preenchimento das células com os eletrólitos aquecidos. Alterava-se o eletrólito e a temperatura, somente a temperatura de um mesmo eletrólito ou ainda somente o eletrólito à mesma temperatura. No cilindro interno, o eletrólito utilizado era ácido sulfúrico diluído. No cilindro externo, Daniell experimentou diferentes substâncias, como amônia, barita, sulfato de amônia, potassa e ácido muriático (clorídrico), bem como a mistura considerada como sendo o melhor eletrólito, uma solução ácida de sulfato de cobre (DANIELL, 1837).

Também fez observações a respeito da formação de precipitados sobre os metais gerador e condutor. Observou a formação de cristais de sulfato de zinco sobre o bastão de zinco e de um depósito de natureza desconhecida sobre o cobre, o qual disse ser merecedor de estudos posteriores. Ao substituir o eletrólito em contato com o bastão de zinco por uma solução de sal comum (cloreto de sódio), ou ainda acidulando essa solução com ácido muriático (ácido clorídrico), observou que a ação da bateria era menor do que com a solução de ácido sulfúrico – concluindo não haver vantagem nessa substituição. É possível notar que, conforme os estudos prosseguiam, aumentavam a complexidade e o número de variáveis.

Outro objeto de pesquisa relatado nessa comunicação se refere à direção da corrente elétrica, a partir da observação do galvanômetro. Alterando as conexões entre a bateria e o galvanômetro, a direção da deflexão da agulha também mudava (DANIELL, 1837). Além de se aprofundar nos aspectos químicos dos experimentos, Daniell nunca deixou de investigar os aspectos físicos associados, tendo Faraday como grande inspiração. Além disso, os aspectos estruturais da construção da pilha continuaram a ser estudados, como mostra a próxima comunicação.

3.2.2.4 *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., Fullarian Prof. Chem. Royal Institution, &c. &c. &c. By J. Frederic Daniell, Esq. F. R. S., Prof. Chem. in King's College, London (1839).*

Nesta comunicação, foram discutidas sistematicamente diversas variáveis que influenciavam a ação voltaica: a distância entre o metal gerador e o metal condutor, o formato e o tamanho dos eletrodos, bem como o arranjo das pilhas em série (DANIELL, 1839b).

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. Observou, assim, que havia uma diminuição da ação da bateria (medida pelo volume de gás produzido medida pelo voltômetro) 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).

Em seguida, descreveu experimentos nos quais investiga os efeitos de utilização de diferente número de células (com diâmetros padronizados em 3,5 polegadas) 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). Também observou a transferência de carvão de uma extremidade do arco elétrico para a outra, sempre no sentido daquela ponta ligada ao *zincodo*¹⁰ para aquela ligada ao *platinodo*. Além disso, também havia transferência de matéria quando o carvão era substituído por um metal. Daniell especulou se o fato de haver um sentido específico para essa transferência estaria relacionado às causas da descarga elétrica, ainda desconhecidas.

Foi investigada também a influência de um ímã sobre a descarga elétrica mantida através do ar, sendo observado inicialmente que o arco elétrico podia ser atraído ou repelido conforme a posição do ímã. A partir daí outros arranjos foram testados: fazendo-se o arco elétrico ser produzido a partir da extremidade de um ímã ligado à bateria, foi possível observar a rotação do arco elétrico, cujo sentido (horário ou anti-horário) dependia do ímã estar conectado ao metal condutor ou gerador da bateria (DANIELL, 1839b, p. 93).

A última série de experimentos descritos nessa comunicação 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, mesmo tendo que se opor à “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 e ao qual Daniell sugere que poderia se dedicar posteriormente.

Cada uma das comunicações de Daniell à *Royal Society* traz novos assuntos, que vão se interrelacionando com os conhecimentos anteriores sobre a ação voltaica. Conforme foram surgindo outras demandas, outras inquietações, elas foram sendo incorporadas ao conjunto do trabalho de Daniell. Nossa investigação sobre diferentes fontes, incluindo as comunicações à *Royal Society* e as duas edições do livro *An Introduction to the Study of Chemical Philosophy*, permitiu a compreensão das inovações estruturais introduzidas por Daniell em relação aos

⁸ Daniell sugeriu, nessa comunicação, 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. Sua sugestão acabou caindo no esquecimento.

componentes metálicos, aos eletrólitos utilizados, à disposição dos componentes, à separação entre os eletrólitos e ao tamanho da pilha. Percebe-se que cada aspecto da pilha, cada componente, foi sistematicamente estudado e aperfeiçoado: o arranjo como um todo, seus compartimentos, o par metálico e os eletrólitos.

Em pós-escrito a sua comunicação de 1837, Daniell afirmou 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.

3.3 Contribuição da bateria constante de Daniell para o telégrafo elétrico

Na Inglaterra de meados do século XIX estava em curso a expansão de cidades, indústrias, relações comerciais e políticas de colonização. 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 também com outros países para finalidades comerciais – especialmente com os Estados Unidos e países europeus com bolsas de valores ativas, como a França – e também para o controle das colônias na Ásia e na África fez com que a Inglaterra investisse crescentes recursos financeiros na expansão de redes telegráficas. Entre os anos 30 e os anos 50 do século XIX as redes de telégrafos elétricos¹¹ foram consolidadas e as empresas britânicas praticamente

¹¹ 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.

detinham o monopólio do conhecimento e da técnica para sua implantação (HUUDERMAN, 2003).

O telégrafo elétrico inaugurou uma nova era de comunicação eficiente, conectando o mundo de uma forma não 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 entraves 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. Nota-se nesse contexto a existência, em meados do século XIX, de uma convergência sem precedentes entre sociedade e ciência (KOCHER, 2014b).

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. Basicamente, tratava-se de circuitos elétricos com pontos inicial e final distantes (KOCHER, 2014c).

A implantação das redes telegráficas foi um marco nas relações entre ciência, técnica e sociedade: novos conhecimentos eram transpostos dos telégrafos experimentais para as redes das cidades. Singer (1958) 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 Leiden¹² conectadas a fios que tinham uma letra correspondente (HIGHTON, 1852). O segundo foi o desenvolvimento dos telégrafos eletroquímicos, que utilizavam a eletrólise 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,

¹² 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, com um material isolante entre eles. Segundo Jardim e Guerra (2018), a partir da garrafa de Leiden, quantidades significativas de carga elétrica puderam ser armazenadas, o que possibilitou e impulsionou estudos em eletricidade.

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 (FIVE, 2014 *apud* KOCHER, 2014c).

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 (Figura 27). Morse criou um sistema de pontos e traços, no qual cada impulso com duração de um segundo era um ponto, um impulso de três segundos era um traço, e cada letra do alfabeto era codificada por um conjunto de pontos e traços (Figura 28). Inicialmente, as mensagens que chegavam ao aparelho receptor eram decodificadas e anotadas por pessoas com ouvidos treinados; posteriormente, foi criado um sistema acoplado ao receptor que imprimia em papel os sinais transmitidos. Com isso, a interpretação das mensagens passou a não depender mais de habilidades individuais (KOCHER, 2014b).

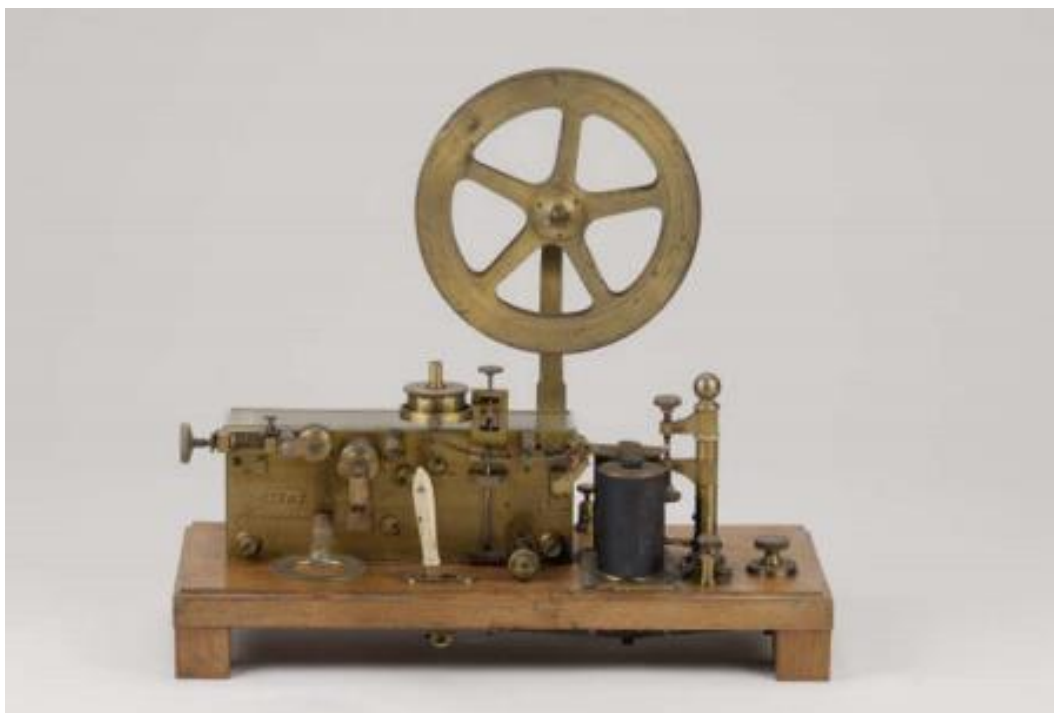


Figura 27: Telégrafo de Morse, pertencente ao acervo do Museu de Ciência da Universidade de Coimbra.
FONTE: Leonardo (2009).

LETTERS.						
A ---	E -	I --	M ---	Q ----	U ---	Y ---
B ----	F ----	J ----	N ---	R ---	V ----	Z ----
C ---	G ----	K ----	O --	S ---	W ----	& ----
D ---	H ----	L ---	P ----	T ---	X ----	

NUMERALS.				
1 ----	3 ----	5 ----	7 ----	9 ----
2 ----	4 ----	6 ----	8 ----	0 ----

PUNCTUATION.		
Period ----	Interrogation ----	Quotation ----
Comma ----	Exclamation ----	Parenthesis ----

Figura 28: O código Morse. **FONTE:** Benjamin, 1886 *apud* Kocher, 2014c.

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, com os componentes separados, tornaram a bateria mais eficiente e facilitou seu uso (Figuras 29 e 30), permitindo a estruturação das redes telegráficas em larga escala.



Figura 29: Associação de pilhas de Daniell para redes telegráficas.
FONTE: <https://www.ianvisits.co.uk/blog/2016/09/21/city-of-london-marks-150-years-of-transatlantic-telegraphs/> (Acesso em 8 maio 2021).



Figura 30: Associação de pilhas de Daniell para redes telegráficas.

FONTE: <http://www.victorianweb.org/painting/reviews/decoded1.jpg> (Acesso em 8 maio 2021).

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 título. 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).

A própria ilustração do telégrafo, que acompanha esse texto, destaca sua associação com a pilha (Figura 31).

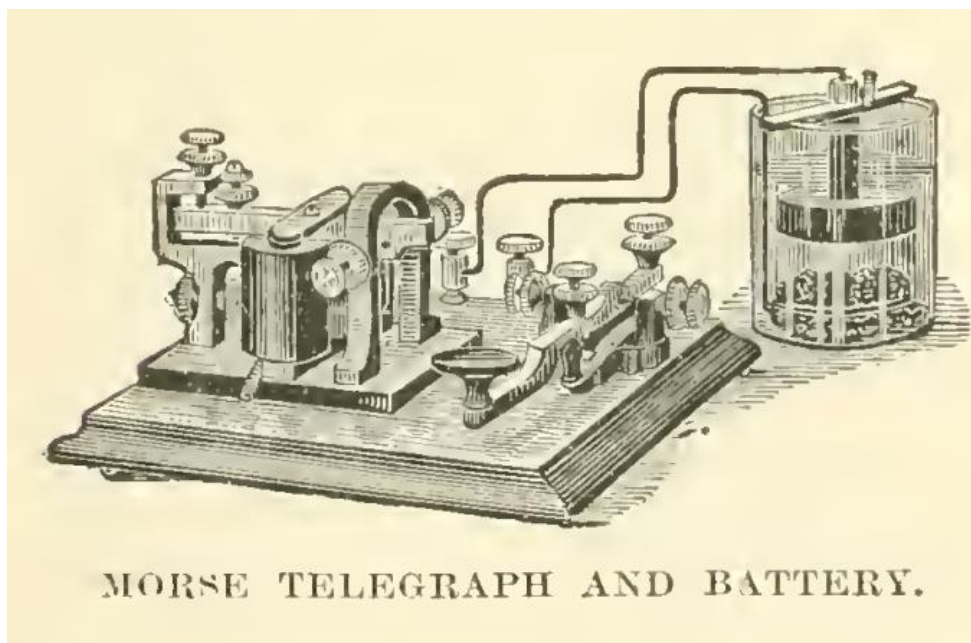


Figura 31: O telégrafo de Morse acoplado à bateria constante, destacados entre as “maravilhas” do século XIX.
FONTE: Boyd, 1901, p. 27.

Pode-se observar, na Figura 31, que a pilha ilustrada não corresponde ao arranjo original de Daniell, mas a uma versão da pilha que ficou conhecida como “pilha de gravidade”, a qual foi muito utilizada devido à simplicidade de sua construção. Suas características serão apresentadas mais adiante nesta dissertação, na seção dedicada à análise dos livros didáticos.

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; PRESCOT, 1860). A Figura 32 mostra como era a organização das baterias na central telegráfica da *Western Union Telegraph Company* em Nova York: cada estante dispunha de oito prateleiras duplas, cada qual com 24 baterias (a ilustração mostra apenas duas prateleiras preenchidas com baterias), somando 192 no total (PRESCOTT, 1879).

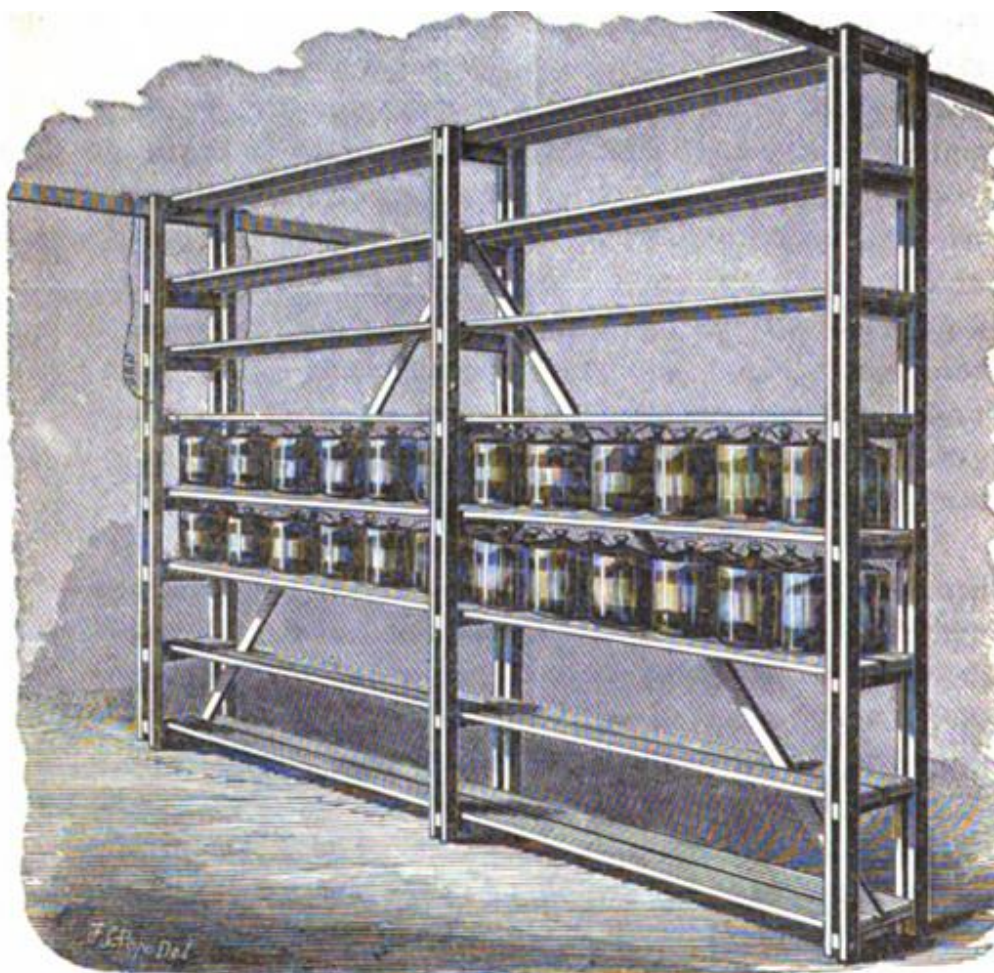


Figura 32: Estante de baterias na estação telegráfica da *Western Union Telegraph Company*, Nova York, EUA.
FONTE: PRESCOTT (1879).

Outra ilustração do final do século XIX ou início do XX mostra um escritório telegráfico (Figura 33). Nela se pode ver, à direita, o telegrafista e o guichê de atendimento ao público. É possível observar, sob a mesa do telegrafista, dois recipientes que representam as pilhas. O telégrafo, inicialmente difundido para comunicação em longa distância em prol dos interesses das potências europeias e dos Estados Unidos, passou também a ser amplamente utilizado pela população para o envio de mensagens pessoais diversas.



Figura 33: Um escritório telegráfico da virada do século XIX para o XX. A ilustração faz parte de uma coleção de cartões colecionáveis distribuídos pelo fabricante do “Extrato de carne Liebig”, populares na Europa na época. **FONTE:** Oxford Science Archive/ Heritage Images/ Science Photo Library. <https://www.sciencephoto.com/media/997479/view> (Acesso em 8 maio 2021).

Conforme mencionado anteriormente, embora a pilha de Volta fosse capaz de gerar corrente elétrica contínua, seu funcionamento era irregular e se esgotava em pouco tempo. O desenvolvimento das redes telegráficas exigiu uma série de avanços tecnológicos, entre os quais se insere a bateria constante de Daniell.

Este estudo de caso apresentou o processo de elaboração e as principais características da chamada pilha constante desenvolvida originalmente por Daniell. Na sequência desta dissertação, analisamos como os livros didáticos de química geral apresentaram a pilha de Daniell em diferentes momentos ao longo do século XX e também no século XIX – em geral, na forma de representações bastante distintas do dispositivo original.