



**UEPB**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA  
CAMPUS I – CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE FÍSICA  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM FÍSICA**

**THIAGO BARBOSA MORAIS**

**AS DIFERENTES EXPLICAÇÕES DA GARRAFA DE LEYDEN**

**CAMPINA GRANDE  
2023**

THIAGO BARBOSA MORAIS

**AS DIFERENTES EXPLICAÇÕES DA GARRAFA DE LEYDEN**

Trabalho de Conclusão de Curso (artigo) apresentado ao Programa de Graduação em física da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito parcial à obtenção do título de Licenciado em Física.

**Orientador:** Prof. Dr. José Antonio Ferreira Pinto.

**CAMPINA GRANDE  
2023**



THIAGO BARBOSA MORAIS

AS DIFERENTES EXPLICAÇÕES DA GARRAFA DE LEYDEN

Trabalho de Conclusão de Curso (artigo) apresentado ao Programa de Graduação em física da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito parcial à obtenção do título de Licenciado em Física.

Aprovada em: 10/03/2023.

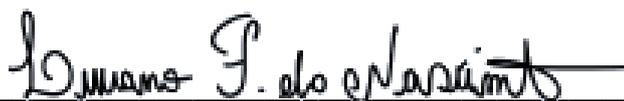
**BANCA EXAMINADORA**



Prof. Dr. José Antonio Ferreira Pinto (Orientador)  
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Profa. Dra. Ana Paula Bispo da Silva  
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Prof. Me. Luciano Feitosa do Nascimento  
Instituto Federal da Paraíba (IFPB)

Aos meus pais, por todo carinho, cuidado e companheirismo que tiveram durante minha vida, dedico esta pesquisa.

“ Viver é enfrentar um problema atrás do outro. O modo como você o encara é que faz a diferença. ”

Benjamin Franklin

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	07
2	EPISÓDIO HISTÓRICO – A GARRAFA DE LEYDEN.....	08
2.1	Primeiras discussões sobre a garrafa de Leyden.....	08
2.1.1	<i>A Garrafa segundo Franklin.....</i>	11
2.1.2	<i>A força na garrafa de Aepinus .....</i>	16
2.1.3	<i>Garrafa de Leyden: um fluido, duas correntes .....</i>	20
3	ANÁLISE DAS EXPLICAÇÕES DA GARRAFA DE LEYDEN .....	24
4	CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	27
	REFERÊNCIAS .....	28

## AS DIFERENTES EXPLICAÇÕES DA GARRAFA DE LEYDEN

## THE DIFFERENT EXPLANATIONS OF THE LEYDEN BOTTLE

MORAIS, Thiago Barbosa <sup>1</sup>

### RESUMO

Dentre as diferentes possibilidades de se estudar ciências e sobre ciências, compreender como surgem e se estabelecem as teorias, a dinâmica entres as personagens nesse processo e como a explicação de um fenômeno chega ao status de uma teoria são muito importantes para desenvolver uma visão mais adequada da ciência e do fazer científico. Escolhemos o episódio da garrafa de Leyden, por ser um dispositivo que desafiou a teoria elétrica da época, levando os filósofos a um intenso debate e produções experimentais. A presente pesquisa buscou apresentar algumas das principais explicações do episódio, de forma a contribuir para fomentar discussões sobre ciências e os obstáculos para construção do conhecimento. Consultamos as fontes primárias e secundárias, para a compreensão do episódio histórico e construção de um quadro comparativo envolvendo algumas das principais explicações da garrafa de Leyden no século XVIII. Com a análise das três explicações presentes no trabalho, podemos comparar suas semelhanças e principalmente diferenças, explicitando os diferentes métodos utilizados para construção de cada teoria. Buscamos demonstrar que o episódio da garrafa de Leyden é bastante relevante, pois apresenta aspectos significativos para o estudo de natureza das ciências, explicitando como diferentes explicações coexistem e são por vezes contraditórias, e mesmo na falta de explicações plausíveis, os fenômenos são explorados empiricamente suscitando questões que levam à construção de novos conhecimentos.

**Palavras-chave:** história da ciência; natureza da ciência; dimensões de confiabilidade; garrafa de Leyden.

---

<sup>1</sup>Graduando do Curso de Física da Universidade Estadual da Paraíba, thiago.bm73@gmail.com.

## ABSTRACT

Among the different possibilities of studying science and about science, understanding how theories arise and are established, the dynamics between the characters in this process and how the explanation of a phenomenon reaches the status of a theory are very important to develop a more adequate view of science and scientific doing. We chose the Leyden jar episode, as it was a device that challenged the electrical theory of the time, leading philosophers to an intense debate and experimental productions. The present research sought to present some of the main explanations of the episode, in order to contribute to fostering discussions about science and the obstacles to the construction of knowledge. We consulted primary and secondary sources to understand the historical episode and build a comparative framework involving some of the main explanations of the Leyden jar in the 18th century. With the analysis of the three explanations present in the work, we can compare their similarities and mainly differences, explaining the different methods used to build each theory. We seek to demonstrate that the Leyden jar episode is very relevant, as it presents significant aspects for the study of the nature of science, explaining how different explanations coexist and are sometimes contradictory, and even in the absence of plausible explanations, the phenomena are explored empirically, raising questions that lead to the construction of new knowledge.

**Keywords:** history of science; nature of science; reliability dimensions. Leyden jar.

## 1 INTRODUÇÃO

De que maneira as teorias e os conceitos científicos se desenvolvem? Todos os cientistas trabalham da mesma forma? As concepções científicas que aceitamos hoje também eram aceitas no passado? Será que existe relação entre ciência, filosofia e religião? Essas e outras questões, que muitas vezes são prescindidas no estudo da ciência, podem contribuir sobremaneira para o aprendizado de e sobre ciências.

Os livros didáticos, por vezes, evidenciam os resultados aos quais a ciência chegou, desde as técnicas de análise até as teorias e conceitos que são utilizados, mas não costumam apresentar outros aspectos da ciência (MARTINS, 2006). Conhecimentos acerca de como diferentes teorias disputaram espaço até se estabelecerem e a dinâmica dentro da comunidade científica nesse processo podem auxiliar em uma compreensão mais profunda de como se estruturam e se estabelecem os campos científicos.

Ao compreendermos as ciências nesses aspectos, outras questões surgem quando buscamos aprofundamos em seus conhecimentos: quais as formas mais confiáveis de se trabalhar os conceitos científicos historicamente? Como os cientistas trabalhavam? Como ocorriam as comunicações entre membros da comunidade científica? Depois que cientistas desenvolvem uma teoria científica, a teoria pode sofrer mudanças? Onde termina a hipótese verificável e começa o juízo de valor? Existe uma diferença entre uma teoria científica e uma lei científica? Os cientistas usam sua criatividade e imaginação durante suas investigações? Estes e outros questionamentos são importantes para promover uma boa educação científica nos processos de ensino e aprendizagem de e sobre ciências (ALLCHIN, 2011; BEJARANO, 2019).

A concepção atual de uma pessoa cientificamente alfabetizada não é somente a de alguém que sabe conteúdos da ciência, mas também e, sobretudo, que sabe sobre sua natureza (produção, evolução, avaliação, difusão, relações com o contexto), sendo a NOS compreendida aqui como um conjunto de saberes ou olhares metateóricos que trata dos vários aspectos da atividade científica, seja do ponto de vista internalista (seus métodos e suas teorias), seja em seu caráter eminentemente cultural e social. [...] (BEJARANO, 2019. p. 968).

Visando a necessidade de produzir um material que possa ser utilizado como fonte de consulta acerca do estudo da garrafa de Leyden, reunimos e analisamos diferentes explicações da garrafa e alguns aspectos que esclarecessem algumas das questões listadas acima.

O episódio da invenção e explicação da garrafa de Leyden atendeu as nossas expectativas, apresentando aspectos significativos, como o fato de ter sido um novo dispositivo que desafiou o conhecimento teórico e experimental da época.

Tendo em vista que geralmente a garrafa de Leyden é exposta como um apêndice do capacitor pelos livros didáticos, faz-se necessário explorar o potencial que o episódio proporciona para se estudar eletricidade, a partir do estudo das diferentes explicações atribuídas em seu contexto.

Levando em consideração tais apontamentos, essa pesquisa busca apresentar algumas das principais explicações do episódio da garrafa de Leyden de modo a contribuir para promover discussões sobre a ciência, explicitando não apenas seus “feitos”, mas também os obstáculos na construção do conhecimento.

Para tanto, consultamos fontes primárias e secundárias para nos aprofundarmos na compreensão das explicações da garrafa de Leyden e, após analisa-las, estruturamos um quadro comparativo entre elas.

## **2 EPISÓDIO HISTÓRICO – A GARRAFA DE LEYDEN**

Inventada na segunda metade do século XVIII, a garrafa de Leyden foi um dispositivo que chamou a atenção dos estudiosos da época que buscavam entender suas principais propriedades relacionadas ao comportamento da eletricidade. Nos meses seguintes à sua descoberta, vários experimentos com a garrafa foram realizados na Europa, visto que muitos dos efeitos produzidos por ela eram incompreensíveis segundo as concepções existentes. Além disso, trabalhar com o instrumento gerava receio de que o choque produzido por configurações novas pudesse matar o indivíduo que a manuseava (MOURA, 2019).

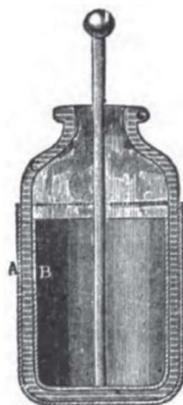
A garrafa, por ser um instrumento intrigante, questionou as teorias elétricas existentes na época proporcionando o surgimento de novas concepções que envolviam sua explicação. Apresentaremos, a seguir, algumas das discussões que ocorreram durante o século XVIII envolvendo os primeiros relatos da garrafa de Leyden e, especificamente, três das principais interpretações/explicações acerca do dispositivo.

### **2.1 Primeiras discussões sobre a garrafa de Leyden**

Dentre os fenômenos estudados pelos físicos na primeira metade do século XVIII, o tema eletricidade tinha grande destaque (pela sua popularidade através de demonstrações experimentais realizadas ao público, que se interessava pelas descargas elétricas, choques entre outros efeitos) trazendo contribuições fundamentais para a física desse século (PIMENTEL; SILVA, 2008; JARDIM;

GUERRA, 2017). Imersa nesse contexto, a garrafa de Leyden foi construída pela primeira vez na Europa, e trata-se de um dispositivo que armazena eletricidade, permitindo descargas que são aumentadas se comparadas com aquelas obtidas com um gerador eletrostático<sup>2</sup> (HEERING; SILVA, 2018).

Figura 1 - Configuração de uma garrafa de Leyden, com seus dois revestimentos de condutor (A e B), produzida anos mais tarde de sua invenção.



Fonte: Larden (1887, p. 86)

Por volta de 1745 ocorre a descoberta do instrumento que estimula um novo entendimento sobre eletricidade. O instrumento conhecido como garrafa de Leyden tem seus primeiros estudos sendo realizados na Alemanha e Holanda simultaneamente, mas sem nenhuma relação aparente. Logo os efeitos relacionados a eletricidade foram descritos, em situações distintas pelo alemão Ewald Jürgen von Kleist (1700-1748), e Peter van Musschenbroek (1692-1761) e seu amigo Andreas Cunaeus (1712-1788), ambos nessa cidade de Leyden (GUERRA, 2017; HEILBRON, 1979).

Para entendermos melhor o contexto, o germânico Kleist formou-se em jurisprudência na Universidade de Leyden, tendo bastante contato com a prática experimental e instrumentista da época sob a influência de Willem's Gravesande (1688-1742). Ao voltar para sua terra natal, Kleist continuou trabalhando na construção de instrumentos e realização de experimentos (JARDIM; GUERRA, 2018).

Na Alemanha, no mesmo período, já se destacavam os trabalhos de Georg Mathias Bose (1710-1761) relacionados a eletricidade. Entre seus trabalhos havia a descrição de um experimento em que Bose eletrizou água contida dentro de um copo e conseguiu extrair faíscas dela. Motivado pelos trabalhos de Bose, em 1745, Kleist realizou experimentos na tentativa de armazenar eletricidade em um recipiente de vidro preenchido com água de forma a ampliar a intensidade das faíscas, realizando algumas mudanças no aparato experimental e com isso construindo a primeira ideia do condensador (HEILBRON, 1979; JARDIM; GUERRA, 2018; MOURA, 2019).

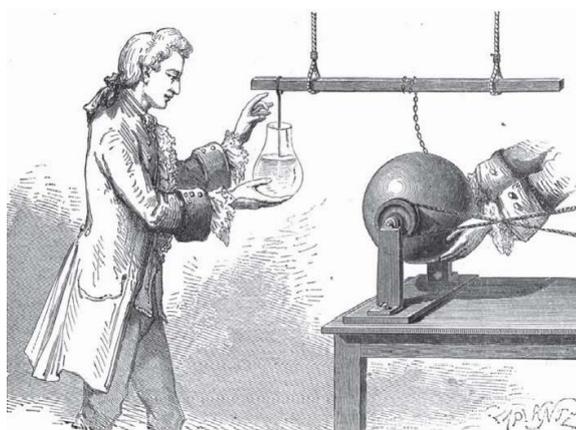
Em suas primeiras tentativas, Kleist isola eletricamente os arredores do recipiente, como uma tentativa de não permitir que a eletricidade se disperse para o chão e, conseqüentemente, conseguir eletrizar fortemente o recipiente com água ao

<sup>2</sup> Um dos primeiros geradores eletrostáticos foi inventado por Otto von Guericke (1602-1686). Sua composição consistia normalmente de um globo ou cilindro de vidro que girava ao redor de um eixo através de uma manivela de forma que ocorresse atrito contra a mão de uma pessoa ou contra uma almofada, pano, couro ou outra substância apropriada gerando eletricidade (HEILBRON, 1979).

realizar o experimento<sup>3</sup>. Porém, ao ligar o interior do recipiente a um condutor primário (máquina eletrostática), Kleist consegue produzir apenas pequenas faíscas do sistema isolado (HEILBRON, 1979; JARDIM; GUERRA, 2018; MOURA, 2019).

Em outra tentativa, só que desta vez segurando diretamente o recipiente durante o processo de eletrização do interior da garrafa, de forma que este não ficasse mais isolado, Kleist observou o efeito de faíscas elétricas com maior potência e com maior duração. Isso ocorreu mesmo após ter sido desconectado do condutor primário. Kleist comunica suas observações no final do mesmo ano aos seus correspondentes germânicos, que ficaram entusiasmados com o experimento (HEILBRON, 1979; HEERING; SILVA, 2018; JARDIM; GUERRA, 2018).

Figura 2- Representação do procedimento seguido por Kleist ao carregar eletricamente o recipiente preenchido com água



Fonte: Assis (2010, p. 243)

Na mesma época em que Kleist está desenvolvendo seus estudos acerca da garrafa de Leyden, o holandês Musschenbroek também realiza seus próprios experimentos com a garrafa de maneira independente. De uma família muito conhecida na cidade pela produção de instrumentos científicos, Musschenbroek se formou em medicina, na Universidade de Leyden. Musschenbroek, também influenciado pelas proposições de Bose, interessou-se pelo armazenamento de fluidos elétricos e, junto a Jean Nicolas Sébastien Allamand (1713- 1787), que era seu assistente, na própria Universidade de Leyden, começaram a realizar procedimentos experimentais (ASSIS, 2010; HEILBRON, 1979).

Musschenbroek, na intenção de produzir grandes faíscas a partir da água eletrizada, conhecendo a Regra de Dufay, coloca o recipiente com água em um suporte isolante, e faz uma ligação através de um fio à água isolada com o condutor primário. Dessa forma, pequenas faíscas são produzidas, ou seja, não conseguiu obter sucesso em um primeiro momento. O advogado Andreas Cuneaus, que tinha conhecimento dos experimentos de Musschenbroek, uma vez que era seu amigo e frequentava seu laboratório, realizou-os em sua casa na tentativa de reproduzi-los por conta própria (HEILBRON, 1979; HEERING; SILVA, 2018; JARDIM; GUERRA, 2018).

<sup>3</sup> Na época, já se sabia que os experimentos com eletrostática deveriam ser isolados, esse fato era conhecido como Regra de Dufay. Dufay foi um experimentalista da época, que estabeleceu uma regra de como realizar experimentos relacionados a eletricidade para os filósofos interessados pelo tema. A regra estabelecia que para um corpo ser eletrizado, ele precisava estar sob o apoio de um material elétrico espesso. Em outras palavras, o corpo precisaria estar isolado (HEILBRON, 1979).

No processo de reprodução do experimento, por não ser um estudioso da eletricidade, não seguiu exatamente os mesmos passos de Musschenbroek. Cuneaus eletrizou a água enquanto segurava o recipiente (procedimento semelhante ao de Kleist), em vez de apoiá-lo sobre um isolante; quando aproximou a mão do fio ligado à água e à máquina eletrostática, recebeu um choque severo.

Gostaria de lhes contar sobre uma experiência nova, mas terrível, que aconselho a nunca tentar por si mesmo, nem eu, que vivenciei e sobrevivi pela graça de Deus, faça-o novamente por todo o reino da França. Eu estava empenhado em exibir os poderes da eletricidade (...) com a mão esquerda E tentei desenhar as faíscas que saltam do tubo de ferro para o dedo; então minha mão direita foi atingida com tanta força que meu corpo inteiro estremeceu como alguém atingido por um raio [...] (HEILBRON, 1979. p. 313 apud).

Cuneaus, então, contou o que ocorreu a Musschenbroek e a seu assistente Allamand que, após repetirem o procedimento, sentiram um grande choque. Assim, em janeiro de 1746, Musschenbroek relatou a experiência em uma carta para René Antoine Ferchault de Réaumur (1757-1783), membro de destaque da Academia de Ciências de Paris, que a publica nos Anais da academia (HEILBRON, 1979; HEERING; SILVA, 2018; JARDIM; GUERRA, 2018).

O experimento da garrafa de Leyden contradizia as regras até então estabelecidas de como realizar experimentos elétricos. Segundo o historiador John L. Heilbron (1979) o experimento violou a Regra de Dufay, identificando o problema central do experimento como sendo o aterramento da pessoa que carregava a garrafa, além disso, o descarregamento deveria ser realizado pela mesma pessoa que estava segurando o frasco.

Porém, em estudos mais recentes, Silva e Heering (2018) mostraram que no período inicial do desenvolvimento da garrafa, o aterramento não era a questão central. Levando em consideração que a proposta do experimento era eletrizar a água que estava contida dentro do vidro, o fenômeno respeitava a Regra de Dufay. A necessidade de conectar o interior da garrafa com o exterior, formando um circuito, foi a questão inicial levantada na época.

Junto aos questionamentos relacionados ao dispositivo apontados na época, novas discussões em busca pela compreensão do novo artefato, estimulou a comunicação à longa distância por meio de cartas entre os pesquisadores, produzindo uma rede internacional de correspondências de cunho científico (JARDIM; GUERRA, 2017).

### **2.1.1 A Garrafa segundo Franklin**

Para iniciar as discussões envolvendo esta explicação da garrafa de Leyden, alguns termos utilizados merecem observação. O primeiro deles refere-se ao termo “elétrico” e “não elétrico”. No século XVIII os corpos/objetos isolantes eram chamados de “elétricos”, pois conseguiam manifestar os fenômenos da eletricidade: um tubo de vidro quando atritado, por exemplo, era considerado um corpo elétrico. Do mesmo modo, os corpos/objetos que hoje chamamos de condutores eram considerados “não elétricos”, ou seja, não apresentavam a propriedade de atrair pequenos objetos quando atritados.

Nesse período, a eletricidade era entendida como um fluido composto de partículas que poderiam passar ou serem retidas pelos corpos; utilizavam-se termos como: “fogo elétrico”, “fluido elétrico” e “matéria elétrica” para se referir a causa da

eletricidade (MOURA, 2019). Em todos os casos é possível observarmos uma compreensão material para explicar a natureza da eletricidade, embora como veremos no decorrer do trabalho, muitos filósofos decidiam por não discutir tais questões, e focar na descrição e no tipo de interação entre os corpos elétricos.

Devido aos efeitos apresentados pelos experimentos que envolviam eletricidade, era comum no século XVIII ocorrerem apresentações públicas demonstrando diferentes fenômenos como forma de entretenimento. Em uma dessas apresentações, no ano de 1743, ocorre o primeiro contato de Benjamin Franklin (1706-1790) com a eletricidade ao assistir uma conferência do reverendo escocês Archibald Spencer (1698-1760) envolvendo alguns fenômenos curiosos e divertidos de eletricidade. (PIMENTEL; SILVA, 2008; MOURA, 2019).

Nascido em Boston, em 17 de janeiro de 1706, Benjamin Franklin em sua autobiografia enfatiza sua afeição pela leitura desde muito cedo. Aos 12 anos seu pai o incentiva a tornar-se impressor, auxiliando seu irmão James, que já trabalhava na área, mudando-se poucos anos depois, aos 17 anos para Nova York em busca de independência (MOURA, 2019).

Transferido para Filadélfia, foi convidado pelo governador da Pensilvânia e de Delaware, William Keith (1669-1749), a viajar a Londres para escolher máquinas para montar sua própria gráfica. Frustrado com o fracasso da viagem, devido os percalços, Franklin consegue um emprego em uma gráfica em Londres, permanecendo por um ano e meio. Ao retornar para “Filadélfia, em 1726, Franklin dominava as artes gráficas. Montou sua própria gráfica e logo tornou-se conhecido na região pelas suas publicações” (MOURA, 2019.p.4).

Os anos que se seguiram foram os mais significativos para entendermos a filosofia natural de Franklin. O trabalho em sua gráfica na Filadélfia, com a publicação de jornais, revistas, panfletos, livros e outros materiais, criou um primeiro caminho não só para divulgar suas próprias posições a respeito dos temas que lhe interessavam, como também para as de seus colegas. Foi nesse período que fundou a JUNTO, um grupo de pensadores em busca de aprimoramento intelectual [...] (MOURA, 2019. p. 5).

Franklin tem um envolvimento mais próximo com a filosofia natural após se tornar uma figura mais conhecida na Filadélfia. No ano de 1745, dois anos após a conferência do reverendo escocês Spencer, em 1743, que Franklin e seus companheiros estadunidenses, começaram realizar suas próprias investigações sobre eletricidade. Isso ocorreu após receber de seu amigo, e frequente colaborador Peter Collinson (1694-1768), uma tradução contendo descrições de “experimentos alemães” publicada na revista *Gentleman’s Magazine* e um tubo de vidro com instruções para realizar alguns fenômenos envolvendo a produção de faíscas (PIMENTEL; SILVA, 2008; MOURA, 2019).

As traduções resumiam os trabalhos sobre eletricidade dos alemães Georg Matthias Bose (1710-1761), Christian August Hausen (1693-1743) e Johann Heinrich Winckler (1703-1770) reunidos por Albrecht von Haller (1708-1777) em 1745, além de uma série de descrições detalhadas e de fácil compreensão feitas por Haller, auxiliando e incentivando os primeiros estudos experimentais de Franklin (PIMENTEL; SILVA, 2008; MOURA, 2019).

Após a realização de alguns ensaios experimentais o grupo da Filadélfia (representado por Franklin e colaboradores) desenvolve uma teoria qualitativa para explicar os fenômenos elétricos conhecidos na época (PIMENTEL; SILVA, 2008). Para o grupo, a eletricidade não é uma qualidade adquirida pelo corpo, mas sim uma espécie de fluido elétrico que se manifestava, algo sutil e elástico, que não poderia

ser destruído ou criado. Além disso, as partículas da matéria elétrica se repeliam, enquanto as partículas de matéria comum se atraíam e as partículas de matéria elétrica seriam fortemente atraídas pela matéria comum. Dessa forma, a eletrização de um corpo dependia da ausência ou excesso de fluido elétrico presente nos corpos (MOURA, 2019).

Junto a concepção de eletricidade exposta por Franklin envolvendo a ideia de fluido elétrico, o ato de estar carregado positivamente correspondia a um corpo ou objeto conter um excesso de fluido elétrico, de forma análoga, o carregamento negativo desse mesmo corpo ou objeto seria a falta de fluido elétrico.

Franklin acreditava que nos corpos naturais havia espaços entre as partículas de matéria comum. Nesses espaços, a matéria elétrica se colocava, pela atração da matéria comum, sendo difundida igualmente pelo corpo. Dessa forma, um corpo neutro, ou seja, não eletrizado nem positivamente nem negativamente, possuía matéria elétrica em seu interior. Seria a ausência ou excesso dessa matéria que o tornaria eletrizado [...] (MOURA, 2019. p. 82).

Para explicar a interação entre corpos eletrizados, Franklin utiliza o termo “atmosfera elétrica”. Em seus estudos ele faz a seguinte analogia: os corpos são como “esponjas”, da mesma forma que a matéria elétrica é como a “água”. Fornecendo a esses corpos um excesso de matéria elétrica, ela ficará ao redor deles assim como a água que transborda em uma esponja já cheia, ou seja, a matéria elétrica em excesso será “transbordada” ao redor dos corpos, formando as “atmosferas elétricas” que tomam a mesma forma do corpo eletrizado envolvido (MOURA, 2019).

Esboçadas algumas das teorias estudadas e desenvolvidas por Franklin e colaboradores, destacamos um dos pontos mais importantes envolvendo seus estudos em eletricidade, os experimentos com garrafas de Leyden. É importante enfatizar que Franklin não utilizou o termo “garrafa de Leiden” em suas comunicações a Collinson, mas sim, “frascos de vidro” ou “garrafa de Musschenbroek”, fazendo referência a garrafa (MOURA, 2019).

Em suas comunicações a Collinson, em 1747 e 1748, Franklin enfatiza que já estava realizando uma série de experimentos elétricos com a garrafa, apresentando em uma delas uma explicação mais detalhada do funcionamento da garrafa de Leyden, descrita no “Opiniões e conjecturas”, enviado em 1749 (MOURA, 2019).

A explicação do experimento segundo o grupo da Filadélfia, estava pautada no equilíbrio entre dois estados de eletricidade existentes na garrafa, denominados de positivo e negativo e que, por sua vez, estavam em equilíbrio. Segundo Franklin:

Ao mesmo tempo em que o fio e o topo da garrafa, &c. são eletrizados positivamente ou mais, o fundo da garrafa é eletrificado negativamente ou menos, em exata proporção. Ou seja, para qualquer quantidade de fogo elétrico lançado em direção à parte superior da garrafa, uma quantidade correspondente deixa o fundo. (...) Tão maravilhosamente são esses dois estados de Eletricidade, o positivo e o negativo combinados e equilibrados nesta garrafa milagrosa! [...] (FRANKLIN, 1769. p. 13 -14).

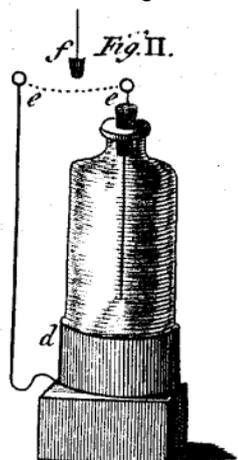
Para realizar esta etapa do experimento, Franklin parte da hipótese de que dentro da garrafa contendo um fio (provavelmente de metal) em seu interior havia certa quantidade de eletricidade em equilíbrio. Assim, na medida que se adicionava fluido elétrico na garrafa a quantidade de eletricidade no fio e na parte superior da garrafa aumentava na mesma proporção que a quantidade equivalente deixava seu interior. Esse processo se repetia até que nada mais pudesse ser acrescentado à

parte superior e nada mais pudesse ser retirado da parte interior. O fluido que estava na parte externa do vidro, atravessava o experimentador que segura a garrafa, de modo a acumular-se no solo. A garrafa estava, portanto, carregada (FRANKLIN, 1769).

Para que ocorresse novamente o equilíbrio de fluido elétrico na garrafa, Franklin realizou processos de “transferência” de eletricidade entre as partes do sistema, como mostra a figura 3, correspondente a Fig.II do texto original que representa a descrição do experimento III:

EXPERIMENTO III. Fig. 2. Fixe um fio de arame ao chumbo, com o qual o fundo da Garrafa está armado (d), de modo que dobrando para cima, sua extremidade em forma de anel pode ficar nivelada com o topo, ou extremidade em forma de anel do fio na rolha (e), e a 3 ou 4 polegadas de distância. Em seguida, eletrifique a garrafa e coloque-a sobre a cera. Se uma rolha suspensa por um fio de seda (f) ficar pendurada entre esses dois fios de arame, ela vai balançar incessantemente de um lado para o outro, até que a garrafa não esteja mais eletrificada. Ou seja, ele busca e carrega o fogo do topo ao fundo da garrafa até que o equilíbrio seja restaurado [...] (FRANKLIN, 1769. p. 16).

Figura 3 - Esquema de uma das garrafas utilizadas por Franklin



Fonte: Franklin (1769, plate.1)

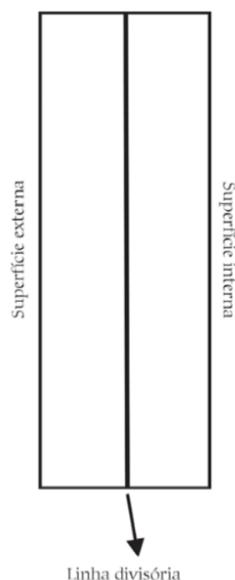
Para Franklin, o aspecto fundamental da garrafa era o vidro, assim, compreender a interação entre o vidro e o fluido elétrico se mostra uma tarefa importante. No geral, alguns filósofos naturais da época pressupunham que o fluido elétrico poderia atravessar o vidro e exercer influência nos objetos. Mas Franklin apresentou o seguinte questionamento: “se um fluido elétrico atravessava o vidro, como a garrafa poderia ser carregada? Afinal, o vidro não ficaria com sua quantidade normal de fluido elétrico?” (MOURA, 2019. p. 85).

Para responder esses questionamentos Franklin elaborou a seguinte interpretação:

Para ele, não restava dúvida de que o vidro atraía fortemente a matéria elétrica. A atração seria tão forte que a única maneira de mover o fluido elétrico natural do vidro seria atrelar materiais não elétricos as suas duas superfícies, ou seja, condutores. Quando o fluido elétrico era transmitido para o fio da garrafa em direção ao não elétrico interno, ele gerava uma atmosfera elétrica sobre a superfície interna do vidro, estando essa atmosfera no não elétrico interno [...] (MOURA, 2019. p. 85).

O aspecto fundamental da teoria de Franklin era que não havia passagem de fluido elétrico de uma superfície de vidro para outra. Assim, as superfícies do vidro, que compreendiam exatamente a metade da espessura do vidro interna e externamente, e que não poderia passar fluido elétrico pela linha divisória conforme mostra a figura 4, acumulava fluido elétrico na parte interna, e perdia fluido elétrico na externa, ao realizar o experimento (MOURA, 2019).

Figura 4 – Ilustração das superfícies do vidro segundo Franklin, com a linha divisória exatamente nas metades das superfícies interna e externa



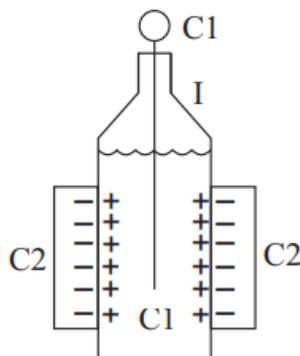
Fonte: Moura (2018, p. 33)

Segundo Franklin, devido o resfriamento no processo de fabricação do vidro, os poros em seu interior eram muito estreitos, impedindo a passagem de fluido elétrico pela linha divisória entre as duas superfícies do vidro. No entanto a repelência de fluido dos dois lados da garrafa ainda poderia ser comunicada (MOURA, 2019).

Portanto, Franklin estabeleceu a importância do revestimento de não elétrico dentro e fora da garrafa. Pois quando uma quantidade de fluido elétrico preenchia o revestimento de não elétrico interno, formando uma atmosfera elétrica na parte interna do vidro, ocorria um desequilíbrio nas repulsões, fazendo com que a matéria elétrica fosse empurrada para fora, se, somente se o revestimento de não elétrico externo estivesse presente, sobretudo, aterrado (MOURA, 2019).

Caso o revestimento de não elétrico não fosse colocado na superfície do vidro, o carregamento da garrafa jamais poderia ocorrer, visto que a matéria elétrica presente na superfície externa não seria empurrada ao ar. Logo, o ato de estar carregada significava que uma superfície do vidro tinha um excedente de fluido e a outra uma falta. A descarga/faísca produzida pela garrafa tratava-se do reestabelecimento/reequilíbrio de fluido elétrico nas duas superfícies do vidro (MOURA, 2019).

Figura 5 – Representação da garrafa de Leyden em equilíbrio elétrico entre as partes interna e externa. C1 e C2 são materiais “não elétricos” e o vidro é representado pela letra I.



Fonte: Assis (2010, p. 230)

Embora os argumentos de Franklin com relação ao comportamento da garrafa e estrutura do vidro sejam, a princípio, satisfatórios eles apresentam alguns problemas. Mesmo afirmando que cada superfície do vidro tinha metade de sua espessura total, ele não explicou por que a divisão ocorria exatamente no meio. Além disso, por que a repelência entre os fluidos elétricos em cada superfície poderia atravessar a linha divisória, mas as partículas não, mesmo sendo pequenas a ponto de sair de suas respectivas superfícies? Questionamentos como esses não foram explicados por Franklin, que reconheceu fragilidades em suas hipóteses posteriormente (MOURA, 2019).

Apesar de algumas questões ainda merecerem atenção, principalmente em relação à estrutura do vidro, o estudo e a explicação de Franklin para o funcionamento da garrafa se mostrou perspicaz, corroborando para as argumentações sobre a diferença entre corpos elétricos e não elétricos. Além disso, a explicação sobre a interação entre os fluidos elétricos nas superfícies interna e externa do vidro apresenta semelhança com o conceito de indução elétrica. No entanto, estes conceitos só foram desenvolvidos no século XIX (MOURA, 2019).

### 2.1.2 A força na garrafa de Aepinus

Como já mencionado no início da sessão 2, a garrafa de Leyden mostrou ser um instrumento intrigante e proporcionou o surgimento de novas concepções para o conhecimento da eletricidade. A explicação aqui desenvolvida envolverá duas figuras centrais: Franz Ulrich Theodosius Aepinus (1724-1802) e seu aluno que depois se tornaria um importante colega nos estudos referentes a eletricidade e magnetismo, Johan Carl Wilcke (1732-1796) (NARDI, 2021).

Nascido em dezembro de 1724, em Rostock, no Norte da atual Alemanha, Franz Ulrich Theodosius Aepinus era filho do professor de teologia da Universidade de Rostock, Franz Albert Aepinus (1673-1750). Em 1740, Aepinus começou a estudar teologia na universidade, mudando pouco tempo depois para medicina. Com o término de seus estudos, Aepinus tornou-se professor em Rostock tendo como principal aluno Johan Carl Wilcke (1732-1796) (NARDI, 2021).

Em linhas gerais podemos observar algumas referências que influenciaram os trabalhos de Aepinus desde antes da universidade, pois, estava familiarizado, pelo menos de maneira introdutória, ao método matemático de Leibniz, além de ter feito estudos acerca da filosofia natural pelo livro *Elementa Physics* de Georg Erhard Hamberger (1697-1755), crítico da ação à distância de Newton. Porém, ao longo de

sua formação, teve contato com o newtonianismo, por meio do professor G. C. Detharding (1699-1784). Influências que são contrapostas em seu processo de aprendizado (NARDI, 2021).

Aepinus também realizava estudos sobre astronomia, lhes rendendo uma reputação fora de Rostock, a ponto de conseguir uma vaga como astrônomo, com a ajuda do matemático Leonhard Euler (1707-1783), na Academia de Ciências de Berlim em meados de 1755. Lá Aepinus e Wilcke realizam suas primeiras investigações em eletricidade, após contato e estudo da obra de Benjamin Franklin *Experiments and Observations on Electricity, made at Philadelphia in America* (NARDI, 2021; HEILBRON, 1979).

Baseando-se em seus estudos e na teoria de Franklin, Aepinus descreve uma analogia entre eletricidade e magnetismo, formulando uma teoria magnética que se apoia na ideia de um fluido elétrico. Seus experimentos e conhecimentos matemáticos resultam no livro *Tentamen Theoriae Electricitatis et Magnetismi*, de 1759, publicado em São Petersburgo (NARDI, 2021), que tomaremos como base para apresentar a sua explicação da garrafa de Leyden aqui presente.

Aepinus em seu livro afirma que:

Newton demonstrou como o movimento dos corpos celestes depende da gravidade universal; mas ele não gastou energia para demonstrar a fonte dessa gravidade universal. Meu plano de ação será, sem dúvida, castigado por aqueles que não suportam falar de atração e repulsão na Filosofia Natural. Para satisfazê-los, declaro que estou plenamente convencido da existência de forças de atração e repulsão, mas não vou tão longe a ponto de sustentar, como alguns discípulos imprudentes do grande Newton, que essas são forçar inatas aos corpos, e não aprovo a doutrina que afirma a possibilidade de ação à distância [...] (AEPINUS, 1979. p. 240).

Ou seja, os trabalhos de Aepinus sofreram influências newtonianas como podemos identificar na afirmação acima exposta pelo próprio Aepinus que, assim como Newton, não irá dispensar atenção na explicação das "origens das forças primitivas (elétrica e magnética)" fazendo paralelo com o trabalho de Newton sobre a gravidade em que afirma não precisar mostrar a fonte da gravidade para demonstrar que os movimentos celestes dependem da gravitação universal (NARDI, 2021). Entretanto ele não considera a possibilidade da existência da ação à distância como uma explicação plausível ao fenômeno de atração e repulsão.

Por vezes Aepinus utiliza a expressão *força a distância* para caracterizar esse fenômeno, o que parece não se tratar da mesma ideia da ação à distância a qual Newton se referia. Na verdade, ele supõe a existência de forças agindo no fenômeno, influência trazida pelos estudos dos trabalhos de Newton, mas considera que há influência de algo material nesse processo, provavelmente pela influência dos trabalhos de Franklin. Aepinus traz uma síntese das ideias de Franklin, as quais ele irá utilizar para se referir aos fenômenos elétricos e magnéticos em seu trabalho:

1) existência de um fluido sutil e elástico que produziria os fenômenos elétricos, e cujas partículas constituintes repelem-se mutuamente, mesmo quando bem separadas; 2) as partículas do fluido elétrico são atraídas pela matéria da qual todos os corpos eram feitos (por vezes chamada de matéria comum); 3) existência de corpos nos quais o fluido elétrico se move com facilidade dentro de seus poros, os corpos chamados não-elétricos. Há também os corpos nos quais o fluido se move com muita dificuldade, os chamados elétricos; 4) existência de dois tipos de fenômenos elétricos, os que ocorrem devido ao trânsito do fluido de um corpo ao outro, movendo-se de um corpo com excesso de fluido a um com deficiência. Nesta classe

encontram-se fenômenos como as faíscas elétricas e a aparição de brilhos e luzes. Há também os fenômenos que ocorrem sem que o fluido elétrico se movimentasse, como a atração e a repulsão [...] (NARDI, 2021. p.66).

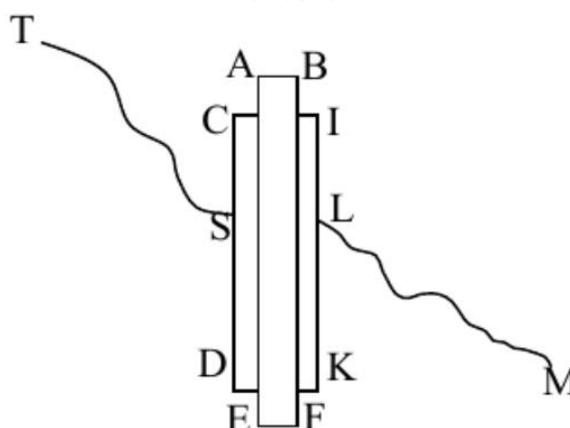
Nessa síntese, Aepinus, assim como Franklin, adota a concepção de que a eletricidade se trata de um único fluido. Além disso, Aepinus também desenvolve uma discussão acerca da impermeabilidade do vidro com relação ao fluido elétrico na teoria de Franklin, impulsionado pela necessidade de compreender melhor a garrafa de Leyden. Como vimos no capítulo 2. o vidro era crucial para explicação da garrafa: ele possuía uma impermeabilidade, segundo Franklin, fazendo com que a garrafa apresentasse um estado elétrico positivo na superfície interna, e outro negativo na superfície interna (MOURA, 2019). Para Aepinus, a impermeabilidade apresentada é uma propriedade comum a todos os corpos tidos como elétricos, e não somente ao vidro (AEPINUS, 1979).

Aepinus, então, analisa o conceito de quantidade natural de fluido em um corpo, chegando as seguintes conclusões:

Existe uma quantidade natural de fluido para o corpo A em que não havia fluxo para fora ou para dentro. Dessa forma, Aepinus define o conceito frankliniano de quantidade natural em termos das forças atrativa e repulsiva; (...) os corpos elétricos são os agentes externos capazes de manter o excesso (ou falta) de fluido de um corpo. Se o corpo A estivesse envolto em um corpo elétrico, como o ar (seco), a partícula B teria dificuldade em escapar. Se A fosse um corpo elétrico com uma deficiência de fluido, então as partículas ao redor teriam dificuldade em entrar no corpo [...] (NARDI, 2021. p.67).

Expostas algumas das concepções estudadas e desenvolvidas por Aepinus, partiremos para os seus estudos envolvendo os experimentos com garrafas de Leyden. Aepinus, ao analisar o fenômeno envolvendo a garrafa, utiliza os chamados “quadrados de Franklin”<sup>4</sup> representados pela figura 7 (HEILBRON, 1979).

Figura 6 – Representação da “garrafa” de Leyden utilizada por Aepinus. ABEF é uma placa de vidro, CD e IK são placas de metal. TS é um fio ligado a um gerador e LM é um fio conectado ao globo terrestre.



Fonte: Nardi (2021, p. 90)

<sup>4</sup> Os chamados quadros ou quadrados de Franklin foram um desenvolvimento das garrafas de Leyden. Ao perceberem que o formato das garrafas não era relevante, passaram a construir condensadores de placas paralelas nos quais um retângulo de vidro isolante possuía lâminas condutoras dos dois lados, que podiam ser carregadas com cargas opostas ao serem ligadas a máquinas eletrostáticas. Eles foram inventados na década de 1740 (HEILBRON, 1999, p. 317 e 334).

Com isso, Aepinus concorda que a forma do material não é determinante para que a garrafa funcione:

Visto que a forma do vidro usado para o experimento não afeta o sucesso do experimento, suponhamos a seguir que usamos uma placa de vidro plano; pois o experimento é tão bem-sucedido com isso quanto com um vaso em forma de jarro. Portanto ABEF, Fig. VIII, uma placa de vidro coberta em ambos os lados, como é usual pelas placas de metal IK e CD. Que a placa IK seja tocada por um corpo não elétrico *per se*, como a corrente LM na figura, não sustentada por corpos elétricos *per se*, mas ligada ao próprio globo terrestre por meio de outros corpos não elétricos *per se* [...] (AEPINUS, 1979. p. 269, tradução nossa).

Observamos no trabalho de Aepinus, que além de utilizar os quadrados de Franklin no lugar do frasco convencional, ele também discute o fenômeno expresso na garrafa de Leyden como uma proposta experimental, uma vez que vários aspectos já eram conhecidos, advindos de trabalhos como o do próprio Franklin, dentre eles de que o formato da garrafa influenciaria apenas na intensidade da comoção. Na sequência ele inicia um processo de matematização do fenômeno para explicar o aparato.

Segundo Nardi (2021), Aepinus constrói uma relação matemática entre as grandezas de força à distância e quantidade de fluido elétrico, fazendo relação de hipóteses físicas como repulsão entre partículas de fluido e atração entre fluido e matéria comum, descrevendo uma relação linear, associando à variação da força repulsiva quando o fluido elétrico é adicionado para o carregamento da garrafa.

Na explicação aqui presente não enfatizaremos a matematização<sup>5</sup> utilizada para que ocorresse a explicação do carregamento da garrafa de Leyden, mas sim as questões conceituais expressas durante a explicação presente no *Tentamen*.

A “garrafa” de Leyden utilizada por Aepinus, ilustrada na figura 7, apresenta a seguinte estrutura: ABEF é uma placa de vidro, CD e IK são placas de metal e TS e LM são fios feitos de material não-elétrico. Aepinus descreve que a eletricidade seria comunicada a placa CD utilizando um gerador triboelétrico (fonte primária) por meio do fio TS. Logo, a placa CD se encontraria preenchida com matéria elétrica (NARDI, 2021).

Para que ocorresse a eletrização da garrafa, através do não elétrico TS seria comunicado fluido em excesso, chamado de  $\alpha$ , para a placa CD. Com isso uma força de repulsão é exercida sobre a superfície da placa IK, que por sua vez está conectada ao fio LM, também composto por um material não elétrico e conectado ao “globo da própria Terra mediante outros corpos não-elétricos” (AEPINUS, 1979. p. 269, tradução nossa), fazendo com que as partículas de fluido elétrico presentes na superfície de IK escapem da placa através do fio LM (NARDI, 2021).

O fluido perdido pela placa IK após a repulsão de CD é chamado de  $\beta$ . No início da eletrização esse fluido possui um valor bem pequeno, e vai aumentando na medida que o fluxo de partículas para fora de IK se mantém, concluindo que a força exercida pela placa IK nas partículas de fluido presentes em sua própria superfície seja repulsiva. Ou seja, a força total exercida na partícula de fluido presente na superfície de IK é a soma dos efeitos de CD e IK nessas partículas de fluido  $\beta$  (NARDI, 2021).

---

<sup>5</sup> Visto que não há parâmetro matemático nas outras explicações que apresentamos nesse trabalho, para fim de comparação e análise, consideramos que expressar tais equações fugiria ao escopo do nosso objetivo nessa pesquisa. Para aprofundamento da explicação matemática de Aepinus consultar Nardi (2021)

Por fim, através de suas hipóteses e posteriormente dedução matemática, Aepinus conclui que a quantidade de fluido adicionado no interior da garrafa não é a mesma que é ejetada pelo exterior dela, uma vez que a força proveniente da eletrização é repulsiva e cresce conforme mais fluido é adicionado à CD (NARDI, 2021). Concluindo que a quantidade de fluido  $\beta$  (fluido ejetado), é sempre menor que a quantidade de fluido  $\alpha$  (fluido adicionado).

Aepinus em sua explicação da garrafa de Leyden expressa claramente as influências newtonianas e franklinianas, fazendo relação entre força a distância e a ideia de fluido elétrico em falta e em excesso através da matematização presente no *Tentamen*. Interpretando essas equações, podemos inferir que para ocorrer a eletrização da garrafa, a placa IK teria que ser “aterrada” por meio do fio LM, conforme expresso anteriormente.

Podemos dizer que existem algumas diferenças presentes nas teorias de Franklin e Aepinus com relação a explicação da garrafa de Leyden. É demonstrado uma diferença epistemológica empregada pelo uso da matematização na explicação de Aepinus (NARDI, 2021); Franklin não faz nenhuma menção ao conceito de força em sua explicação com relação a quantidade natural de fluido elétrico, definindo a quantidade natural como sendo aquela que os corpos apresentam enquanto não são eletrificados; além de disso, não utiliza o conceito de força à distância, mas sim de atmosferas elétricas para analisar a atração e repulsão, diferente de Aepinus, que por ter influencias newtonianas apresenta uma modificação a respeito de seu entendimento com relação a teoria do fluido elétrico frankliniano.

### **2.1.3 Garrafa de Leyden: um fluido, duas correntes**

Os estudos envolvendo fenômenos elétricos compunham grande parte da física experimental apresentada na primeira metade do século XVIII. A recente descoberta da garrafa de Leyden, por ser um experimento que desafiava a teoria elétrica já estabelecida, chamou a atenção de vários pesquisadores, como Jean-Antoine Nollet (1700-1770) (MOURA, 2019; SILVA, 2011).

Vindo de uma família humilde, Nollet nasceu em 19 de novembro de 1700 em Pimprez, próximo ao norte de Paris. Sob influência do padre da cidade, o pai de Nollet o enviou aos quatorze anos para estudar em Clermont e, depois, teologia em Paris, cidade que o encantou culturalmente a ponto de fazê-lo abandonar a carreira eclesiástica em 1728 (SILVA, 2011).

Nollet chamou a atenção de alguns membros importantes da *Académie des Sciences*, como Charles François de Cisternay Dufay (1698–1739) e René-Antoine Ferchault Réaumur (1683–1757) ao expressar suas habilidades em um grupo que havia começado a fazer parte, o grupo *Société des Arts* destinado a levar artes e ciências para os artesãos. Com isso, começou a trabalhar com Dufay entre os anos 1731 a 1735, aprendendo técnicas de laboratório e abordagem cartesiana da física, além de ser contratado em 1732 por Réaumur para ser responsável de seu laboratório (SILVA, 2011).

Entre os anos de 1734 a 1736 Nollet viajou como assistente de Dufay para Inglaterra e Holanda, tendo contato com os estudiosos newtonianos britânicos e sendo nomeado membro da *Royal Society de Londres* pelo tão conhecido conferencista John Theophilus Desaguliers (1683–1744). Durante a viagem à Holanda conheceu os irmãos Jan (1687–1748) e Pieter (1692–1761) van Musschenbroek e Wilhelm Jacob 'sGravessande (1688–1742) (SILVA, 2011).

Ao voltar a Paris, Nollet é reconhecido pelos seus trabalhos e suas habilidades como fabricante de instrumentos, estabelecendo sua reputação entre os círculos franceses. Assim, em 1739 ele foi nomeado para o cargo de *adjoint mécanicien*, anteriormente ocupado por Georges Louis Leclerc, Comde de Buffon, (1707–1788), na *Académie des Sciences*. Nesse mesmo ano, com a morte de Dufay, Nollet passou a ser considerado o mais relevante eletricitista francês (SILVA, 2011).

A eletricidade era um tema abordado em suas palestras, porém Nollet não se debruçava nos estudos novos na área, reproduzia os experimentos realizados por Hauksbee, Gray e Dufay. Passou a ter interesse de fato pelos estudos que abrangiam os fenômenos elétricos após seu primeiro contato com Georg Matthias Bose (1710-1761) em Wittenberg em 1745; chamou-lhe a atenção o fenômeno de ignição de faíscas por álcool presente em um frasco que recebia eletricidade a partir de uma máquina eletrostática (MOURA, 2019; SILVA, 2011).

Meses depois, Nollet apresentou a *Académie Royale des Sciences*, em Paris, seu trabalho intitulado “*Conjectures sur les Causes de l’Electricité des Corps*” (Conjecturas sobre as causas da eletricidade dos corpos), contendo os fundamentos de suas ideias sobre eletricidade. Suas teorias foram rapidamente reconhecidas por Bose na Alemanha e por William Watson (1715–1787) na Inglaterra (SILVA, 2011).

Podemos destacar que seus trabalhos foram influenciados principalmente por Dufay que apresentava uma teoria bem difundida entre os franceses, ideias cartesianas gerais, bem como, os estudos e resultados experimentais descritos por Bose, Christian August Hausen (1693-1743) e Johann Heinrich Winckler (1703-1770) (SILVA, 2011).

Para explicação da garrafa de Leyden proposta nessa sessão utilizaremos como base o trabalho “*Conjectures sur les Causes de l’Electricité des Corps*”, lido em 1745 na *Académie Royale des Sciences* e o livro *Éssai sur l’Électricité des corps* (Ensaio sobre a eletricidade dos corpos), publicado em 1746, que contem sua base teórica envolvendo os fenômenos da eletricidade, uma vez que Nollet dedicou esses trabalhos para descrever novos fenômenos elétricos e suas explicações contendo resultados experimentais.

Diferente dos newtonianos franceses da época, Nollet não fala em força de atração e repulsão ao tratar os fenômenos elétricos. Era um seguidor de Decartes e afirmava que tanto as atrações quanto as repulsões nesses fenômenos se explicariam por forças de contato direto da matéria elétrica envolvendo os corpos (HEERING; SILVA, 2018). No *Conjectures* Nollet afirma que:

Os efeitos da eletricidade provêm de uma atração geral comum a todas as partes da matéria; além do fato de que esse princípio é adotado apenas por uma parte do mundo físico, que nem é a maior, aqueles que o defendem com mais calor são obrigados a concordar que ele não pode ser aplicado com nenhuma probabilidade de atração aos fenômenos em questão, sem violar manifestamente as leis que lhes são atribuídas e segundo as quais se supõe que atuem no mecanismo ordinário da Natureza [...] (NOLLET, 1745. p. 110, tradução nossa).

Segundo Nollet quando um corpo era eletrizado por fricção emitiria ao mesmo tempo correntes “afluente” e “efluente” do fluido elétrico. A corrente efluente escapa através de seus poros e é compensada por uma corrente afluenta do mesmo fluido vindo de fora (HEERING; SILVA, 2018). Concluímos, com isso, que as correntes efluentes e afluentes se diferiam quanto a sua direção, e distribuição espacial.

Para Nollet o corpo eletrizado ocasionava a atração e repulsão dos corpos leves presentes na vizinhança através de uma das duas correntes que se opunham no fluido elétrico, afirmando que:

Um tubo friccionado fortemente em um local escuro espalha manchas esfumadas sobre os corpos não eletrificados que o cercam a uma curta distância (...) É, portanto, bastante evidente que as atrações, repulsões e outros fenômenos elétricos produzem os efeitos de um fluido sutil, que se fecha em torno do corpo eletrizado e estende sua ação ao redor, nas proximidades, mais ou menos conforme o grau de força que lhe foi imposta. Porque uma substância que toca, que a gente ouve agindo, que se torna visível em certos casos e que tem cheiro, pode ser outra coisa senão matéria em movimento? [...] (NOLLET, 1753. p. 67, tradução nossa).

Logo, os fenômenos elétricos eram ocasionados pelo movimento em direções opostas de duas correntes de fluido elétrico interagindo com outras correntes de diferentes intensidades em outros corpos vizinhos. Essas correntes, estão presente em todos os corpos, sendo a atração ocasionada pela corrente afluyente e a repulsão pela efluente (HEERING; SILVA, 2018; MOURA, 2019).

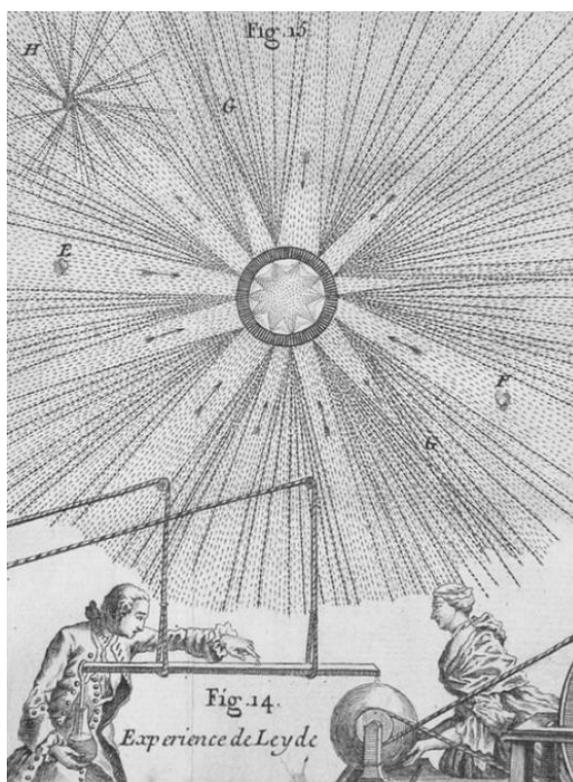
Para que ocorressem os fenômenos elétricos parte do fluido escaparia pelos poros de um corpo eletrificado, ocasionando uma corrente efluente e a perda de matéria elétrica é suprida por uma corrente afluyente, como ressaltado no *Conjectures*:

Concordo, portanto, pelas razões que acabo de expor, que a matéria elétrica realmente dispara de dentro para fora dos corpos eletrizados, e que essas emanações têm um movimento progressivo e sensível até uma certa distância; mas tenho razões igualmente fortes para acreditar que uma matéria semelhante se transporta de todos os lados para o corpo eletrizado, e que vem para lá não apenas do ar circundante, mas também de todos os corpos, mesmo os mais densos e os mais compactos, que estão nas proximidades [...] (NOLLET, 1745. p. 124, tradução nossa).

Partindo para explicação da garrafa de Leyden, o frasco ficou conhecido pelos acadêmicos a partir de uma carta que Musschenbroek enviou para Réaumur, em janeiro de 1746. A carta tem sua primeira leitura realizada na *Académie*, e uma segunda leitura três meses depois, em uma sessão pública, quando Nollet investigou e confirmou os efeitos presentes no experimento e como obtê-los (HEERING; SILVA, 2018).

Em seu livro *Éssai sur l'Électricité des corps* lido em abril de 1746 na sessão pública, Nollet relata ter realizado a experiência com um copo comum segurando o frasco com uma mão e puxando a faísca com a outra, recebendo um choque que ele considera inegável. Ele explicou que reproduziu o experimento sozinho por estar impaciente e não poderia esperar pelo vidro alemão ou boêmio indicado por Musschenbroek, que considerava ser os únicos materiais que produziram os resultados esperados (HEERING; SILVA, 2018).

Figura 7 - Representação de Nollet do experimento de Leyden, com ênfase no processo de descarga



Fonte: Nollet (1753, plate.4)

Nollet admitiu que o condensador fugia as regras de como fazer experimentos envolvendo eletricidade. Porém, não se questionou a ponto de construir uma nova teoria, mas sim tratou a garrafa de Leyden como uma exceção à regra, um fenômeno *sui generis* (HEILBRON, 1999). Logo, ele atribui o fato de a garrafa permanecer eletrificada ao vidro no experimento, informando que o vidro impedia a perda de eflúvios do condutor primário na medida que adquiria uma forte eletrificação, tornando-se um forte emissor e receptor de matéria elétrica (HEILBRON, 1979).

Nollet descreve o experimento afirmando que quando uma pessoa segurando com uma das mãos o frasco de vidro ou porcelana, carregada cheia de água e suspensa de um metal carregado, aproxima a outra mão para obter uma faísca, essa pessoa sente uma grande comoção violenta e passageira causada em ambos os braços, e até no peito, nas entranhas e geralmente em todas as partes do corpo (NOLLET, 1753).

Concluindo que:

Tudo nos indica e nos leva a crer que a matéria elétrica é um fluido muito sutil que se refugia em toda parte, dentro e fora dos corpos, portanto está dentro de nós mesmos; e se julgarmos pela facilidade com que entra com força, pela extrema finura de suas partes, e pela porosidade de nossa própria matéria, não teremos dificuldade em compreender que ela flui em nós com uma continuidade perfeita, e que seus movimentos são pelo menos semelhantes aos dos outros fluidos que conhecemos [...] (NOLLET, 1753. p. 194).

Em sua teoria, o vidro no experimento desempenhava o papel de impedir a perda de eflúvios do condutor primário e de adquirir ele próprio uma grande eletrificação, ficando, portanto, carregado. A superfície superior da garrafa agia

como um isolante, o volume do vidro como um condutor e a superfície inferior como um metal altamente eletrificado ou um corpo não excitado, conforme era aterrado ou isolado (HEILBRON, 1979).

Dessa forma, para que ocorresse o fenômeno elétrico envolvendo a garrafa de Leyden, uma pessoa segurando o frasco com uma das mãos enquanto o eletrifica, serve como um agente de fluxo duplo das correntes afluentes e efluentes. As correntes afluentes passam do exterior da garrafa para o chão através do experimentador, enquanto que uma contracorrente de si mesmo passa para o frasco (HEILBRON, 1979).

Ao tocar o condutor principal com a outra mão que está livre, outro fluxo duplo mais rápido é estabelecido do metal para a mão e vice-versa. Logo o experimentador é atingido por afluentes da garrafa e do condutor, que repelem os efluentes de seu corpo, comprimindo dolorosamente a matéria elétrica naturalmente presente nos braços, peito e restante do corpo (HEILBRON, 1979).

De acordo com a base teórica de Nollet e da forma como ele conduz o experimento da garrafa de Leyden, observamos dois pontos importantes: que ele atribui o fato da garrafa desafiar a regra de Dufay devido as propriedades especiais do vidro, que simultaneamente retém o eflúvio que seria perdido pelo condutor primário e ao mesmo tempo transmite a eletricidade comunicada através do experimentador; e que tanto o carregamento da garrafa quando a alta descarga expressa no experimentador se dá pelos fluxos duplos de fluido elétrico exercido pelas correntes afluentes e efluentes.

Logo, Nollet não expressa o aterramento como sendo algo necessário para o experimento. Além disso, o francês utilizou diferentes líquidos dentro da garrafa, concluindo que os líquidos oleosos não eram eficazes, e fazendo uso da água como a mais adequada para a realização do fenômeno. Ele também testou frascos composto por vários materiais, tamanhos e formas, concluindo que eles deveriam ser feitos de vidro ou porcelana, com 4 ou 5 polegadas de diâmetro (HEERING; SILVA, 2018).

A fragilidade expressa pela teoria de Nollet em explicar pontos básicos como as características do condensador, como ele era carregado de maneira que se opunha as regras já estabelecidas em realizar experimentos envolvendo eletricidade, fez com que suas teorias fossem questionadas, fomentando ainda mais os estudos envolvendo eletricidade, em especial os que compunham a recém-inventada garrafa de Leyden.

### **3 ANÁLISE DAS EXPLICAÇÕES DA GARRAFA DE LEYDEN**

Analisando as três explicações da garrafa de Leyden, podemos fazer uma comparação apontando algumas semelhanças, mas principalmente diferenças existentes em cada teoria criada. Isso se deu principalmente por influência no estudo sobre ciências, os métodos científicos utilizados por cada um, bem como, questões de localidade, interpretação das teorias já existentes e regras estabelecidas de como trabalhar com fenômenos envolvendo a eletricidade.

Dentre as três explicações, duas envolviam a teoria de um único fluido elétrico expressa por Franklin e posteriormente Aepinus, e uma era defendida por Nollet que considerava a existência de duas correntes. No entanto, mesmo as que tratavam de um único fluido elétrico agindo pelo acúmulo ou falta deste se diferem quanto à explicação, na medida que Franklin trabalha o conceito de atmosfera elétrica,

diferentemente de Aepinus, que por influências newtonianas, interpreta os trabalhos de Franklin tendo um olhar voltado para a ideia de força à distância.

Isso faz com que ocorra inclusive uma correção aos trabalhos de Franklin, quando Aepinus, através de uma série de hipóteses e posteriormente utilização da matematização, afirma que a quantidade inicial de fluido elétrico nunca será igual à quantidade final, relacionando a ideia de força à distância e diferença de fluido elétrico em ambos os lados da garrafa.

Nollet, por sua vez, seguidor de Descartes, e influenciado diretamente pelas teorias já estabelecidas de Dufay, além dos trabalhos de Bose, descarta o fato de a garrafa de Leyden refutar diretamente o modo como se realizavam experimentos em eletricidade, referindo-se a ela como um fenômeno *sui generis*. Atribuindo esse aspecto as propriedades de reter o eflúvio, formando uma emanção e transmiti-lo simultaneamente. Além de explicar o fenômeno da garrafa por meio das trocas duplas de fluxo do fluido elétrico por meio das correntes afluentes e efluentes nos diferentes corpos.

Franklin também explica o ato de carregar a garrafa de Leyden devido as propriedades do vidro, enfatizando a questão da sua impermeabilidade elétrica, impedindo a passagem de fluido elétrico por ele, sem, no entanto, impedir a interação em ambos os lados do frasco, explicando o carregamento por meio da atmosfera elétrica criada pelo excesso e falta de um único fluido elétrico coexistente no frasco de vidro.

Aepinus generaliza a teoria da impermeabilidade do vidro, e por meio da matematização e montagem experimental explica o funcionamento da garrafa através de força à distância de forma repulsiva e ao fato do não elétrico estar conectado ao globo terrestre por meio de outros não elétricos.

Em síntese, podemos apontar questões importantes quanto as explicações envolvendo a garrafa de Leyden: duas hipóteses quanto a natureza da eletricidade foram estabelecidas, a de um único fluido elétrico e a de duas correntes de matéria elétrica; as influências exercidas pelos diferentes filósofos naturais desempenharam um papel quanto a construção das explicações; o fato de já existir uma teoria para eletricidade e como se realizar experimentos elétricos também influenciam nas explicações; é a partir dos estudos da garrafa que os fenômenos elétricos começam a ser formulados por meio da matematização.

Dessa forma, criamos um quadro comparativo apontando essas questões de maneira que fique mais clara as diferenças expressas nas explicações que envolvem o intrigante fenômeno da garrafa de Leyden.

Tabela 01: Resumo das características envolvendo o experimento na França, Inglaterra e Alemanha.

FILÓSOFO	QUANDO E ONDE	PRINCIPAIS INFLUÊNCIAS PARA EXPLICAÇÃO DA GARRAFA	ASPECTOS IMPORTANTES DA TEORIA	INTERPRETAÇÃO DE COMO A GARRAFA FOI UTILIZADA	ATENÇÃO ATERRAMENTO
Jean-Antoine Nollet	Paris - 1745	Seguidor de Descartes, influenciado principalmente pelos trabalhos de Dufay e Bose.	Atribui o fato de a garrafa desafiar a regra de Dufay devido as propriedades especiais do vidro de reter o eflúvio e transmitir a eletricidade através do experimentador. O carregamento da garrafa e a descarga elétrica ocorre pelos fluxos duplos de fluido elétrico exercido pelas correntes afluentes e efluentes de diferentes intensidades entre os corpos.	Replicação do experimento e estabilização da garrafa/fenômeno.	Não
Benjamin Franklin	Filadélfia - 1749	Influenciado por seu amigo o Peter Collinson e os trabalhos de Bose, Winckler e Hausen reunidos por Haller.	O fenômeno seria explicado levando em consideração o conceito de atmosfera elétrica e a deficiência de fluido elétrico em um dos lados da garrafa coexistente com o excesso do outro lado, proveniente pelas propriedades do vidro, como o fato dele ser impermeável.	Replicação do experimento e estabilização da garrafa/fenômeno.	Não
Franz Ulrich Theodosius Aepinus	Berlim - 1759	Influenciado pelas teorias newtonianas e do estudo dos trabalhos de Franklin.	A eletrização da "garrafa" ocorre pelas forças de repulsão proveniente da comunicação de fluido em excesso da fonte primária de um dos lados da placa. Consequentemente a perda de fluido do outro lado devido ao não elétrico está conectado ao globo da própria terra por outros não elétricos.	Análise sistemática através da matematização e montagem experimental.	Sim

Fonte: Elaboração Própria

#### 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Antes de mais nada, gostaríamos de ressaltar a importância do estudo em torno da História da Ciência para compreensão, desenvolvimento e elaboração de um episódio histórico. Também gostaria de pontuar que este trabalho é o encerramento que se iniciou na disciplina de Metodologia 3 ofertada pela Universidade Estadual da Paraíba (UEPB) e de uma oficina ministrada no Instituto Federal da Paraíba (IFPB).

Em ambas as ocasiões, foram desenvolvidos estudos teóricos e práticos relacionados a diferentes episódios históricos que compõem o tema eletricidade no século XVIII, no entanto, não chegamos a trabalhar com o episódio da garrafa de Leyden, instigando ainda mais a vontade de fazer uma pesquisa e consequentemente trabalho envolvendo o tema.

Através da análise do episódio histórico para realização da pesquisa, percebemos que trabalhar com a garrafa de Leyden se mostraria de extrema relevância, pois o episódio apresentava aspectos significativos para o estudo sobre ciências; contemplando diferentes questões, na medida que o intrigante fenômeno desafiava o conhecimento teórico experimental da época.

Porque, mesmo desafiando regras de como realizar experimentos em eletricidade um dos filósofos naturais envolvidos não se questionou desenvolvendo uma nova teoria? Porque as três explicações foram desenvolvidas de forma distintas, visto que os fenômenos em eletricidade já dispunham de uma base teórica estabelecida? Será que as diferentes influências durante a formação de cada filósofo natural envolvido desempenharam um papel quanto a elaboração das explicações da garrafa de Leyden?

Esses e outros questionamentos serviram como aporte para realização dos estudos e consequentemente pesquisa do presente no trabalho. Assim, observamos que o episódio da garrafa de Leyden se mostrou um episódio rico para trabalhar questões de natureza da ciência, podendo contribuir para promover discussões que envolvem o fazer científico, as diferentes metodologias empregadas na construção das explicações e sobretudo explicitando não apenas os efeitos envolvendo o fenômeno da garrafa, mas também os obstáculos na elaboração de suas explicações.

Desse modo, podemos concluir que o episódio da garrafa de Leyden pode contribuir para o estudo de e sobre ciências, desmistificando a forma como alguns aspectos da ciência são expostos nos livros didáticos, a partir da possibilidade de levar diferentes teorias que abordam um mesmo experimento e que fizeram do contexto do estudo da eletricidade bastante movimentado. Há o potencial, portanto de fomentar ainda mais a relevância e papel da história da ciência para possível construção de um processo de ensino e aprendizagem que combata visões deturpadas do fazer científico. Como continuidade desta pesquisa, pretendemos explorar o potencial didático desse episódio, criando propostas didáticas que auxiliem professores na construção de seus repertórios para a discussão de história da ciência na educação básica.

## REFERÊNCIAS

- AEPINUS, Franz Ulrich Theodosius. **Aepinus's essay on the theory of electricity and magnetism**. Tradução e introdução de Roderick Weir Home e P. J. Connor. Princeton: Princeton University Press, 1979.
- ALLCHIN, Douglas. Evaluating knowledge of the nature of (whole) science. **Science Education**, v. 95, n. 3, p. 518-542, 2011.
- ASSIS, Andre Koch Torres. **Os fundamentos experimentais e históricos da eletricidade**. Montreal: Apeiron, 2010.
- BEJARANO, Nelson Rui Ribas; ADURIZ-BRAVO, Agustín; BONFIM, Carolina Santos. Natureza da Ciência (NOS): para além do consenso. **Ciência & Educação (Bauru)**, v. 25, p. 967-982, 2019.
- FRANKLIN, Benjamin. **Experiments and observations on electricity, made at Philadelphia in America... To which are added, letters and papers on philosophical subjects. The whole corrected, methodized... and now first collected into one volume, etc.**[Edited by Peter Collinson.]. David Henry, 1769.
- HEILBRON, John Lewis. **Electricity in the 17th and 18th centuries: A study of early modern physics**. Univ of California Press, 1979.
- JARDIM, Wagner Tadeu; GUERRA, Andreia. República das Letras, Academias e Sociedades Científicas no século XVIII: a garrafa de Leiden e a ciência no ensino. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 34, n. 3, p. 774-797, 2017.
- JARDIM, W. T.; GUERRA, Andreia. A garrafa de Leiden em uma perspectiva histórica da ciência: replicando experimentos históricos e suas alternativas com materiais de baixo custo. **Física na Escola**, v. 16, p. 36-43, 2018.
- LARDEN, Walter. **Electricity for Public Schools and Colleges**. Longmans, Green, and Company, 1887.
- MARTINS, Roberto Andrade. Introdução: a História das Ciências e seus usos na educação. In: SILVA, Cibelle Celestino. (Org.). **Estudos de História e Filosofia das Ciências: subsídios para aplicação no ensino**. São Paulo: Livraria da Física, 2006.
- MOURA, Breno Arsioli. **A filosofia natural de Benjamin Franklin: traduções de cartas e ensaios sobre a eletricidade e a luz**. São Bernardo do Campo: Editora da UFABC, 2019.
- NARDI, Lucas Marcelo Cavalari. **A matematização da eletrostática no século XVIII: de rupturas epistemológicas a estilos de matematização**. 2021. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.
- NOLLET, Jean Antoine. **Essai sur l'électricité des corps**. Guerin, 1753.
- OLIOSI, Elisa Cristina et al. **Os estudos de Joseph Priestley (1733-1804) sobre a teoria da eletricidade**. 2010.

PIMENTEL, Ana Carolina; SILVA, Cibelle Celestino. As atmosferas elétricas de Benjamin Franklin e as interações elétricas no século XVIII. **Filosofia e história da ciência no Cone Sul. Seleção de Trabalhos do 5º encontro. Campina: Associação de Filosofia e História da Ciência do Cone Sul (AFHIC)**, 2008.

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

SILVA, Cibelle Celestino. Jean Antoine Nollet's contributions to the institutionalization of physics during the 18th Century. **Brazilian Studies in Philosophy and History of Science: An account of recent works**, p. 131-140, 2011.

WHITTAKER, Edmund. **A History of the Theories of Aether and Electricity: Vol. I: The Classical Theories; Vol. II: The Modern Theories, 1900-1926**. Courier Dover Publications, 1989.

## AGRADECIMENTOS

À Universidade Estadual da Paraíba (UEPB), por abrir portas aos ótimos profissionais como os que convivi, proporcionando uma vivência acadêmica completa.

À Coordenação do curso de Licenciatura em Física, que sempre se empenharam ao máximo para proporcionar o melhor ao corpo discente da.

Ao professor José Antonio Ferreira Pinto por tudo que me proporcionou durante os primeiros períodos do curso até a orientação do Trabalho de Conclusão de Curso (TCC). Obrigado por sua dedicação, paciência, amizade e dedicação durante esse meu projeto e trajetória que consegui construir na universidade.

À professora Ana Paula Bispo da Silva, pelos “puxões de orelha” durante o curso de Licenciatura, por estar nos guiando no Grupo de História da Ciência em Ensino (GHCE), dando oportunidades que me enriqueceram academicamente.

Ao professor Alessandro Frederico da Silveira, que contribuiu com sua experiência para minha formação acadêmica e entendimento sobre as questões que envolvem o fazer docente durante os projetos que participei.

À professora Adjanny Vieira Brito Montenegro, que também contribuiu para minha experiência profissional durante os projetos de Programa de Iniciação à Docência (PIBID) e Residência pedagógica (RP) que tive a oportunidade de participar.

À professora Maria Ângela Vasconcelos Lopes Gama, que me deu a primeira oportunidade de vivenciar um pouco da prática docente durante a monitoria que exerci na universidade.

Aos professores do curso de Licenciatura em Física, pois todos contribuíram para minha formação acadêmica, profissional e ética.

Ao Grupo de História da Ciência em Ensino (GHCE), no qual aprendi muito sobre história da ciência na prática em cada encontro, e pelo apoio dos integrantes que o compõem na execução dos meus trabalhos.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo apoio em disponibilizar programas como a Residência Pedagógica (RP) e Programa de Iniciação à Docência (PIBID) que sem sombra de dúvidas contribuíram para minha prática profissional.

Aos meus pais, pois mesmo sem compreenderem os desafios acadêmicos me auxiliaram nos momentos mais difíceis para enfrentar os obstáculos durante a graduação, dando suporte e servindo como alicerce há todo momento.

Ao meu primo Israel Everton Costa, pelo seu companheirismo e amizade nos momentos de luta durante o período de graduação.

Aos meus amigos e amigas que estiveram comigo nessa jornada: Maxwely Azevedo, Igor Amorim, Cristiany Cavalcante, Daniel Almeida, Roberto Matheus, Shayla Costa, Ygor Candido, Wellerson Silva, Juliana Mamede e Válmer Azevedo pelos momentos de amizade e apoio.

Aos amigos e colegas de graduação, por todas as trocas de conhecimento, momentos de descontração e apoio durante o período da graduação.