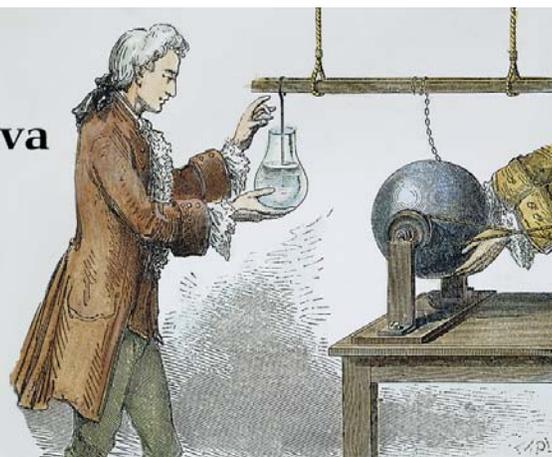


A Garrafa de Leiden em uma perspectiva histórica da ciência: Replicando experimentos históricos e suas alternativas com material de baixo custo



.....
Wagner Tadeu Jardim

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sudeste de Minas Gerais, Campus Juiz de Fora, MG, Brasil
E-mail: wagner.jardim@ifsudestemg.edu.br

.....
Andreia Guerra

Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, RJ, Brasil
E-mail: andreia.guerra96@gmail.com
.....

Introdução

Atividade experimental recebe muito destaque, tanto nos estudos de história da ciência [1] quanto no ensino das ciências [2]. Apesar da tamanha importância atribuída aos experimentos, em geral eles são referidos nas salas de aula apenas como forma de respaldar ou refutar determinada teoria, sendo a atenção sobre eles voltada apenas aos procedimentos práticos diretamente relacionados em sua execução [3]. Essas questões nos remetem à educação científica e aos trabalhos que defendem ser fundamental trazer à educação básica discussões sobre as ciências [3, 4].

A partir dessas considerações, apresentaremos uma proposta que alia a prática experimental a elementos de história das ciências, para se discutir o panorama que envolve a construção da garrafa de Leiden, aparato conhecido como o primeiro capacitor elétrico. Assim, consideramos o recorte histórico da Europa em meados do século XVIII, no qual eram desenvolvidos estudos da eletricidade. Ao tratarmos de assuntos relativos aos estudos de eletricidade, estamos discutindo um tema de grande destaque nos currículos de cursos de física do ensino básico, em livros didáticos e em atividades experimentais didáticas [5–7], reforçando a relevância do presente trabalho.

O estudo histórico em torno da construção da garrafa de Leiden nos permitiu, em duas turmas da terceira série do ensino médio de uma escola pública, abordar a estrutura dos capacitores, bem como iniciar discussões acerca do que seria um caminho fechado que a eletricidade pode

percorrer, ou seja, o circuito elétrico. Com vistas a apresentar os caminhos seguidos nesse trabalho, dividimos o presente artigo em quatro seções. Na primeira, apresentamos o início do curso, no qual trabalhamos questões históricas fundamentais para entender o contexto em que o artefato garrafa de Leiden foi construído. Na segunda seção, discutimos o desenvolvimento da proposta em sala, quando o

artefato propriamente dito foi trabalhado. Na terceira seção, discutimos os caminhos seguidos em sala de aula para trabalhar, a partir da garrafa de Leiden, o conceito de circuito elétrico e na quarta seção apresentamos cami-

nhos para reprodução de uma garrafa de Leiden com materiais de baixo custo.

Considerações em torno do contexto histórico-cultural da construção da garrafa de Leiden: experimentação, palestras itinerantes, aulas particulares e a Regra de Dufay

O aparato conhecido como a garrafa de Leiden foi construído pela primeira vez em meados do século XVIII na Europa, em um contexto no qual o tema eletricidade tinha muito espaço nas agendas dos pesquisadores, nos livros, nas demonstrações realizadas ao público. Essas demonstrações constituíam-se em espaços de entretenimento, mas também de produção de conhecimento científico. Naquele contexto, a eletricidade tinha destaque em muitas frentes, inclusive na medicina. Entender a importância da garrafa de Leiden e as questões históricas envolvidas em sua construção implica compreender aspectos da dinâmica científica do século XVIII.

O aparato conhecido como a garrafa de Leiden foi construído pela primeira vez em meados do século XVIII na Europa, em um contexto no qual o tema eletricidade tinha muito espaço nas agendas dos pesquisadores, nos livros, nas demonstrações realizadas ao público

O trabalho experimental no ensino de física aliado às discussões sobre o contexto cultural do qual a ciência faz parte mostra-se relevante para suscitar discussões sobre os processos de construção do conhecimento científico. A partir dessas considerações, desenvolvemos uma proposta que consistiu na reprodução de experimentos históricos de física. Apresentaremos, aqui, discussões traçadas no ambiente da sala de aula em relação ao panorama que permeia a construção da garrafa de Leiden, conhecida como o primeiro capacitor elétrico. Nessa perspectiva, elementos histórico-culturais e conceitos físicos foram elencados em aulas de física da terceira série do Ensino Médio. O caminho seguido nos permitiu abordar assuntos como a estrutura básica de um capacitor, seu carregamento e o conceito de circuito elétrico.

Assim, em sala de aula, discutimos com os estudantes que os primeiros estudos da condução elétrica desse período construíram evidências que levaram os filósofos naturais da época a defender a existência do fluido elétrico para explicar o que estaria por trás dos fenômenos relacionados à eletricidade. A concepção dominante era que um fluido carregaria consigo as propriedades de um corpo eletrizado [7,8]. Na discussão histórica, ressaltamos que a eletricidade no século XVIII se desenvolveu a partir da realização de muitos experimentos e da construção de artefatos, sendo o inglês Stephen Gray um personagem de destaque. Em especial, chamamos atenção para o fato de ele ter conduzido muitos experimentos com o filósofo natural e sacerdote Granville Wheler (1701-1770) e destacamos a montagem experimental em que se buscava conduzir o fluido elétrico, a partir de um corpo eletrizado ou de uma máquina eletrostática, através de um corpo humano, com vistas a gerar efeitos elétricos como a atração de pequenos corpos [8]. Reproduzimos uma imagem de 1744 que representa a montagem experimental de Gray (Fig. 1), a partir da qual observamos que o menino suspenso por fios isolantes e posto em contato com um bastão eletrizado atrai pequenos pedaços de papel, efeito da atração eletrostática (Fig. 1).

Ressaltamos com os estudantes que experimentos chamativos como o ilustrado na Fig. 1 não eram incomuns naquele contexto e tomavam lugar nas chamadas palestras itinerantes, nas aulas particulares e mesmo em locais formais de ensino como as universidades. Realizar um experimento cumpria as funções de apresentar e discutir questões científicas e, também, de entreter pessoas, chamando a atenção do grande público para os as-



Figura 2: Representação do anfiteatro de anatomia de Leiden. Museu Boerhaave – Leiden/Holanda. Fonte: Arquivo do autor.

suntos científicos ou despertando interesse para os estudos desenvolvidos à época [9].

Para ilustrar essas questões em sala de aula, apontamos aspectos socioculturais da Holanda naquele contexto e, mais especificamente, relativos à cidade de Leiden. Desde o final do século XVII, a Holanda teve destaque no meio científico, principalmente no que se refere às práticas experimentais. No final do século XVII e início do século XVIII, a Universidade de Leiden e a Universidade de Pádua, na Itália, eram referências nos estudos de anatomia. Para esses estudos, a atenção voltava-se aos anfiteatros de anatomia (Fig. 2). Nesses locais, ocorriam dissecações de cadáveres humanos. Assistiam a essas dissecações um público diverso, ligado à universidade ou não. Ainda no final do século XVII, a Universidade de Leiden adquiriu grande variedade de instrumentos destinados a aulas de química e física, no intuito de tornar o aprendizado dessas disciplinas mais fácil e atrativo, além de

possuir um caráter disciplinador, de treinamento de estudantes [9].

Em sala de aula, destacamos que conhecer sobre as ciências naquele contexto implicava em status social, reconhecimento, sabedoria e, muitas vezes, de proximidade ao divino, que se daria através do desvelar do trabalho de Deus, a partir do conhecimento da natureza. Essas razões, dentre outras, atraíam os olhares para as ciências dos que não tinham acesso ao estudo formal nas universidades. Assim, abriu-se um grande mercado para aulas particulares e demonstrações científicas fora das universidades, e estas, oferecidas aos que podiam arcar com algum custo financeiro, tornaram-se cada vez mais populares. Naquele contexto, as ciências ganhavam espaço em locais variados e alcançavam um público cada vez mais diverso [9].

Para ilustrar o contexto em que se desenvolveram as aulas particulares e o trabalho dos instrumentadores no século XVIII, discutimos o exemplo de Gabriel Fahrenheit, por ser um nome já conhecido dos estudantes. Fahrenheit foi um cientista, engenheiro e soprador de vidro alemão-polonês que viveu por muitos anos na Holanda, construindo equipamentos para serem utilizados em cursos que ele mesmo oferecia fora dos muros das universidades. Ele ministrou cursos de ciências aos menonitas (uma comunidade cristã), dos quais muitos eram comerciantes. Os menonitas possuíam recursos financeiros e interesse pelos estudos sobre a natureza, porém, por questões religiosas, a eles não era permitido o ingresso na Universidade de Leiden.

No intuito de direcionar as discussões para os estudos da eletricidade, destacamos os trabalhos desenvolvidos por Charles François de Cisternay Dufay (1698-

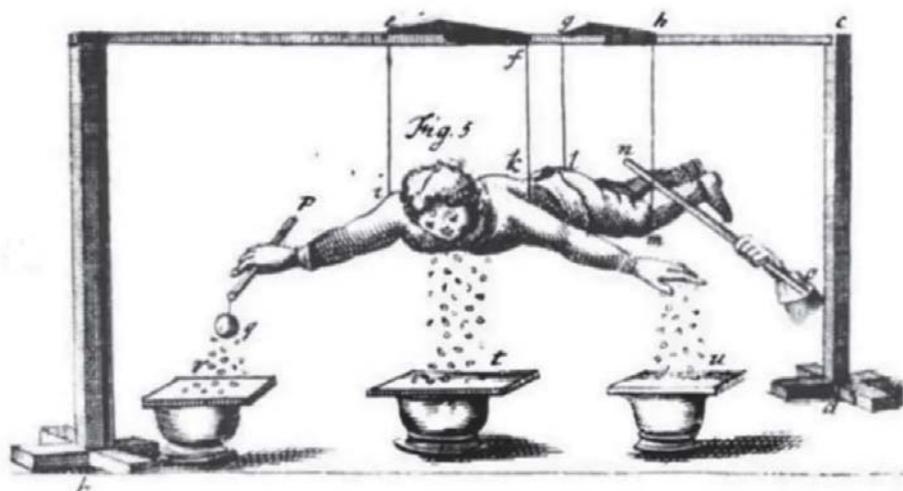


Figura 1: Experimento sobre a eletricidade comunicada através do corpo de um menino suspenso por fios isolantes [8, p. 247].

1739). Dufay ingressou na Academia de Ciências de Paris bem jovem, ainda sem trabalhos científicos publicados, muito por conta da rede de contatos de seu pai, que era um oficial militar influente. Dufay realizou sistematicamente diversos experimentos e observações acerca de fenômenos elétricos e, a partir dos resultados que obteve e daqueles produzidos por outros pesquisadores, concluiu que apesar de alguns materiais apresentarem dificuldade para se eletrizarem, todos os materiais poderiam ser eletrizados, desde que um determinado procedimento fosse adotado [9].

Era possível eletrizar qualquer material desde que o mesmo ficasse sobre uma superfície isolada e espessa (isolada eletricamente, em termos modernos), para que o fluido elétrico que entrasse no corpo não escapasse. Essa conclusão de Dufay era coerente com os resultados experimentais de outros pesquisadores, o que contribuiu para que a mesma fosse amplamente aceita. Apesar disso, é importante salientar que Dufay era então um personagem muito importante, membro de uma das mais importantes academias científicas da época, o que contribuiu para seus trabalhos serem rapidamente difundidos. A aceitação e ampla difusão desse procedimento fez com que o mesmo ganhasse, à época, o status de “regra”, sendo então adotado por todos aqueles que se dedicavam aos estudos da eletricidade.

Além da regra de Dufay, um dos experimentos que se tornaram muito conhecidos à época foi o dos fogos de artifício de Bose. Georg Matthias Bose (1710-1761), professor na Universidade de Wittenberg (Alemanha), propôs em 1737 uma montagem experimental que servia para extrair “fogo elétrico” (faíscas) de recipientes de vidro preenchidos com água. Mais tarde, substituindo a água por líquidos inflamáveis, utilizou efeitos elétricos para gerar a ignição desses líquidos [10]. Experimentos sobre extração de fogo elétrico e ignição, em diferentes configurações, foram desenvolvidos por muitos outros, como pelo escocês Andreas Gordon (1712-1750) [8].

A garrafa de Leiden e o circuito elétrico com pessoas

A partir das discussões anteriores, retomamos os fenômenos de eletrização, já estudados em aulas anteriores¹, e ressaltamos que experimentos como os de Bose e Gordon guiaram muitos pesquisa-

dores na tentativa de se armazenar o fluido elétrico, de forma a poder transportá-lo e conservá-lo de maneira eficaz e prática. Dentre estes, Petrus Van Musschenbroek (1692-1761) e Ewald Jürgen Von Kleist (1700-1748) tiveram destaque. O primeiro foi um holandês que, após se formar em medicina na Universidade de Leiden, passou vários anos em Londres, onde teve contato com Newton e seu discípulo Desaguliers. Além disso, Musschenbroek era de uma família muito reconhecida em Leiden pelo trabalho na produção de instrumentos científicos.

O germânico Kleist também se formou na Universidade de Leiden, onde teve muito contato com a prática experimental e instrumentalista. De volta à sua terra natal, continuou a trabalhar com experimentos e construção de instrumentos.

Em 1745, Kleist buscou armazenar eletricidade em um recipiente de vidro preenchido com água. Apoiado na Regra de Dufay e em experimentos como o de Bose, isolou eletricamente os arredores do recipiente e ligou o interior do recipiente a uma máquina eletrostática através de um fio condutor, sem sucesso no início. No entanto, em outra tentativa de armazenamento do fluido elétrico, Kleist conse-

guiu observar o efeito de faíscas elétricas ao não isolar o recipiente, por ter segurado o recipiente em suas mãos durante o procedimento de eletrização do interior da garrafa (Fig. 3). As faíscas obtidas por Kleist saltavam do interior do recipiente durante algum tempo, após o mesmo ter sido desconectado da máquina eletrostática. Kleist comunicou essas observações, no final de 1745, a seus correspondentes germânicos, que ficaram bastante impressionados com os resultados [8,9].

Em sala de aula, ao falar sobre o procedimento seguido por Kleist, alguns dos estudantes se mostraram confusos, pois acreditavam que a eletricidade deveria escoar do gerador eletrostático diretamente até o solo. Dessa forma, reconheciam que, ao segurar a garrafa, Kleist fazia com que um corpo eletrizado, ou seja, o recipiente com água, se descarregasse. Assim, antes que pudessemos avançar na discussão histórica e situar Musschenbroek no período tratado, surgiram discussões como as apresentadas a seguir:

A1: Agora eu não entendi, a gente não tinha concordado que pra manter a carga em um corpo ele não poderia ser segurado nas nossas mãos?

A2: Verdade, até resolvemos um exercício disso, tava errado então?

P: O exercício que resolvemos era sobre a dificuldade de eletrizar um corpo

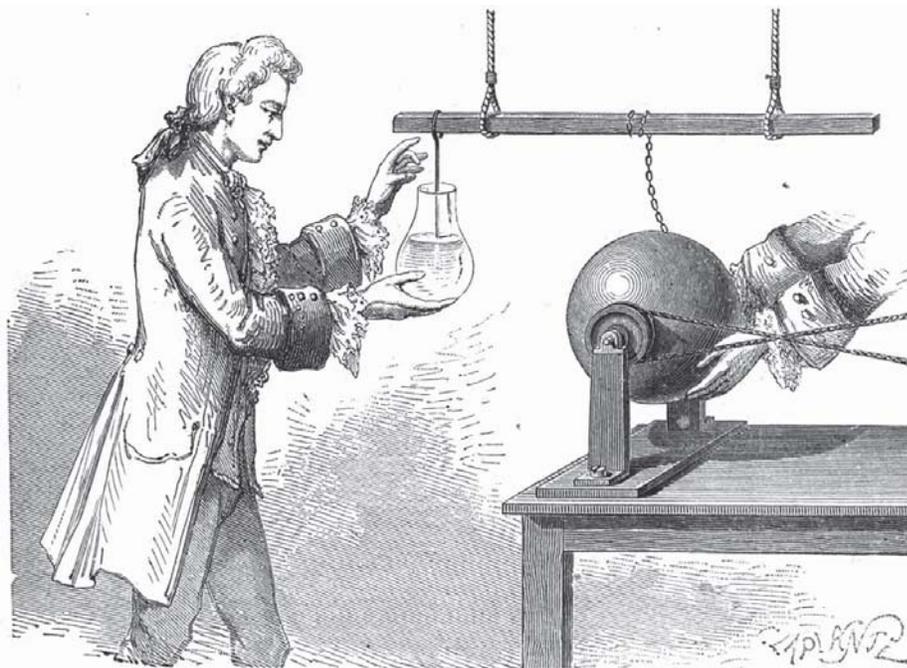


Figura 3: Representação do procedimento seguido por Kleist ao carregar eletricamente o recipiente preenchido com água (http://physics.kenyon.edu/EarlyApparatus/Static_Electricity/Leiden_Jar/Leiden_Jar.html, último acesso em 13/09/2018).

metálico segurado em nossas mãos...

A2: De qualquer forma, a água também é condutora, a eletricidade não tinha que passar direto, da máquina pela água e pela pessoa até o chão?

P: A princípio, sim, se houver um caminho condutor do gerador eletrostático até o chão, esse seria o esperado de se acontecer.

A2: Então, ele não deveria apenas tomar um choque e pronto? Ele, a água, a máquina, tudo deveria ficar neutro.

P: Até aí tudo certo, mas estão se esquecendo de alguma coisa no meio do caminho que modifica essa passagem direta da eletricidade, o vidro.

A3: Ah! Verdade, o vidro é um isolante. Mas ainda não faz muito sentido, se o vidro é um isolante, não devia ter diferença se a garrafa da imagem estivesse isolada ou não, a eletricidade não iria escapar de qualquer jeito.

Com o intuito de retomar a discussão histórica, avisamos aos estudantes que as questões por eles apontadas seriam retomadas em aulas seguintes e que para melhor entendê-las seriam importantes algumas discussões prévias. Assim, começamos a discutir que Musschenbroek, aproximadamente na mesma época que Kleist, mas sem ter conhecimentos dos trabalhos do germânico, realizou com Jean Nicolas Sébastien Allamand (1713-1787), na Universidade de Leiden, montagens experimentais com o intuito de armazenar fluido elétrico, mas também sem muito sucesso a princípio. Andreas Cuneaus, um advogado que frequentava o laboratório de Musschenbroek, interessou-se muito pelos experimentos destinados ao armazenamento do fluido elétrico. Nesse momento, lembramos aos estudantes que esse interesse pelas ciências, bem como possuir instrumentos científicos, era algo comum a pessoas com poder aquisitivo e sem formação nas áreas científicas. Cuneaus tentou reproduzir os procedimentos experimentais que conheceu com Musschenbroek por conta própria. Porém, não sendo um estudioso da eletricidade, não seguiu exatamente os procedimentos de Musschenbroek. Assim, Cuneaus, ao conectar o interior de um jarro com água à máquina eletrostática, segurou o recipiente nas mãos, conseguindo resultados semelhantes ao de Kleist [8].

Cuneaus rapidamente comunicou o ocorrido para Allamand e Musschenbroek, que repetiram o experimento tal

como Cuneaus descrevera, obtendo o desejado armazenamento da eletricidade. Eles reportaram o ocorrido, no início de 1746, em uma carta para René Antoine Ferchault de Réaumur (1757-1783), que era um membro de destaque da Academia de Ciências de Paris.

Para retomar e discutir as dúvidas sobre o procedimento de carregamento da garrafa de Leiden, apresentamos o caminho que as cargas fariam, da máquina eletrostática até a terra, caso o vidro não fosse um isolante elétrico (Fig. 4).

Ressaltamos que existiram dificuldades na reprodução desse experimento e que as condições para um sucesso em sua reprodução passaram a ser amplamente exploradas e discutidas entre os interessados nos estudos da eletricidade. Para dar continuidade às aulas, apresentamos então as estruturas das garrafas de Leiden. Exemplificamos essas garrafas primeiro a partir da estrutura de um capacitor de placas paralelas. Ao contextualizar a garrafa como um capacitor, relacionamos o aparato aos capacitores modernos e explicamos suas estruturas sempre as relacionando à Garrafa de Leiden (Fig. 5).

Discutimos que, à medida que as cargas elétricas negativas encontram uma das placas condutoras do capacitor (ou o condutor interno à garrafa), elas ficam ali contidas e, através de uma indução mediada pelo campo elétrico através do vidro, as cargas negativas na outra placa condutora (condutor externo à garrafa) deslocam-se pelo caminho existente. Assim, o material isolante entre as placas é indispensável para que as cargas não sejam conduzidas diretamente à terra, da maneira que era esperada pelos alunos para o caso de uma pessoa segurando a garrafa de Leiden durante seu carregamento. Isso

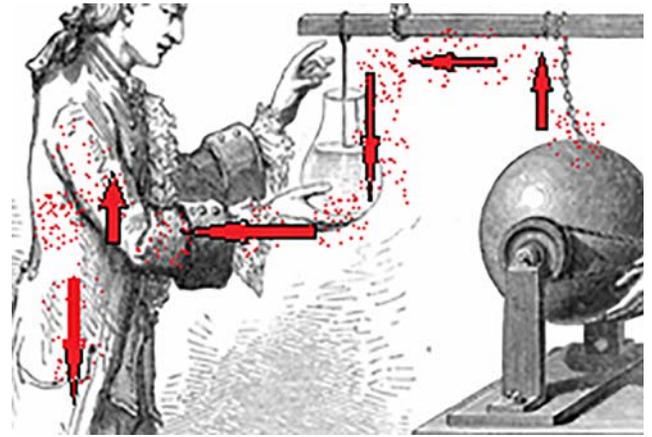


Figura 4: Representação utilizada para inserir as discussões sobre o carregamento de um capacitor. Caminho do fluido elétrico a partir da máquina eletrostática, passando por condutores, pela água e pela pessoa até a terra.

Armazenar eletricidade no século XVIII, através de uma garrafa de Leiden, abriu portas ao desenvolvimento de novas técnicas e pesquisas sobre eletricidade e áreas relacionadas

porque esse material permite a construção de uma configuração de polarização de cargas, ou seja, uma superfície condutora com cargas de um sinal e outra superfície condutora, do outro lado do isolante, com cargas de sinal oposto.

Além disso, destacamos que um dos fatores que influenciam a quantidade de cargas armazenadas em um capacitor relaciona-se ao espaço disponível para elas,

ou seja, a área das superfícies condutoras de um capacitor. Quanto maior sua área, maior é sua capacidade de armazenar cargas. Indicamos, também, que a distância entre as placas condutoras e o material isolante que os separa exerce influência. No caso da garrafa de Leiden, o material é o vidro e a distância entre as placas condutoras refere-se à espessura do vidro. Assim, para o caso das garrafas de Leiden, quanto maior a área do recipiente (e seu revestimento) e menor a espessura do recipiente, maiores serão os efeitos elé-

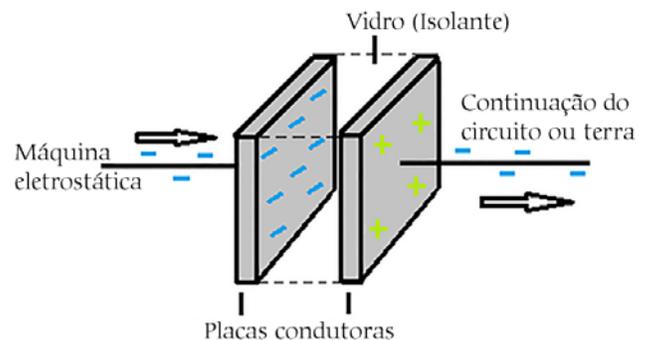


Figura 5: Representação do carregamento de uma garrafa de Leiden/capacitor de placas paralelas.



Figura 6: Do lado esquerdo, uma garrafa replicada de acordo com o método da replicação [2]; à direita, os componentes de uma garrafa de Leiden didática desmontável.

tricos percebidos:

$$C = \frac{\epsilon \cdot A}{d}$$

Para um capacitor de placas paralelas, C é o que chamamos de capacitância, ϵ é a permissividade do meio isolante, que possui relação com seu material. A é a área de cada superfície condutora (armaduras) e d é a distância entre as superfícies condutoras.

Para reforçar os conceitos físicos discutidos e sua relação com a estrutura de uma garrafa de Leiden, disponibilizamos aos estudantes algumas garrafas de Leiden para que pudessem manipulá-las.

Dentre essas garrafas encontravam-se réplicas, construídas de maneira a se aproximarem das versões produzidas no século XVIII, seguindo o método da replicação², e versões didáticas que, por serem desmontáveis, permitiam uma fácil visualização da estrutura interna de uma garrafa de Leiden (Fig. 6).

Assim, enquanto os estudantes manipulavam as garrafas fornecidas, posicionamos as máquinas eletrostáticas disponíveis (gerador de Van der Graff e uma máquina de Winshurst) de modo a ficarem visíveis para todos os estudantes. Repetimos, então, o procedimento de segurar a garrafa na mão enquanto o gerador eletrostático a carregava. Enquanto carregávamos uma garrafa de Leiden, surgiram questionamentos sobre esse processo:

A:4 Na hora de descarregar a garrafa, a gente toma choque, mas enquanto estamos segurando, na hora de carregar na máquina [eletrostática], por que a gente não toma choque?

P: O processo de carregamento leva um tempo, então a quantidade de cargas que vai passando por nós enquanto isso não é tão grande de uma vez só, quer dizer, vai aos poucos enquanto na hora de descarregar vem de uma vez só, por isso sentimos esse choque.

A4: Mas o capacitor pode ser utilizado no lugar de uma pilha no caso?

P: A pilha e o capacitor têm funções diferentes em um circuito. Por exemplo, podemos pensar em uma máquina fotográfica ou celular, que funciona com uma pilha ou bateria. Essa pilha vai fornecendo energia elétrica aos poucos, e de forma contínua, para manter o funcionamento do aparelho e também carregar o capacitor. O capacitor demora um tempinho para se carregar, mas ele consegue liberar essa eletricidade armazenada muito mais rápido, o que na nossa câmera poderia ser responsável pelo flash de luz, que exige uma quantidade maior de energia em um tempo curto. Iremos discutir melhor sobre a pilha nas próximas aulas.

Enfatizamos que a garrafa de Leiden suscitou questões acerca dos estudos da época sobre eletricidade, mas que o conhecimento estabelecido sobre o tema, como a Regra de Dufay, não foi abandonado naquele contexto, tampouco o fato de os conhecimentos da época não

explicarem o funcionamento da garrafa de maneira análoga ao que conhecemos

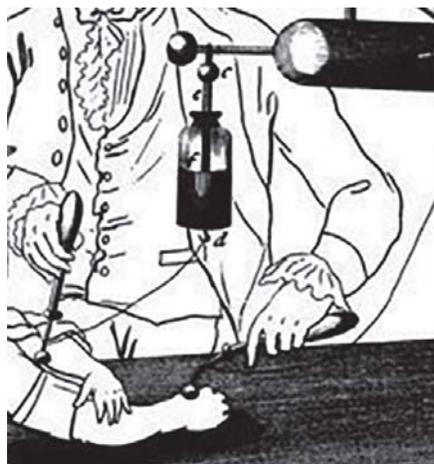


Figura 7: Tratamento medicinal ministrado com descargas elétricas, a partir de garrafas de Leiden, aplicadas a membros paralisados (<http://washuu.net/MedLec/Return.htm>, último acesso em 13/09/2018).

hoje impediu sua ampla utilização e divulgação. A garrafa de Leiden popularizou-se em usos medicinais, como nos tratamentos de paralisias musculares [11] (Fig. 7), e em demonstrações de fenômenos elétricos voltadas ao entretenimento e à pesquisa.

A garrafa de Leiden e o circuito elétrico

A garrafa de Leiden popularizou-se e impulsionou novos estudos no período por ser capaz de armazenar quantidades razoáveis de eletricidade e por ser facilmente manipulada e transportada [9, 10]. Essa popularização impulsionou a realização de diversos estudos sobre a estrutura do aparato, a necessidade de manter a superfície externa da garrafa completamente seca, o impacto da utilização de diferentes tipos de vidro, a temperatura da água a ser utilizada, dentre outros. Um dos aspectos que podemos destacar como de grande relevância naquele contexto é que a garrafa de Leiden contribuiu muito para a construção e o desenvolvimento da ideia de circuito elétrico [12].

Em geral, defendia-se que quando um bastão de vidro era atritado a outro material para ser eletrizado ou uma máquina eletrostática era colocada em funcionamento, a eletricidade gerada deveria ser transferida para outro corpo próximo. Observações relativas ao fato de que uma pessoa, ao tocar com uma das mãos o condutor que reveste externamente a garrafa e com a outra o condutor ligado à

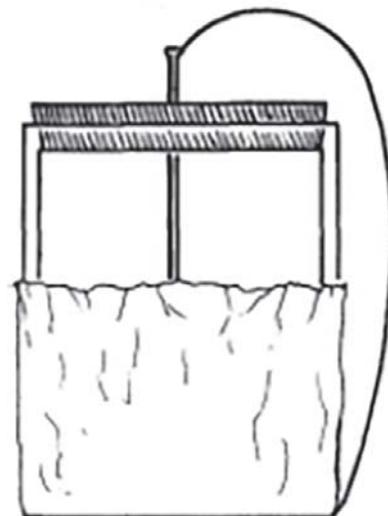


Figura 8: Uma garrafa de Leiden com seu circuito fechado por um fio que conecta a superfície externa ao condutor (prego), que se conecta à parte interna. Após carregar o aparato, fechar o circuito permite a percepção de uma descarga elétrica [14, p. 27].

parte interna da garrafa (Fig. 8), descarrega o aparato, deu suporte à concepção do caminho (circuito) seguido pela eletricidade [10].

A partir dessas considerações e para explorar a ideia de circuito elétrico, apresentamos demonstrações realizadas por diversos pesquisadores da época, dentre os quais Jean-Antoine Nollet (1700-1770), um dos mais proeminentes eletricitistas do período, que formou um circuito com 180 componentes da guarda francesa e uma garrafa de Leiden (Fig. 9) [8]. Aqui, relacionamos experimentos demonstrativos como esses com a cultura científica experimental daquele contexto, que envolvia esses espetáculos voltados ao público.

Convidamos, então, os estudantes interessados a reproduzir um experimento similar àquele de Nollet, deixando claro que ninguém seria obrigado a participar. Em uma turma com 26 alunos, 21 participaram (Fig. 10 e Fig. 11).

Para carregar a garrafa, realizamos várias tentativas, nas quais aumentávamos gradativamente, em cada uma delas, a quantidade de eletricidade fornecida pela máquina eletrostática (máquina de Wimshurst). Julgamos esse procedimento importante pois não queríamos correr o risco de uma descarga muito intensa a princípio, o que poderia assustar, causar algum desconforto ou mesmo ferir alguém.

Os estudantes mostraram-se muito entusiasmados com o experimento, que foi reproduzido diversas vezes, a pedido deles. Para melhor explorar a concepção do circuito elétrico, pedimos para que os que não participaram do circuito até então se conectassem a um dos alunos componentes do circuito, com apenas uma das mãos. Com isso exemplificamos que mesmo em contato com o circuito o estudante, nessa situação, não sentiu os efeitos elétricos, pois não participava dos caminhos possíveis para a eletricidade (Fig. 12).

Construindo uma garrafa de Leiden dissecável de baixo custo

Como descrito ao longo do texto, para carregar as garrafas de Leiden utilizamos máquinas eletrostáticas, como o gerador de Van der Graff da escola e uma máquina de Wimshurst que o professor possuía. Sobre as garrafas de Leiden, utilizamos réplicas que produzimos a partir do método da replicação desenvolvido na Universidade de Flensburg (Alemanha), que tem como objetivo a reprodução dos experimentos de maneira a se aproximar tanto quanto possível dos experimentos históricos originais [2]. Utilizamos também



Figura 9: Experimento de Nollet utilizando uma garrafa de Leiden e soldados para formar um circuito elétrico (<https://www.sciencesource.com/archive/Winckler-s-Leyden-Jar-1746-SS2776177.html>, último acesso em 13/09/2018).



Figura 10: Replicação do experimento de circuito elétrico formado por pessoas e uma garrafa de Leiden, como apresentado no slide (Fig. 9) ao fundo.



Figura 11: Momento da descarga elétrica a partir da garrafa de Leiden.



Figura 12: Representação de um circuito elétrico formado por pessoas e uma garrafa de Leiden; a pessoa que está por fora do circuito, apesar de estar em contato, não participa do caminho de passagem da corrente elétrica.

garrafas de Leiden didáticas, adquiridas através de um site Xump, que foram de grande auxílio para discutirmos a estrutura dos capacitores.

Como entendemos que nem sempre é possível adquirir esses equipamentos, descreveremos brevemente a construção de uma garrafa de Leiden alternativa, bem como meios de se carregar o aparato que não dependam dos aparatos citados. Encontramos diversas propostas de replicação da garrafa de Leiden de baixo custo na internet, como no Youtube, e em livros [7, 13, 14]. No entanto, ao tentar reproduzir algumas delas e construir outras configurações, não conseguimos obter descargas que fossem sensíveis pelo ser humano, efeito necessário para reproduzir o circuito elétrico com pessoas. Assim, procuramos uma nova reprodução que se apresentou satisfatória para nossos propósitos de demonstração.

Como materiais, utilizamos:

- 2 embalagens metálicas descartáveis de “marmitex” grandes³ (revestimentos condutores interno e externo à garrafa);
- um copo de acrílico (isolante, que cumpre o papel do recipiente de vidro);
- um pedaço de isopor (obtido em bandejas de alimentos comprados



Figura 14: Componentes da garrafa de Leiden desmontável de baixo custo.

- na padaria);
- um prego grande;
- um pedaço pequeno de papel alumínio.

Para construir o aparato, posicionamos o copo de acrílico no centro do revestimento metálico e com as mãos fomos moldando a folha metálica ao formato externo do copo. Repetimos o procedimento para a outra folha metálica. Note que não precisamos cortar o material, apenas ajustamos ao formato do copo dobrando e amassando as folhas metálicas (Fig. 13).

Recortamos um pedaço de isopor um pouco maior do que a largura da boca do copo. Esse isopor serviu como tampa da garrafa e suporte para fixar o condutor (prego) que liga a parte interna de nossa garrafa de Leiden à parte externa. Para finalizar o contato entre o prego e o revestimento interno, conectamos ambos através de um pedaço de papel alumínio (Fig. 14).

Existem diferentes formas de carregar uma garrafa de Leiden, como atritar um tubo de PVC a uma folha de jornal e passar o tubo no fio condutor (prego) da garrafa de Leiden, repetindo esse processo diversas vezes. É possível, também, utilizar um televisor antigo (de tubo), passando o fio condutor em sua tela seguidas vezes enquanto se liga e desliga o aparelho. Todavia, nos testes que realizamos, apesar de conseguirmos perceber os efeitos de atração elétrica por estar o aparato carregado eletricamente, e mesmo, algumas vezes, obter uma pequena faísca elétrica, os efeitos se mostraram pouco intensos, capazes apenas de mostrar efeitos de atração eletrostáticos ou a descarga realizada na própria garrafa (Fig. 13), mas insuficientes para o



Figura 13: Moldando o revestimento metálico (embalagem de “quentinha”) da garrafa de Leiden.

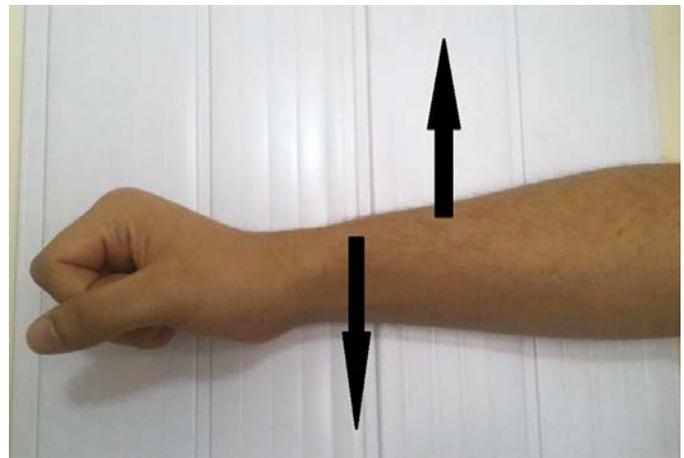


Figura 15: Eletrizando a placa de PVC a partir do atrito entre ela e a pele.

experimento do circuito elétrico com pessoas.

Além de carregar as garrafas com as máquinas eletrostáticas disponíveis, uma alternativa que gerou os efeitos desejáveis se deu a partir de uma placa de PVC eletrizada por atrito. Tentamos o procedimento esfregando materiais como lã e jornal na placa de PVC, mas o efeito gerado foi pouco intenso. Dentre as tentativas realizadas, o melhor efeito observável se deu a partir do atrito entre a pele seca e a placa de PVC (Fig. 15).

Em seguida, passamos a extremidade do condutor da garrafa de Leiden pela placa que ia se carregando; era possível escutar pequenos estalos no processo (Fig. 16). Esse procedimento foi repedido algumas vezes antes da descarga da garrafa. Ressaltamos que realizamos o procedimento em diferentes dias, em situações climáticas diversas. Dependendo das condições climáticas, faíscas mais intensas só eram geradas em ambientes resfriados com ar condicionado, uma vez que o ar condicionado acarreta uma menor umidade no ambiente.

Ressaltamos que uma opção de consulta sobre questões relacionadas ao processo de construção de uma garrafa de



Figura 16: Processo de carregamento da garrafa de Leiden em uma placa de PVC eletrizada.

Leiden com materiais acessíveis, bem como as limitações e vantagens de distintos materiais modernos que podem empregados e métodos para o carregamento do aparato, é um livro que se encontra disponível gratuitamente na internet [7].

Comentários finais

Discutir os aspectos históricos relacionados ao episódio da construção da

garrafa de Leiden nos permitiu levar para a sala de aula de física do Ensino Médio discussões acerca do processo de construção das ciências.

Além disso, a reprodução dos experimentos históricos e a discussão em torno aos estudos produzidos no contexto histórico da construção do aparato possibilitaram a problematização do conceito de circuito elétrico e do papel do capacitor

elétrico em um circuito simples, relacionando sua estrutura a conceitos físicos já trabalhados em sala. Nesse sentido, reforçamos novas questões trazidas pelo advento da garrafa de Leiden, possibilitando o destaque do caráter dinâmico e contextual do conhecimento científico.

Consideramos que a proposta culminou em um bom retorno pedagógico, pois, além das discussões geradas, os estudantes mostraram-se muito interessados durante as aulas em que a abordagem foi desenvolvida.

Agradecimento

Agradecemos à CAPES e ao CNPq pelo apoio disponibilizado durante o desenvolvimento da pesquisa e ao prof. dr. Peter Heering da Universidade de Flensburg pela orientação sobre os trabalhos de replicação dos experimentos históricos.

Referências

- [1] P. Galison. *How Experiments End* (University of Chicago Press, Chicago, 1987), 1ª ed.
- [2] P. Heering and D. Höttecke, in: *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science*, editado por M. Mathews (Springer Netherlands, Nova York, 2014).
- [3] W.T. Jardim e A. Guerra, *Investigações em Ensino de Ciências* **22**, 3, (2017).
- [4] A. Martins, *Caderno Brasileiro de Ensino de Física* **32**, 3, (2015).
- [5] C.C. Silva e A.C. Pimentel. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física* **25**, 141, (2008).
- [6] M.P.D Souza Filho, S.L.B. Boss, J.J. Caluzi e J. Mianutti, *A Física na Escola* **12**, 1 (2011).
- [7] A.K.T. Assis, *Os Fundamentos Experimentais e Históricos da Eletricidade*, vol. 2 (Apeiron, Montreal, 2018), 1ª ed, disponível em <https://www.ifi.unicamp.br/~assis/Eletricidade-Vol-2.pdf> último acesso em 13/09/2018.
- [8] J.L. Heilbron, *Electricity in the 17th and 18th Centuries: a Study of Early Modern Physics* (Univ. of California Press, San Diego, 1979).
- [9] W.T. Jardim e A. Guerra, *Caderno Brasileiro de Ensino de Física* **34**, 3, 774 (2017).
- [10] P. Benjamin, *A History of Electricity: (The Intellectual Rise in Electricity) from Antiquity to the Days of Benjamin Franklin* (J. Wiley & Sons, New York, 1895).
- [11] W.T. Jardim e A. Guerra, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **40**, 3 (2018).
- [12] C.C. Silva and P. Heering. *History of Science* **56**, 1 (2018).
- [13] G. Leon, *The Story of Electricity – With 20-Easy-To-Perform Experiments* (Dover Publications, Nova York, 1983).
- [14] A. Guerra, M. Braga e J.C. REIS, *Faraday e Maxwell, Eletromagnetismo da Indução aos Dínamos* (Atual Editora, São Paulo, 2004).

Endereços de Internet

Xump: <https://www.xump.com/> último acesso em 13/9/2018,

Youtube: Exemplo de garrafa de Leiden de baixo custo <https://www.youtube.com/watch?v=Lxe4FAI-g6s>, último acesso em 13/9/2018,

Notas

- ¹ Os fenômenos de eletrização estudados sempre vinham com um paralelo entre as concepções daquele período histórico e a concepção moderna (não contemporânea) da matéria, discutindo as limitações de cada qual.
- ² Na reconstrução dos aparatos, o grupo de Oldenburg preza por resgatar, tanto quanto possível, os materiais que eram empregados originalmente. O processo de replicação permite extrapolar os escritos dos cientistas como fonte de estudo. Isso porque com a reprodução do experimento é possível investigar as técnicas empregadas na fabricação dos mesmos, as dificuldades oriundas do desenvolvimento do experimento e outras questões próprias da construção do experimento que não necessariamente seriam percebidas a partir dos escritos dos cientistas [2].
- ³ Escolhemos esse material em vez do papel alumínio pois, por ser mais rígido, o molde feito com esse material não precisa ser colado ao copo, de modo que esses componentes podem ser facilmente separados uns dos outros.