



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
INSTITUTO DE FÍSICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

**A DESCOBERTA DA NATUREZA ELÉTRICA DOS RAIOS: UMA
ABORDAGEM HISTÓRICO-INVESTIGATIVA**

THÁTYUSCE BONFIM GOMES

BRASÍLIA – DF

2023



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
INSTITUTO DE FÍSICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

**A DESCOBERTA DA NATUREZA ELÉTRICA DOS RAIOS: UMA
ABORDAGEM HISTÓRICO-INVESTIGATIVA**

THÁTYUSCE BONFIM GOMES

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação da Universidade de Brasília (UnB) no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientadora:
Prof. Dr. Vanessa Carvalho de Andrade

BRASÍLIA – DF

2023

FOLHA DE APROVAÇÃO

FICHA CATALOGRÁFICA

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – código de financiamento 001.

RESUMO

Este trabalho apresenta uma sequência didática construída a partir da utilização de uma narrativa histórica na modalidade investigativa. O episódio histórico trabalhado é a descoberta da natureza elétrica dos raios, protagonizada por Benjamin Franklin no século XVIII. A intenção da proposta é fomentar a discussão de aspectos inerentes à natureza da ciência e, assim, contribuir para que os alunos construam uma visão menos distorcida do fazer científico. A utilização de narrativas investigativas possibilita que o aluno seja colocado em uma simulação de produção científica fiel à realidade e, com isso, seja capaz de refletir e internalizar os aspectos inerentes à prática do cientista. Ademais, a sequência tem o objetivo de introduzir os conceitos de carga elétrica e descarga elétrica sob a contextualização da temática dos raios em tempestades e da funcionalidade dos para-raios. A proposta conta também com atividades experimentais, práticas e demonstrativas, que buscam auxiliar na visualização e no entendimento dos fenômenos por parte dos alunos, bem como despertar o interesse no assunto abordado. A sequência em questão foi aplicada em duas turmas de nono ano do ensino fundamental de uma escola particular do Distrito Federal e obteve resultados satisfatórios.

Palavras-Chave: natureza da ciência; raios em tempestades; história da eletricidade; ensino investigativo; Benjamin Franklin.

ABSTRACT

This work presents a didactic sequence built from the use of a historical case study in the investigative modality. The historical episode was the discovery of the electrical nature of lightning, carried out by Benjamin Franklin in the 18th century. The intention of the proposal is to encourage the discussion of aspects inherent to the nature of science and thus contribute to students building a less distorted view of scientific work. The use of investigative narratives allows the student to be placed in a simulation of scientific production faithful to reality and, with this, be able to reflect and internalize the aspects inherent to the scientist's practice. In addition, the sequence aims to introduce the concepts of electrical charge and electrical discharge under the context of the theme of lightning in storms and the functionality of lightning rods. The proposal also has experimental, practical and demonstrative activities, which seek to help students visualize and understand the phenomena, as well arouse interest in the subject addressed. The sequence in question was applied in two classes of the ninth grade of elementary school in a private school in the Federal District and obtained satisfactory results.

Keywords: nature of science; lightning in storms; history of electricity; investigative teaching; Benjamin Franklin.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BNCC: Base Nacional Comum Curricular

CBEF: Caderno Brasileiro de Ensino De Física

LDB: Lei de Diretrizes e Bases da Educação

MNPEF: Programa Nacional de Mestrado Profissional em Ensino de Física

RBEF: Revista Brasileira de Ensino de Física

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Resumo da sequência didática.....	42
Quadro 2 - Transcrição das respostas dos alunos do 9º ano "A"	70
Quadro 3 - Transcrição das respostas dos alunos do 9º ano "B"	73
Quadro 4 - Respostas ao questionário	78

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Máquina elétrica desenvolvida por Hauksbee.	30
Figura 2 - Ilustração de Franklin do experimento da guarita.	31
Figura 3 - Representação das cargas de uma nuvem cumulonimbus.	33
Figura 4 - Linhas de força para uma carga puntiforme (a) positiva; (b) negativa.	37
Figura 5 - Aparato experimental inspirado no experimento da guarita	45

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
1.1	Questão de Pesquisa.....	11
1.2	Objetivos Gerais e Específicos	12
1.3	Importância e Justificativa.....	12
1.4	Delimitação da Pesquisa	13
1.5	Organização do Trabalho	15
2	ESTUDOS RELACIONADOS: A HISTÓRIA DA ELETRICIDADE NO ENSINO ...	16
3	REFERENCIAL TEÓRICO.....	22
3.1	A modalidade de narrativa investigativa de Allchin	22
3.2	A criação de uma narrativa na abordagem histórico-investigativa	24
3.3	A aplicação de uma narrativa histórico-investigativa.....	27
3.4	A experimentação e a cultura científica	27
4	ELETROMAGNETISMO E A FÍSICA NAS TEMPESTADES.....	30
4.1	Panorama histórico	30
4.2	Os raios em tempestades	33
4.3	Conceitos de eletrostática e eletrodinâmica.....	35
4.3.1	A carga elétrica	35
4.3.2	A Lei de Coulomb	35
4.3.3	O princípio da superposição	36
4.3.4	O campo elétrico.....	36
4.3.4	O potencial elétrico e a diferença de potencial elétrico.....	38
4.3.5	Condutores elétricos	39
4.3.6	Corrente elétrica	40
5	METODOLOGIA	41

5.1 Descrição do público-alvo	41
5.2 A sequência didática	42
6 RELATO DE APLICAÇÃO	47
7 ANÁLISES E RESULTADOS	56
7.1 Respostas da atividade histórico-investigativa.....	56
7.2 Respostas ao questionário.....	62
7.3 Trabalhos de divulgação científica	64
8 CONSIDERAÇÕES FINAIS	65
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	67
ANEXOS E APÊNDICES	70
Anexo A: transcrição das respostas dos alunos da atividade histórico-investigativa	70
Anexo B: Respostas ao questionário	78
Apêndice A: narrativa histórico-investigativa.....	81
Apêndice B: slides utilizados durante a atividade histórico-investigativa	87
Apêndice C: questões da avaliação multidisciplinar.....	97
Apêndice D: produto educacional	100

1 INTRODUÇÃO

A Lei de Diretrizes e Bases da Educação (LDB) determina que o ensino básico deve proporcionar “o aprimoramento do educando como pessoa humana, incluindo a formação ética e o desenvolvimento da autonomia intelectual e do pensamento crítico” (LDB, Art 35). A fim de cumprir esse propósito e proporcionar uma formação cidadã, a Base Nacional Comum Curricular (BNCC), documento norteador da educação brasileira, determina que os alunos devem ser capazes de “compreender as Ciências da Natureza como empreendimento humano, e o conhecimento científico como provisório, cultural e histórico” (BRASIL, p. 324, 2018). Ainda de acordo com a BNCC, “a contextualização social, histórica e cultural da ciência e da tecnologia é fundamental para que elas sejam compreendidas como empreendimento humanos e sociais” (BRASIL, 2018, p. 549).

Ainda assim, os alunos do ensino básico possuem concepções ingênuas e falsas sobre a natureza da ciência e sua relação com a sociedade (GIL-PÉREZ et al. 2001). Muitos alunos trazem consigo a ideia de que a ciência é composta de conhecimentos absolutos, obtidos através de um método irrevogável e que os cientistas são grandes gênios que desvelam esses conhecimentos para a sociedade. Ademais, também existem aqueles que possuem posturas negacionistas e anticientíficas, que acreditam que a ciência é composta da opinião daqueles que a constroem (SILVA, 2006). Ou, ainda, aqueles que acreditam que a ciência é inacessível para pessoas comuns e, por temer sua complexidade, elencam a ciência como um tópico desinteressante.

Além de possuir concepções ingênuas sobre a ciência, muitos alunos finalizam a etapa da educação básica com concepções distorcidas sobre o conceito de carga elétrica e de corrente elétrica. Um exemplo muito comum dessa distorção é a dificuldade em reconhecer que a corrente elétrica está relacionada à estrutura atômica dos materiais que compõe o circuito; muitos alunos entendem que os elétrons que formam a corrente elétrica são fornecidos pela fonte que alimenta o circuito e que os fios são meros meios de transporte para os portadores de carga (PACCA et al., 2003; ANDRADE et al., 2018) ou,

ainda, que a corrente elétrica deixa a fonte e é afetada pelos elementos do circuito somente no momento em que passa por eles (ANDRADE et al., 2018). Um outro problema comum nos estudos em eletricidade reside na inabilidade de correlacionar a corrente elétrica aos processos de transformação de energia envolvidos nos aparelhos que são ligados ao circuito como, por exemplo, relacionar a corrente que passa por uma lâmpada à transformação de energia elétrica em energia luminosa (PACCA et al. 2003).

Em consonância ao que foi anteriormente citado, os raios em tempestades também são comumente alvo de concepções distorcidas. Muito do que é conhecido erroneamente pelos alunos sobre os raios são concepções que são, muitas vezes, repassadas de geração em geração como sabedoria popular. Um dos exemplos mais antigos e mais presentes no imaginário das pessoas é que o raio provém do choque entre duas nuvens (SABA, 2001). Ou, ainda, que os para-raios atuam de forma a afastar o raio e evitar que ele caia naquela edificação. Apesar de ser um fenômeno cotidiano e que pode ser facilmente relacionado aos conteúdos de eletrostática e eletrodinâmica, pouquíssimo espaço é dado ao assunto nos currículos da educação básica.

Frente a todos esses problemas, este trabalho foi desenvolvido buscando construir uma ferramenta que pudesse minimizar os obstáculos citados e proporcionar aos alunos atividades que possam conduzir a aprendizagem significativa¹ dos conceitos e contribuir para o enriquecimento de uma enculturação científica.

1.1 Questão de Pesquisa

Em busca de uma ferramenta que pudesse minimizar os problemas apresentados, este trabalho tem como objetivo verificar se é possível ensinar conceitos de natureza da ciência, para alunos do ensino fundamental, utilizando a metodologia das narrativas investigativas. Além de contribuir para uma visão

¹ O termo “aprendizagem significativa” foi cunhado por David Ausubel (1918 – 2008). Para Ausubel, a aprendizagem significativa acontece quando uma nova informação é apoiada por um conhecimento pré-existente do estudante (denominado subsunçor). A aprendizagem significativa se contrapõe a aprendizagem mecânica, em que novos conhecimentos possuem pouca (ou nenhuma) relação com conceitos relevantes já existentes e são armazenados de forma arbitrária (MOREIRA, 1999).

menos distorcida da ciência, o produto em questão também tem o objetivo de despertar o interesse dos alunos em assuntos relacionados a eletricidade por meio da contextualização histórica e, também, por meio de experimentos práticos e demonstrativos.

1.2 Objetivos Gerais e Específicos

1. Construir uma sequência didática para o 9º ano do ensino fundamental que seja capaz fomentar a discussão sobre aspectos de natureza da ciência e trabalhar noções básicas de carga elétrica e corrente elétrica.
2. Construir uma narrativa investigativa sobre o episódio da descoberta da natureza elétrica dos raios que possa ser replicado por outros professores.
3. Elaborar um aparato experimental que remeta ao experimento da guarita, proposto por Benjamin Franklin, para ilustrar os fenômenos de eletrização por atrito, contato e indução.

1.3 Importância e Justificativa

Como citado anteriormente, os alunos da educação básica apresentam noções distorcidas sobre tópicos da ciência e do fazer científico. Portanto, é fundamental que o professor atue para desmistificar essas ideias. Uma forma de contribuir para enculturação científica dos alunos e, assim, minimizar as distorções elencadas, é a utilização de abordagens históricas no ensino básico. Dessa forma, a aplicação dessa metodologia é de fundamental importância.

O uso de abordagens históricas possibilita que os alunos construam uma visão mais adequada da ciência e do fazer científico, uma vez que possibilita que os alunos tenham contato com os aspectos internos e externos à ciência. Ao acompanhar o desenvolvimento de um conhecimento científico, espera-se que o aluno seja capaz de perceber os fatores que influenciam esse processo e, assim, compreender a ciência como uma construção humana, social e passível de mudanças. Além disso, a utilização de abordagens históricas permite que os alunos compreendam a relação entre a ciência, a tecnologia e a sociedade (SILVA, 2006). Aliada à ideia de que o ensino básico tem como principal função

a formação de cidadãos que sejam capazes de se colocar criticamente na sociedade, a alfabetização científica se faz imprescindível. Para tal, é necessário que os alunos sejam expostos a atividades que abordem o processo de construção do conhecimento científico e sejam capazes de compreender a ciência a partir do contexto sócio-histórico-cultural (CARVALHO; SASSERON, 2010).

Apesar de sua grande importância e de estarem previstas no documento norteador, as abordagens históricas ainda não são tão frequentes nas salas de aula brasileiras. Um dos principais motivos para essa escassez é a falta de materiais didáticos de qualidade que sejam adequados para a educação básica. Ao fornecer um material que pode ser utilizado por outros professores, este trabalho contribui para arcabouço de materiais. Outro fator que também é apontado como limitação para a abordagem é a falta de preparo dos professores para lidar com esse tipo de metodologia (MARTINS, 2007).

Assim como citado anteriormente, os alunos também apresentam noções distorcidas sobre tópicos da eletrodinâmica, o que torna necessário repensar a forma como esses conteúdos são ensinados. A fim de contribuir para uma aprendizagem significativa desses conceitos, este trabalho propõe uma sequência didática contextualizada por meio dos fenômenos dos raios e ilustrada por meio de atividades experimentais.

As atividades experimentais, apesar de sua enorme importância, também são pouco exploradas nas escolas brasileiras. Um dos principais motivos para tal é a carência de laboratórios equipados na maioria das escolas. Pensando nisso, os experimentos sugeridos foram montados com materiais de baixo custo e de forma que pudessem ser executados em qualquer ambiente, não sendo necessária a utilização de um laboratório ou de equipamentos sofisticados.

1.4 Delimitação da Pesquisa

Como apresentado a seguir na metodologia (5.1 Descrição do público-alvo), a pesquisa foi desenvolvida em duas turmas do nono ano do Ensino Fundamental de uma escola particular da cidade-satélite de Taguatinga, no Distrito Federal. A escola conta com boa estrutura física e todas as salas são

equipadas com computador, projetor e caixa de som, além de outros aparatos tecnológicos. Os alunos são de classe média baixa e todos possuem celular e acesso à internet.

Na ocasião da aplicação do produto, a educação brasileira passava por um momento de readaptação. No ano anterior, em 2020, as aulas presenciais foram suspensas devido a pandemia do novo coronavírus e, durante todo o ano, os alunos acompanharam as aulas exclusivamente de forma online. No ano da aplicação, 2021, as aulas seguiam em regime híbrido²: parte dos alunos assistiam à transmissão da aula em casa, parte dos alunos participavam da aula presencialmente na escola. Desta forma, uma quantidade reduzida de alunos pôde participar presencialmente das atividades desenvolvidas.

Com a sequência didática planejada espera-se que os alunos sejam capazes de se apropriar de conceitos relacionados a aspectos de natureza da ciência e de conceitos iniciais de eletrostática e eletrodinâmica. Com a atividade da narrativa investigativa espera-se que os alunos compreendam que a ciência é uma construção humana que, apesar de ser regida por uma série de métodos e normas, também sofre influência de fatores culturais. Com as demais aulas espera-se que os alunos compreendam o conceito de carga elétrica, as formas de eletrização, a diferença entre materiais condutores e isolantes, o que é a corrente elétrica, o que é a diferença de potencial elétrico, como os para-raios funcionam e como ocorrem as descargas elétricas atmosféricas (os raios).

Os conteúdos serão vistos de maneira introdutória, uma vez que serão retomados no ensino médio. As aulas propostas na sequência são, em sua maioria, na modalidade expositiva dialogada e, ao longo da sequência, serão propostas atividades experimentais práticas e demonstrativas, assim como atividades de pesquisas realizadas pelos alunos para discussão e produção de material para a avaliação.

² O sistema híbrido de ensino foi instaurado temporariamente de forma emergencial pelo decreto Nº 41.913, de 19 de março de 2021, que estava em vigor no DF durante o desenvolvimento da pesquisa. Com o objetivo de diminuir o contágio e frear o avanço da pandemia, em função do decreto as salas de aulas só podiam comportar o limite máximo de 50% dos alunos de forma presencial.

1.5 Organização do Trabalho

Esta dissertação está dividida em oito capítulos; a seguir é feita uma breve descrição do conteúdo de cada um deles.

Neste primeiro capítulo é descrita a questão de pesquisa, bem como a justificativa e a importância da sequência proposta. Neste capítulo também são descritos os objetivos pretendidos pelo trabalho e a delimitação da pesquisa.

No capítulo 2 é apresentada uma breve revisão bibliográfica dos trabalhos publicados acerca da história da eletricidade e ensino.

No capítulo 3 são abordados os referenciais teóricos utilizados neste trabalho, em especial a descrição da modalidade das narrativas histórico-investigativas.

O capítulo 4 é formado por três tópicos: o panorama histórico, os raios em tempestades e os conceitos de eletrostática e eletrodinâmica. O item “panorama histórico” aborda o episódio histórico contido na narrativa histórico investigativa: a descoberta da natureza elétrica dos raios. No item “raios em tempestades” é dada uma breve explicação de como são formados os raios em tempestades. Já no item “conceitos de eletrostática e eletrodinâmica” são abordados os conceitos de carga elétrica, força elétrica, campo elétrico e corrente elétrica.

No capítulo 5, dedicado à metodologia, é feita a descrição do público-alvo e da sequência didática.

No capítulo 6 é feito o relato de aplicação. O relato de aplicação consiste na narração das percepções do professor acerca da aplicação da sequência didática planejada.

No capítulo 7 são feitas as análises a partir dos dados coletados com base na transcrição das falas dos alunos durante as atividades propostas e nas respostas dos alunos ao questionário enviado.

Por fim, no capítulo 8 são feitas as considerações finais.

2 ESTUDOS RELACIONADOS: A HISTÓRIA DA ELETRICIDADE NO ENSINO

Neste capítulo será apresentada uma breve revisão bibliográfica dos trabalhos publicados sobre a história da ciência e ensino e, em especial, trabalhos dedicados a história da eletricidade. Para esta revisão, foram utilizados os periódicos Caderno Brasileiro de Ensino de Física (CBEF) e a Revista Brasileira de Ensino de Física (RBEF), assim como as dissertações publicadas pelo MNPEF. Na busca foram considerados somente os artigos e dissertações publicados a partir do ano de 2001.

Há muito se discute sobre a importância da inserção da história da ciência no ensino, para muitos autores o contato com a história é imprescindível para que o aluno alcance a alfabetização científica. Dessa forma, é fundamental que os alunos sejam expostos a situações que ilustrem os aspectos internos e externos a ciência, de forma que sejam capazes de compreender a cultura científica (CARVALHO; SASSERON, 2010).

Apesar de sua indiscutível importância, é relevante apontar que a utilização de história da ciência no ensino apresenta algumas dificuldades em sua aplicação. A exemplo, Forato, Pietrocola e Martins (2011) discutem sobre alguns desafios encontrados por professores nesse caminho. O primeiro deles seria a seleção do conteúdo histórico em si, tendo em vista que é necessário localizar um episódio histórico que satisfaça os objetivos pedagógicos e epistemológicos, mas que seja adequado ao ambiente educacional. Outro ponto apontado pelos autores seria o tempo didático, uma vez que é necessário adequar o tempo disposto para abordar o episódio histórico escolhido ao tempo disponível para se tratar de um certo conteúdo. O terceiro obstáculo apontado é em relação à simplificação e à omissão. Para adaptar os episódios históricos para a utilização em sala de aula é necessário, muitas vezes, omitir detalhes da história e simplificar acontecimentos. Esse processo deve ser feito com bastante cautela, a fim de evitar que a história contada seja distorcida e descaracterizada. O quarto obstáculo apontado é o cuidado com o relativismo: a depender da profundidade da discussão, os alunos podem ser levados a crer que teorias científicas sejam apenas opiniões pessoais dos cientistas e que não refletem

conhecimento confiável, já que são influenciados por múltiplos fatores sociais e culturais. O quinto desafio seria a inadequação dos trabalhos históricos especializados, visto que os trabalhos de especialistas da história da ciência podem não ser adequados para estudantes do ensino médio, pois a análise desses materiais exige conhecimentos prévios que os alunos não possuem. Desta forma, o material utilizado deve ser direcionado à educação básica, mas, infelizmente, os trabalhos desse tipo ainda são escassos (FORATO; PIETROCOLA; MARTINS, 2013). O sexto obstáculo versa uma crítica à história da ciência encontrada nos livros didáticos, dado que a história presente nesses materiais se preocupa tão somente em ilustrar a descoberta realizada, muitas vezes de forma bastante anedótica, e não dispõe de recursos que propiciem a discussão sobre aspectos de natureza da ciência. Dessa forma, a história presente nos livros didáticos configura apenas um pretexto para “ensinar conceitos científicos e não discutir epistemologia” (FORATO; PIETROCOLA; MARTINS, 2013). Por fim, os autores discutem o que seria um dos maiores desafios: a falta de formação específica do professor. Para que os episódios históricos sejam bem retratados e para que a reflexão proveniente deles seja proveitosa, o professor precisa estar apto para lidar com a história de maneira crítica. Ademais, a formação do professor também é imprescindível para que este seja capaz de contornar os obstáculos previamente citados.

Quanto à qualidade da história da ciência nos livros, Silva e Pimentel (2008) apresentam uma análise de três materiais didáticos em relação aos estudos de Benjamin Franklin, episódio retratado também na sequência didática proposta por este trabalho. Os três livros analisados apresentaram erros historiográficos nos trechos que descrevem as descobertas de Franklin, principalmente em relação à realização do experimento da pipa. Apesar de não existirem evidências históricas de que de fato o experimento tenha sido realizado, os autores dos livros didáticos afirmam que foi através dele que Franklin definiu que os raios eram de fato descargas elétricas. Além disso, nos trechos são utilizados termos atuais para descrever teorias do passado, um grave erro de anacronismo. O episódio em questão também é descrito como o único fator determinante para se estabelecer a natureza elétrica dos raios, desconsiderando

e omitindo todos os estudos e hipóteses anteriores a ele. Ademais, a simplificação excessiva dos fatos acaba por transpassar uma visão indutivista da ciência, em que os experimentos precedem qualquer tipo de hipótese e que conhecimentos científicos são estabelecidos definitivamente por meio de experimentos. Por fim, as autoras alertam quantos aos sinais que podem auxiliar a detectar materiais problemáticos:

“É importante desconfiarmos de relatos que apresentam descobertas que ocorreram repentinamente, como num passe de mágica, sem relação com trabalhos anteriores de outros pesquisadores. Deve-se desconfiar também de relatos que atribuem a cientistas do passado ideias e termos exatamente iguais aos aceitos atualmente [...]. Além disso, afirmações de que fulano provou alguma teoria ou ideia também são problemáticas, uma vez que o conhecimento científico não é provado”. (SILVA; PIMENTEL, 2008, p. 157)

Na busca nos periódicos, utilizando as palavras-chave “história” e “eletricidade”, foi possível encontrar 15 artigos no CBEF e somente 1 artigo na RBEF. Apesar de ser possível encontrar alguns trabalhos que tratam de episódios históricos envolvendo a eletricidade, são raros os trabalhos que sugerem propostas concretas de aplicação na educação básica.

Na busca nas dissertações publicadas no MNPEF foram encontrados alguns trabalhos relacionados a história da ciência, dentre eles, somente um versa exclusivamente sobre a história da eletricidade no ensino de física. A dissertação de mestrado intitulada: “Uso da filosofia e história da ciência do ensino das 1ª e 2ª Leis de Ohm”, escrita por Fabiano Quintino dos Santos (2017), apresenta uma sequência didática que buscou relacionar as correntes de pensamento racionalista e empirista ao desenvolvimento das leis de Ohm. Planejada para ser aplicada na terceira série do ensino médio, a sequência se inicia com a apresentação das correntes de pensamento aos alunos através da leitura de textos de fontes primárias e secundárias que abordam os trabalhos dos filósofos Platão (427 a.C - 347 a.C), Aristóteles (384 a.C - 322 a.C) e Immanuel Kant (1724 – 1804). A partir da análise dos discursos, os alunos poderiam refletir e evidenciar as falhas presentes em cada uma das formas de analisar a natureza - racionalista e empirista - e, assim, seriam capazes de

compreender o que é a ciência, como ela possibilita o entendimento da natureza e quais são seus limites. No avançar da sequência, os alunos são expostos as leis de Ohm conhecendo como estas foram desenvolvidas, e não apenas conhecendo os seus enunciados. Conhecer o contexto em que as leis foram desenvolvidas, somada a análise das correntes de pensamento filosóficas, contribui ainda mais para a construção de uma noção de como a ciência funciona. Os resultados obtidos mostraram que boa parte dos alunos foram capazes de alcançar dos objetivos propostos, demonstrando conhecimentos básicos de natureza da ciência, ainda que demonstrassem dificuldade para externalizar suas ideias de maneira textual.

Outra dissertação, também do MNPEF, que utilizou a história da eletricidade como parte do trabalho foi escrita por Rafael Ferreira Lopes sob o título “Uma introdução ao ensino da eletrodinâmica por meio de roteiros, para alunos do ensino fundamental II e a confecção do manual de auxílio” (LOPES, 2017). O trabalho propõe uma sequência didática baseada na orientação construtivista que propõe a criação manuais por meio de roteiros para serem utilizados em sala de aula. O objetivo dos roteiros é auxiliar os alunos a compreender melhor os conceitos básicos e estruturantes da eletrostática e eletrodinâmica. No produto apresentado na dissertação são disponibilizados três manuais, em que o primeiro deles é “A eletricidade e a sua história”. O manual em questão apresenta seis pequenos textos que abordam diferentes episódios da história da ciência, as histórias são contadas de maneira breve e superficial, sem aprofundamentos. Todos os textos são sucedidos de atividades simples de verificação do conteúdo. O primeiro texto versa sobre o início dos estudos da eletricidade, apresentando as ideias de Tales de Mileto (624 a.C – 546 a.C.), o segundo texto aborda a eletrização por atrito e as descobertas de William Gilbert (1540 - 1603), o terceiro aborda a máquina eletrostática de Otto Von Guericke (1602 - 1686), o quarto aborda o episódio da descoberta da natureza elétrica dos raios³, o quinto trata sobre a lei de Coulomb e, por fim, o sexto aborda a pilha

³ Nesse texto o autor afirma que Franklin teria realizado o experimento da pipa para estudar “a eletricidade através dos raios”. O experimento em questão, apesar de ter sido proposto em cartas enviadas por Franklin, não possui registros históricos de sua execução (SILVA, PIMENTEL, 2008).

fotovoltaica. Apesar de expor brevemente a história por trás das descobertas, os textos não abordam aspectos sociais e culturais envolvidos nos episódios e nenhuma reflexão é promovida a partir deles. Nesse caso, a história da ciência é utilizada apenas para introduzir os temas propostos e motivar a aprendizagem dos conceitos físicos.

Em busca de propostas de atividades que utilizassem a história da eletricidade, é possível destacar o artigo “República das Letras, Academias e Sociedades Científicas no século XVIII: a garrafa de Leiden e a ciência no ensino” (JARDIM; GUERRA. 2017), os autores apresentam o contexto histórico por trás da invenção da Garrafa de Leiden e discutem como esse episódio pode ser usado em sala de aula para provocar reflexões acerca do fazer científico. O texto inicia com um panorama sobre o que seria a república das cartas: estudiosos do século XVIII que compartilhavam materiais de estudo e comunicavam suas descobertas através de cartas enviadas a seus pares. Os membros das ditas repúblicas das cartas podiam ou não ser membros das comunidades científicas da época, o que permitia a participação de pessoas que não tinham acessos as universidades, como as mulheres, por exemplo (JARDIM; GUERRA, 2017). A seguir, os autores apresentam as controversas acerca da autoria da criação da garrafa de Leiden, envolvendo os estudiosos Pieter van Musschenbroek (1692 – 1761) e Ewald Jürgen Von Kleist (1700-1748) e como as cartas enviadas podem auxiliar nessa análise. Na conclusão, os autores apontam como esse episódio histórico pode ser útil em sala de aula, já que pode contribuir para que os alunos compreendam certas características do fazer científico. Um dos pontos destacados se refere às mudanças sofridas pela ciência ao longo do tempo, as cartas que eram tão importantes para a produção científica no século XVIII, já não são utilizadas nos dias de hoje. Apesar disso, ainda hoje é possível notar uma certa hierarquia nas comunidades científicas, uma vez que determinados trabalhos ganham mais visibilidade que outros a partir de fatores externos a ciência, assim como ocorria no século XVIII. Desta forma, o episódio em questão pode contribuir para ressaltar práticas “extra laboratoriais” (JARDIM; GUERRA, 2017) e, assim, proporcionar aos alunos uma

oportunidade de observar os diversos aspectos que pautam a estruturação de um conhecimento científico.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 A modalidade de narrativa investigativa de Allchin

Um dos principais referenciais utilizados para a construção da sequência didática foi a utilização de episódios históricos na modalidade de narrativa investigativa. Essa proposta é apresentada pelo autor Douglas Allchin, no livro *“Teaching the nature of science: perspective and resources”* (2013). A ideia principal é adaptar casos históricos em narrativas pausadas que, propondo reflexões, incentivam os alunos a resolver o problema central de um episódio. Como o próprio autor define, a atividade coloca o aluno em uma situação de *“science-in-the-making”*, isto é, expõe os alunos aos caminhos seguidos por um cientista em uma descoberta para, assim, retratar da forma mais fiel possível como o conhecimento científico se desenvolve (ALLCHIN, 2017). O intuito da atividade é unir a estratégia de ensino investigativo a uma oportunidade de vivenciar e identificar aspectos inerentes à natureza da ciência e do fazer científico. Além de expor os alunos a lições explícitas de natureza da ciência, um dos objetivos da atividade é incentivá-los a refletir sobre as características apresentadas (ALLCHIN, 2013).

A narrativa é construída com base nos eventos principais, como as decisões tomadas por um cientista, as experiências relevantes para a descoberta, os acidentes, os erros e, ainda, as influências de contextos sociais e políticos (ALLCHIN, 2017). A história narrativa deve conter elementos que permitam a imersão dos alunos no cenário em que a descoberta científica se desenrolou e os apresentar os aspectos socioculturais da época, assim como as características humanas do personagem central da história. Aliado ao contexto, é necessário também apontar as motivações que levam o cientista a tentar resolver o problema proposto.

Ao longo da investigação são apresentadas questões que devem levar o aluno a propor soluções ou tomar decisões, à medida que novas informações são fornecidas a ele. Apesar disso, a investigação não pode se tornar um jogo de adivinhações, as escolhas devem ser problematizadas pelos alunos. Sendo assim, os alunos são levados a refletir sobre as características que tornam a ciência um conhecimento confiável, mas, também, entendê-la como uma

construção humana. Dessa forma, o objetivo é fazer perguntas que propiciem uma reflexão sobre a natureza de ciência, e não simplesmente apresentar os conceitos epistemológicos aos alunos.

As reflexões que são colocadas nas pausas da narrativa podem ser de vários tipos, abrangendo questões internas ou externas à ciência. As perguntas devem levantar discussões que levem os alunos a refletir sobre uma possível metodologia de pesquisa e imaginar como interpretar resultados obtidos em experimentos. O narrador deve levar os alunos a problematizar suas escolhas e levá-los a refletir sobre as características que tornam a ciência um conhecimento confiável, mas, também, entendê-la como uma construção humana. Ademais, os alunos também devem ser incentivados a refletir sobre problemas mais profundos da natureza da ciência como, por exemplo, o que é “provar” cientificamente algo e como isso se contrapõe a natureza falha do ser humano (ALLCHIN, 2017).

O ensino investigativo, na concepção de Allchin, se apresenta como uma boa opção por se tratar de um modelo de atividade em que o aluno é centro do processo, ou seja, uma atividade de ensino ativo. O papel da investigação é fazer com que os alunos se interessem em participar e dar soluções criativas para a resolução dos problemas, e não simplesmente ouvir a história recitada para eles (ALLCHIN, 2017). Um outro ponto que deve ser evidenciado, é que a narrativa investigativa se contrapõe ao uso da história da ciência como um mero incentivador, a intenção nesse caso não é usar a história como um recurso para prender a atenção do aluno para, então, apresentar os conceitos científicos a serem aprendidos (ALLCHIN, 2017). Em contraponto, a finalidade da narrativa histórico-investigativa não é repetir a história ou levar o aluno a chegar em uma resposta correta, mas, sim, usar a história como um pano de fundo para promover reflexões.

O exercício feito pelo aluno ao se colocar no lugar de um cientista pode criar um sentimento de empatia, o que ajuda a desmistificar a ideia de grandes gênios, construída e idealizada pela cultura popular. Esse sentimento tende a contribuir para uma visão mais humanizada da ciência e do conhecimento científico, sem diminuir o seu valor. Nessa perspectiva, em que o aluno é

incentivado a analisar uma situação-problema, a história pode também se tornar uma forma de desenvolver habilidades do pensamento científico.

Em resumo, de acordo com Allchin, uma narrativa histórico-investigativa deve conter os seguintes aspectos em sua estrutura:

- “1: contextos culturais e biográficos motivadores;*
 - 2: questões que problematizam a natureza da ciência e promovam a sua investigação;*
 - 3: perspectivas históricas que retratem a ciência em desenvolvimento;*
 - 4: formato narrativo;*
 - 5: estrutura episódica;*
 - 6: encerramento conjunto da investigação e da narrativa;*
 - 7: reflexão final e consolidação das lições aprendidas.”*
- (ALLCHIN, 2017, p. 119, tradução nossa)

3.2 A criação de uma narrativa na abordagem histórico-investigativa

A fim de auxiliar a criação de novas narrativas histórico-investigativas, Allchin sugeriu⁴ 10 passos que podem ser adotados para guiar a elaboração da narrativa:

1) Selecione um conceito científico:

O ideal é que a narrativa histórica se concentre na descoberta de um único conceito científico. A narrativa deve guiar o aluno ao encontro da descoberta, seguido os passos dados pelos cientistas, porém em menos tempo e com menos trabalho.

2) Encontre fontes históricas de alta qualidade:

Para evitar omissões e distorções históricas, o episódio histórico deve ser construído a partir de boas fontes. Assim sendo, o mais adequado é que essas fontes tenham sido produzidas por historiadores da ciência, dispensando a utilização de livros “populares”.

3) Identifique as características importantes de natureza da ciência:

As características de natureza da ciência que podem ser percebidas através do episódio vão variar de caso a caso. Desta forma, uma vez que o professor tem o completo domínio do episódio, será possível elencar quais

⁴ As instruções estão disponíveis na obra *“Teaching the Nature of Science: Perspectives and Resources”* (ALLCHIN, 2013, p. 252-257).

aspectos de natureza da ciência podem emergir do caso em específico. Os aspectos de natureza da ciência surgem, muitas vezes, de escolhas-chave do cientista focal, de críticas recebidas ou de colaborações de outros cientistas. A definição desses elementos será fundamental para a estruturação da narrativa.

4) Contextualize o problema científico:

De acordo com o autor, “o contexto é essencial para motivar os alunos a participarem da investigação” (ALLCHIN, 2013, p. 254, tradução nossa). Portanto, para que os alunos se sintam motivados a resolver o problema central do episódio, sua importância e relevância para o período devem estar bem colocadas, assim como os aspectos culturais e sociais envolvidos na descoberta. Isto posto, a narrativa pode ser iniciada com a apresentação do problema a ser solucionado, seguido das primeiras hipóteses ou primeiros passos seguidos pelo personagem central.

5) Mergulhe no contexto que se mostrou importante na solução do problema:

Os aspectos sociais e culturais envolvidos que permeiam o episódio podem ser relevantes ou não para a resolução do problema. Logo, é necessário filtrar quais informações serão pertinentes para o estabelecer o contexto. A exemplo, não é fundamental indicar toda a biografia dos personagens centrais para caracterizá-los. Ainda assim, é preciso ter cautela com simplificações excessivas. Os recursos fornecidos aos alunos devem ser suficientes para motivá-los e para orientá-los nas tomadas de decisões. A tarefa dos alunos “deve envolver a interpretação de evidências, a imaginação de explicações alternativas e a sugestão de experimentos” (ALLCHIN, 2013, p. 255, tradução nossa).

6) Trace o perfil da recepção histórica da ideia:

A recepção das teorias pela comunidade científica da época pode ser semelhante às interpretações levantadas pelos alunos. Ter o perfil da recepção histórica da ideia bem definido pode auxiliar na resolução de controvérsias e de ideias alternativas. Ademais, esses apontamentos podem ser relevantes também para o levantamento de aspectos de natureza da ciência.

7) Considere outros contextos especiais:

Além de apresentar o impacto da descoberta científica para a época e seus desdobramentos para a ciência atual, o episódio pode retratar os impactos sociais e culturais relacionados, tais como problemas éticos, raciais, de classe, de gênero, de relacionamento entre cientistas, de financiamento ou de inovações tecnológicas e metodológicas, entre outros. Por consequência, os impactos sociais e culturais podem suscitar reflexões dos aspectos externos ao fazer científico, mas que ainda assim o influenciam.

8) Retorne aos aspectos e as questões centrais de natureza da ciência:

De acordo com o Allchin, “fazer boas perguntas é um dos elementos mais desafiadores da elaboração de uma narrativa histórico-investigativa” (2013, p. 256, tradução nossa). Em vista disso, uma vez que a narrativa está finalizada, o professor deve revisar as perguntas colocadas nos momentos de reflexão. As perguntas devem permitir ao menos três respostas distintas e endereçar a aspectos específicos de natureza da ciência. Neste ponto, talvez sejam necessários ajustes nas perguntas e na narrativa. Para que a atividade proporcione uma oportunidade de aprendizagem de fato, a narrativa e as perguntas devem ser construídas de forma que, ao final da investigação, os alunos tenham clareza das características de natureza da ciência que permeiam o episódio.

9) Se houver tempo disponível, realce o caso com mais detalhes do contexto cultural e contemporâneo:

Para auxiliar os alunos a estabelecer melhor o período histórico em que o episódio se passa, a narrativa pode conter mais detalhes sobre o contexto social e cultural, tais como a arte, a música, a cultura e a política da época. Os aspectos sociais e culturais também podem contribuir para “humanizar e contextualizar a ciência” (ALLCHIN, 2013, p. 256).

10) Considere como os alunos podem efetivamente demonstrar o que aprenderam:

Assim como os objetivos da atividade devem estar claros para os alunos, o professor deve promover meios para que os estudantes expressem o que de fato aprenderam com a atividade.

3.3 A aplicação de uma narrativa histórico-investigativa

Antes de iniciar a narrativa investigativa é importante que o professor explique aos alunos como será o andamento da atividade: a história será narrada aos poucos e, nos momentos solicitados, os alunos terão o espaço aberto para tomar decisões e apontar suas reflexões. Para facilitar a discussão entre os alunos durante a investigação, é sugerido que o professor aconselhe a turma a se dividir em grupos, caso queiram. Para ilustrar o episódio e proporcionar uma imersão ainda mais rica, o professor pode mostrar imagens que sejam relevantes à história conforme os fatos se desenrolam. As imagens podem ser, por exemplo, pinturas ou fotos dos cientistas envolvidos, representações dos experimentos e artefatos utilizados, mapas das regiões onde a história se passa e gráficos, listas ou dados números que sejam relevantes para investigação. Ao término da narrativa e solução da investigação, o professor deve finalizar a atividade com uma discussão sobre os aspectos de natureza da ciência que puderam ser observados e disponibilizar espaço para que os alunos coloquem suas impressões e aprendizados.

3.4 A experimentação e a cultura científica

O ensino de ciências na educação básica não deve se preocupar unicamente em elucidar fenômenos, o aluno deve ser capaz de desenvolver habilidades que o permita atuar na sociedade como um cidadão consciente, afinal “muito provavelmente, qualquer um de nós viverá muito mais tempo sendo cidadão do que sendo estudante” (CARVALHO; SASSERON, 2010, p. 108). Isto posto, é fundamental que os alunos sejam imersos e passem a conhecer os aspectos que compõem a cultura científica. De acordo com Sasseron “podemos conceber a cultura científica como o conjunto de ações e de comportamentos envolvidos na atividade de investigação e divulgação de um novo conhecimento sobre o mundo natural” (2015, p. 55). Dessa forma, a experimentação, sem dúvidas, faz parte dessa cultura.

Aliada a abordagem histórico investigativa, a sequência didática foi construída de modo a proporcionar aos alunos dois momentos de atividades experimentais, visto que esse tipo de atividade compõe um instrumento

fundamental para a enculturação científica (CARVALHO, 2010). Além de proporcionar um contato mais direto dos alunos com os fenômenos físicos, os experimentos podem auxiliá-los a estabelecer relações para além do formalismo matemático, o que pode facilitar a compreensão dos conceitos (CARVALHO, 2010).

Muitas são as formas de propor uma atividade experimental e em cada uma delas o aluno possui um papel diferente na experimentação, conseqüentemente, em cada uma delas o aluno possui um grau de liberdade. Para este trabalho foram feitas duas propostas diferentes: uma atividade experimental prática e outra demonstrativa.

Nos experimentos demonstrativos, em que o objetivo central é ilustrar um certo fenômeno, o experimento é realizado somente pelo professor, cabendo somente a ele a execução e a condução da experimentação. Por conseguinte, o papel do aluno é observar a execução e desenvolvimento do experimento e responder aos questionamentos colocados pelo professor ou elaborar suas próprias perguntas. O experimento de demonstração é uma ótima alternativa quando não é possível providenciar materiais e/ou equipamentos suficientes para que toda a turma execute o experimento e, por isso, pode ser utilizado em situações em que existe limitação orçamentária ou quando a escola não possui a infraestrutura necessária. Ademais, a demonstração se torna essencial quando o experimento apresenta algum risco. A demonstração pode ser feita tanto no início, quanto no fim de uma aula expositiva. Quando feita no início, geralmente é utilizada para motivar e engajar os alunos no estudo de um novo conteúdo. Quando feita no fim, geralmente tem o objetivo de possibilitar a visualização de um fenômeno já aprendido. Apesar de possuírem inúmeras vantagens, os experimentos de demonstração possuem também uma grande desvantagem: como a participação do aluno é minimizada nesta metodologia, os alunos podem não se engajar na atividade proposta e podem perder a atenção com facilidade, principalmente em turmas com um grande número de estudantes. Uma forma de contornar esse problema seria montar o experimento de maneira que o professor possa engajar os alunos através de questionamentos, os incentivando a propor

hipóteses ou elaborar perguntas e, quando possível, convidá-los a auxiliar na execução.

Em contraponto ao experimento demonstrativo, nos experimentos práticos a responsabilidade da execução é exclusiva dos alunos. Nesse tipo de experimento o professor dá as instruções para a realização da prática, que é feita exclusivamente pelos alunos. O experimento pode ser roteirizado ou não⁵, isto é, pode ou não conter um passo-a-passo a ser seguido. Uma das vantagens do experimento prático é o grande engajamento dos alunos nas atividades, uma vez que a execução das tarefas depende exclusivamente deles. Além disso, o experimento prático também é visto como um forte motivador para a aprendizagem. Entretanto, uma possível desvantagem pode ser a dificuldade dos alunos em compreender os passos a serem seguidos ou a falta de habilidade para lidar com instrumentos do laboratório; tais desvantagens podem ser contornadas e diminuídas com o intermédio do professor. Apesar de suas inúmeras vantagens, por demandar recursos materiais e, muitas vezes, bastante tempo para a execução, os experimentos práticos não são amplamente inseridos nas aulas da educação básica.

De acordo com Araújo e Abib (2003), independente da modalidade adotada, os experimentos têm a “capacidade de estimular a participação ativa dos estudantes, despertando sua curiosidade e interesse, favorecendo um efetivo envolvimento com sua aprendizagem” (ARAÚJO; ABIB, 2003, p. 192).

⁵ No caso dos experimentos investigativos, a depender do grau de liberdade, o aluno pode ser responsável também por traçar um plano de ação para conduzir o experimento e chegar à solução de um problema (CARVALHO, 2010).

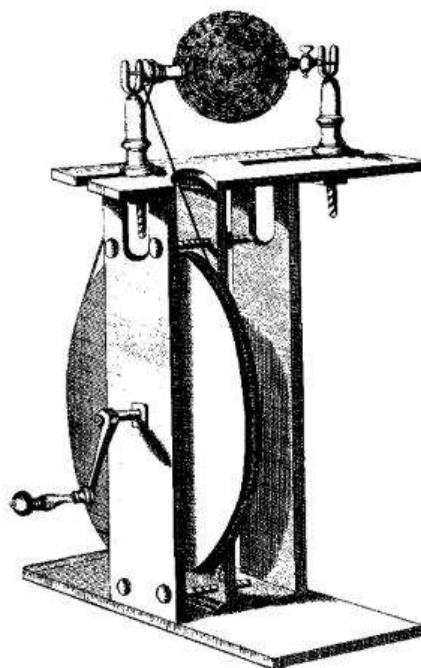
4 ELETROMAGNETISMO E A FÍSICA NAS TEMPESTADES

4.1 Panorama histórico

Durante o século XVIII, o estudo dos fenômenos elétricos se tornou popular entre os filósofos da ciência. Apesar de muitas pessoas investigarem sobre o assunto, pouco se sabia sobre a natureza deste fenômeno. Uma das coisas que se indagava no período era a semelhança entre as descargas elétricas produzidas em laboratório e os raios em tempestades.

Em 1719, o inglês Francis Hauksbee (1687–1763) foi um dos primeiros a observar pequenas faíscas surgirem de corpos atritados. Ao atritar sua mão a uma esfera de vidro utilizando uma “máquina elétrica”⁶, Hauksbee descreveu que a eletricidade seria capaz de “produzir luz” e descreveu que a luz originada por ela teria uma forma muito estranha, semelhante à de um relâmpago (SCHIFFER et al., 2003).

Figura 1 - Máquina elétrica desenvolvida por Hauksbee.



Fonte: SCHIFFER et al., 2003, p. 25

O mesmo foi observado por Stephen Gray (1666-1736) em 1735, que também sugeriu que a eletricidade era da mesma natureza que os relâmpagos.

⁶ Hauksbee construiu uma versão aprimorada da máquina elétrica de Otto Von Guericke (1602-1686), em que uma esfera de vidro era girada por uma manivela com uma mão e atritada com a outra.

Sendo assim, a comparação entre esses dois fenômenos nasce naturalmente devido a semelhança entre as descargas produzidas em laboratório e as produzidas pela natureza.

A similaridade entre os fenômenos se tornou uma ideia difundida entre os filósofos naturais da época. Alguns nomes como Benjamin Martin (1704? – 1782) e Jean-Antoine Nollet (1700 – 1770) apontaram nos anos de 1746 e 1748, respectivamente, algumas semelhanças entre as descargas elétricas produzidas em laboratório e os raios em tempestades (HEILBRON, 1979; SCHIFFER et al, 2003).

Em 1750, em carta enviada a Peter Collinson (1694-1768), Benjamin Franklin (1706-1790) sugeriu que fosse feito um experimento para mostrar que seria possível extrair eletricidade das nuvens e carregar uma garrafa de Leiden⁷, o experimento ficou posteriormente conhecido como o “experimento da guarita⁸”.

Figura 2 - Ilustração de Franklin do experimento da guarita.



Fonte: FRANKLIN, 1769

⁷ A garrafa de Leiden foi criada em 1746 por Pieter van Musschenbroek (1692 – 1761). A criação do aparato significou uma melhora expressiva no nível dos experimentos em eletricidade, uma vez que era possível produzir grandes descargas elétricas (HEILBRON, 1979).

⁸ Além de sugerir o experimento, Franklin propôs uma explicação para a eletrização das nuvens, fato inédito para época (MOURA; BONFIM, 2017).

O experimento pensado por Franklin relacionou a eletricidade das nuvens a um conhecimento recém-descoberto, o poder das pontas⁹. A ideia é que a haste pontuda no alto da guarita fosse capaz de retirar silenciosamente o fogo elétrico presente nas nuvens; o propósito do experimento não era o de atrair o raio (descarga elétrica)¹⁰. Na época, Franklin não havia realizado o experimento. Em 1752, após a tradução para o francês de suas cartas sobre eletricidade, o experimento foi reproduzido na França sob a coordenação de T. F. D'Alibard (1709-1778)¹¹. Os resultados obtidos pelo experimento contribuíram para atestar a equivalência entre a eletricidade contida nas nuvens em tempestades e aquela produzida por geradores eletrostáticos (MOURA, 2019).

Antes que Franklin soubesse do êxito obtido pelo experimento da Guarita, desenhou um segundo experimento: o experimento da pipa. A ideia era a mesma, extrair o fogo elétrico das nuvens e observar os seus efeitos. Apesar de não se ter registros históricos de sua execução, o experimento da pipa ficou bastante popular, sendo constantemente distorcido e utilizado como anedota no ensino de Física (SILVA; PIMENTEL, 2008).

Um outro resultado dos estudos sobre a natureza elétrica dos raios de Franklin foi a sugestão da instalação de hastes de metal no topo edifícios altos a fim de evitar os prejuízos causados pelos raios. A ideia era similar ao experimento da guarita: extrair o fogo elétrico das nuvens antes que a descarga elétrica acontecesse. Como a haste estaria aterrada, o fogo elétrico coletado seria levado em segurança para a Terra. Essa sugestão, apesar de não ter sido bem aceita na época, culminou na invenção do para-raios (MOURA, 2019).

Apesar de ter dedicado boa parte de sua vida à política, os estudos em eletricidade renderam à Franklin a alcunha de primeiro cientista americano. Franklin nunca escreveu um livro apresentando suas ideias e teorias, mas suas cartas foram compiladas por Collinson e publicadas em 1751 no livro

⁹ O poder das pontas foi descoberto por Thomas Hopkinson (1709-1751), membro do grupo de estudos *Philadelphians*, o qual Franklin também fazia parte. O fenômeno foi apresentado por Franklin em uma de suas cartas a Collinson, em 1747. Franklin descreveu que os corpos pontudos teriam a habilidade de extrair e lançar o fogo elétrico (MOURA, 2019).

¹⁰ Georg Wilhelm Richmann (1711 – 1753) faleceu ao tentar reproduzir o experimento da guarita. Em sua tentativa, um raio atingiu o aparato e Richmann foi eletrocutado.

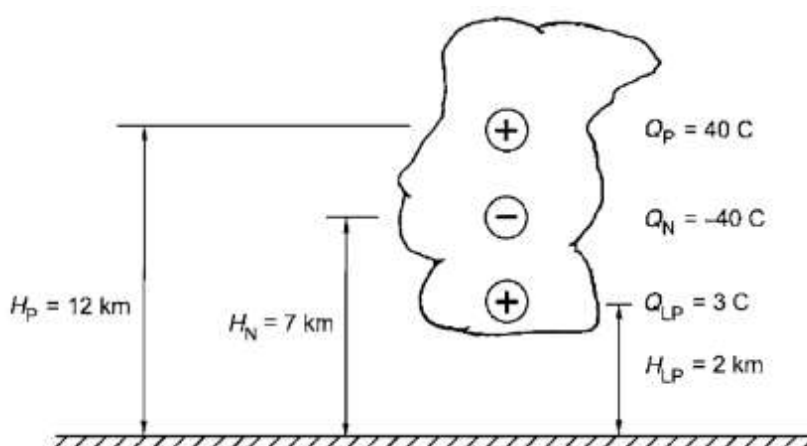
¹¹ D'Alibard não estava presente no momento do experimento, mas coordenou sua execução.

Experiments and observations on electricity, made at Philadelphia in America, que contém todo o pensamento de Franklin sobre a eletricidade. Além de sua contribuição para o estabelecimento da natureza elétrica dos raios e a criação do para-raios, outro legado de Franklin é o que conhecemos hoje como a conservação da carga elétrica¹².

4.2 Os raios em tempestades

Os raios são descargas atmosféricas que ocorrem devido a presença de cargas elétricas nas nuvens de tempestades, as cumulonimbus. Essas nuvens apresentam três regiões de acúmulo de cargas: uma região de cargas positivas em sua parte superior, uma região de cargas negativas em sua parte central e uma segunda região de cargas positivas em sua parte inferior.

Figura 3 - Representação das cargas de uma nuvem cumulonimbus.



Fonte: RAKOV, UMAN, 2003, p. 69

As descargas podem acontecer de várias formas: intra-nuvem, nuvem-solo positivo, nuvem-solo negativo, solo-nuvem e descargas para o ar. Os relâmpagos intra-nuvem são o tipo mais comum de descarga atmosférica, são caracterizados por descargas elétricas no interior da nuvem: elétrons se movimentam da parte negativa da nuvem para a parte positiva. Os relâmpagos nuvem-solo são aqueles popularmente chamados de raios, no tipo negativo os

¹² O autor J.L Heilbron (1979) sugere que, apesar de Franklin não ter criado a concepção de conservação do fogo elétrico, ele teria sido o primeiro a explorar o conceito de forma mais sistemática. Posteriormente suas ideias teriam dado origem ao princípio de conservação da carga elétrica.

elétrons partem da região negativa da nuvem e vão em direção ao solo e, nos positivos, os elétrons partem do solo e vão para a região positiva da nuvem. Os relâmpagos solo-nuvem são aqueles que envolvem estruturas elevadas, como prédios e torres, são causados pela indução eletrostática causada pela presença de cargas elétricas positivas na base das nuvens. Por último, as descargas para o ar ocorrem lateralmente da nuvem para regiões próximas a ela (PINTO JR, 2005).

As nuvens cumulonimbus são eletrizadas por conta do atrito de partículas de gelo em seu interior. Durante a formação da nuvem, a água presente na umidade do ar é resfriada, formando pequenos cristais de gelo. O gelo, ao encontrar outras gotas de água presentes na nuvem, aumentam de tamanho e se tornam mais pesados, tornando-se granizos. Após esse processo, os cristais mais pesados tendem a se movimentar para a parte inferior da nuvem, enquanto os cristais mais leves tendem a se movimentar para a parte superior. O choque entre esses cristais de gelo é o que provoca a eletrização da nuvem: as partículas mais leves tendem a ficar eletrizadas positivamente, enquanto as mais pesadas tendem a ficar eletrizadas negativamente. Um terceiro polo elétrico é formado pelos granizos que tendem a descer até a base da nuvem, estes, por sua vez, são eletrizados positivamente (COORAY, 2015).

O contínuo movimento de partículas ascendentes e descendentes faz com que a polaridade da nuvem se torne bastante elevada, provocando o rompimento da rigidez dielétrica do ar. O ar atmosférico, que em condições normais é um material isolante, se torna um meio condutor, tornando-se um conector entre a terra e a atmosfera. Nesse estágio, as cargas em excesso fazem seu caminho em direção a terra, originando uma descarga elétrica bastante elevada, podendo chegar a 30 kA (RAKOV; UMAN, 2003). Apesar de parecer ser formado por uma única descarga, o raio é, na verdade, um conjunto de múltiplas descargas elétricas, chamadas descargas de retorno (PINTO JR, 2005).

A passagem de corrente elétrica pelo ar provoca a ionização do gás, fazendo com que este libere luz e provoque um clarão, formando o que chamamos de relâmpago. A ionização também provoca um grande aquecimento do ar, que faz com que ocorra uma rápida expansão e, assim, ouve-se um

grande estrondo (que chamamos de trovão) (SABA, 2001). Como a luz se propaga mais rapidamente que o som, primeiro é possível ver o clarão (relâmpago) e alguns segundos depois, dependendo da distância que o observador se encontra do local onde ocorreu a descarga elétrica, é possível ouvir o estrondo (trovão).

4.3 Conceitos de eletrostática e eletrodinâmica¹³

4.3.1 A carga elétrica

Diz-se que um corpo está eletrizado, ou que este possui carga elétrica, quando seus átomos apresentam um desbalanço entre prótons e elétrons. Um corpo está eletrizado positivamente quando possui mais prótons do que elétrons e, negativamente, quando possui mais elétrons do que prótons. Esse desbalanço é devido às trocas de carga nos processos de eletrização; durante esses processos os corpos envolvidos podem receber ou perder elétrons. A carga de um corpo é definida por:

$$q = n \cdot e \quad (1)$$

em que n é o número de elétrons em excesso, ou em deficiência, e e é a carga de um elétron, a carga elementar, cujo valor é igual a $1,6 \cdot 10^{-19}$ C. Da equação pode-se concluir que a carga de um corpo não pode variar continuamente, a carga só pode variar em múltiplos da carga elementar (NUSSENZVEIG, 2015). A carga elétrica q de um corpo é medida em Coulombs (C), em homenagem ao físico Charles Augustin de Coulomb (1736 – 1806), que descreveu a força entre duas cargas, a lei de Coulomb.

4.3.2 A Lei de Coulomb

Através da lei de Coulomb é possível caracterizar a força proveniente da interação entre um par de cargas. A força existente entre duas cargas (ou entre dois corpos carregados) será atrativa quando as cargas forem de sinais opostos e, repulsiva, quando forem de mesmo sinal. A força de atração (ou repulsão)

¹³ Os conceitos tratados no tópico 4.3 se referem a maneira como entendemos a eletrostática e eletrodinâmica em termos atuais. Os termos presentes nas explicações deste tópico não existiam no período em que o episódio histórico tratado na seção 4.1 se desenrolou.

eletrostática atua simultaneamente nas duas cargas envolvidas, formando um par ação-reação. O módulo da força pode ser calculado através da Lei de Coulomb:

$$\vec{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q_1 q_2}{r^2} \hat{r} \quad (2)$$

em que ϵ_0 é a permissividade elétrica do meio em que as cargas se encontram, q_1 é a carga 1, q_2 é a carga 2, r é a distância entre as cargas e \hat{r} é um vetor unitário cuja direção é tangente a linha que une as cargas 1 e 2. Através da análise da equação é possível concluir que a força é diretamente proporcional ao produto das cargas e inversamente proporcional a distância entre elas.

4.3.3 O princípio da superposição

O princípio da superposição determina que a força entre duas cargas não é modificada pela presença de terceiros (GRIFFITHS, 2011). Dessa forma, dado um sistema de n cargas fixas, para determinar a força resultante sobre uma das cargas, basta determinar a força de interação entre a carga desejada e seus pares isoladamente e fazer a soma vetorial das forças encontradas. Desse modo, a força resultante sobre uma carga 1 pode ser calculada por:

$$\vec{F}_R = \vec{F}_{21} + \vec{F}_{31} + \vec{F}_{41} + \dots + \vec{F}_{n1} \quad (3)$$

em que \vec{F}_{n1} representa a força de interação entre a carga 1 e a n ésima carga do sistema de cargas. Fazendo-se a generalização da equação (3), tem-se que a força resultante sobre uma carga fixa pode ser calculada por:

$$\vec{F}_i = \sum_{j \neq i} \vec{F}_{i(j)} = \frac{q_i}{4\pi\epsilon_0} \sum_{j \neq i} \frac{q_j}{(r_{ji})^2} \hat{r}_{ji} \quad (4)$$

em que i e j representam os índices das cargas presentes no sistema de cargas.

4.3.4 O campo elétrico

Também é possível determinar a força resultante sobre uma carga utilizando a ideia de campo elétrico (\vec{E}). Para tanto, é necessário considerar que todo corpo carregado gera ao seu redor um campo elétrico e, ao introduzir um outro corpo carregado em uma região onde existe um campo elétrico, este fica

sujeito a ação da força elétrica, mediada pelo campo. Desta maneira, a força elétrica também pode ser determinada por:

$$\vec{F}_i = q_i \cdot \vec{E}_i \quad (5)$$

em que \vec{E}_i é o campo elétrico gerado por uma carga puntiforme e q_i é uma carga colocada na região de campo elétrico, a carga de prova¹⁴. Desta forma, o campo elétrico representa a força elétrica em função carga colocada na região de campo, podendo ter sua intensidade medida em Newtons por Coulomb (N/C).

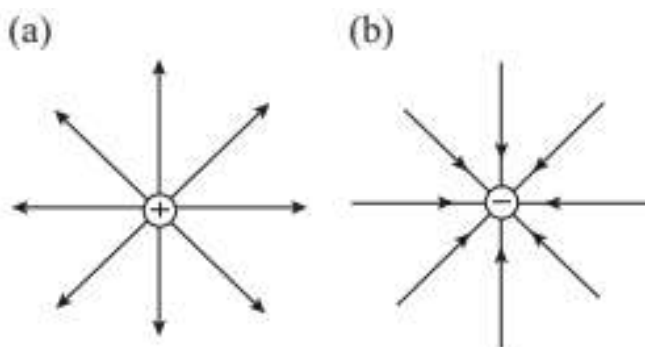
Relacionando as equações (4) e (5), o campo elétrico gerado por um sistema de cargas pode ser descrito por:

$$\vec{E}_i = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \sum_{j \neq i} \frac{q_j}{(r_{ji})^2} \hat{r}_{ji} \quad (6)$$

em que \vec{E}_i representa o campo elétrico sentido pela carga q_i , dada sua posição no espaço, q_j representa as cargas presentes em um sistema de cargas e r_{ji} representa as distâncias entre as cargas que geram o campo elétrico e o ponto i .

Para determinar o sentido e a direção das linhas de campo, convencionou-se que uma carga puntiforme positiva gera campo elétrico radial para fora e, uma carga negativa, gera campo elétrico radial para dentro.

Figura 4 - Linhas de força para uma carga puntiforme (a) positiva; (b) negativa.



Fonte: NUSSENZVEIG, 2015, p. 29.

As linhas de campo, também chamadas de linhas de força, são assim convencionadas para a determinação do sentido da força elétrica. Uma vez que

¹⁴ A carga de prova é assim chamada por ser uma carga utilizada como teste para revelar se há a presença de campo elétrico em uma região. Caso se verifique a ação de força elétrica sobre a carga de prova, é atestado que ali existe um campo elétrico (NUSSENZVEIG, 2015).

a força elétrica pode ser determinada pelo produto da carga de prova do campo elétrico, quando a carga de prova é positiva, a força elétrica possui a mesma direção e o mesmo sentido das linhas de campo, quando a carga de prova é negativa, a força elétrica possui mesma direção e sentido contrário as linhas de campo.

As linhas de campo também possuem o papel de representar visualmente a intensidade do campo elétrico, já que as áreas de maior densidade de linhas (em que as linhas estão mais próximas) indicam as regiões em que o campo elétrico é mais intenso.

4.3.4 O potencial elétrico e a diferença de potencial elétrico

Conforme explicado nos itens anteriores, quando colocada em uma região de campo elétrico, uma carga de prova ficará submetida a ação de uma força elétrica. Se a carga de prova estiver livre para se movimentar, se deslocará entre dois pontos, a e b , do campo. Nessas condições, definimos que a força elétrica realizou trabalho para deslocar a carga e que este trabalho pode ser calculado por:

$$W_{a \rightarrow b} = \int_b^a \vec{F} \cdot d\vec{l} \quad (7)$$

em que $W_{a \rightarrow b}$ representa o trabalho realizado pela força elétrica para transportar a carga do ponto a ao ponto b e $d\vec{l}$ representa um elemento infinitesimal da trajetória percorrida pela carga para se deslocar entre os pontos.

Relacionando as equações (5) e (7), o trabalho pode ser calculado por:

$$W_{a \rightarrow b} = q \int_a^b \vec{E} \cdot d\vec{l} \quad (8)$$

em que o trabalho entre a e b ($W_{a \rightarrow b}$) pode ser determinado a partir do produto da quantidade de carga q pela integral do campo elétrico ao longo do caminho percorrido entre a e b . Por sua vez, a integral $\vec{E} \cdot d\vec{l}$ representa a diferença de potencial entre os pontos a e b . Sendo a diferença entre dois pontos definida por:

$$V(ab) = V(b) - V(a) \quad (9)$$

em que $V(b)$ e $V(a)$ são, respectivamente, os potenciais elétricos dos pontos b e a .

Portanto, o potencial elétrico de um ponto do campo pode ser determinado por:

$$V_{(i)} = - \int_0^i \vec{E} \cdot \vec{dl} \quad (10)$$

em que $V_{(i)}$ é o potencial elétrico em um determinado ponto i do campo e 0 indica um ponto em que o potencial tende a zero para a medição do potencial.

Relacionando as equações (8) e (10), pode-se definir que o trabalho necessário para mover uma carga entre dois pontos pode ser calculado por:

$$W_{a \rightarrow b} = q \cdot [V(b) - V(a)] \quad (11)$$

em que $V(b)$ representa o potencial elétrico no ponto b e $V(a)$ o potencial elétrico no ponto a . A diferença $V(b) - V(a)$ é denominada diferença de potencial e é representada por $V(ab)$. Dessa forma, o trabalho pode, por fim, ser determinado por:

$$W_{a \rightarrow b} = q \cdot V(ab) \quad (12)$$

Como o trabalho representa a energia transformada para levar a carga de a para b , pode-se definir que a diferença de potencial elétrico entre dois pontos indica a quantidade de energia que deve ser transformada, por unidade de carga, para mover uma carga entre esses mesmos dois pontos. Sendo assim, a diferença de potencial é medida em Joule por Coulomb (J/C), que se convencionou como a unidade de medida Volt (V), em homenagem a Alessandro Volta (1745-1827), criador da pilha elétrica.

4.3.5 Condutores elétricos

Um material condutor é aquele que possui elétrons livres, isto é, elétrons que estão fracamente ligados ao núcleo atômico. Sendo assim, esses elétrons possuem liberdade para se movimentar pelo material. O mesmo não acontece em um material isolante (ou dielétrico), cujos elétrons estão fortemente ligados ao átomo e não encontram liberdade de movimento (há menos que seja rompida a rigidez dielétrica). Quando submetidos à um campo elétrico e,

consequentemente, a uma diferença de potencial elétrico, os elétrons livres de um material condutor passam a se mover ordenadamente, formando uma corrente elétrica.

A rigidez dielétrica é uma medida de campo elétrico, essa medida indica o máximo campo elétrico suportado por um dielétrico, antes que este se comporte como um condutor. No caso das descargas elétricas atmosféricas, os raios, a descarga elétrica é conduzida pelo ar, que é um material isolante em condições normais. Para romper a rigidez dielétrica do ar, é necessário que o campo elétrico entre a nuvem e o solo atinja valores superiores a 3,0 MV/m (MAZUR, 2016).

4.3.6 Corrente elétrica

Quando um material condutor é submetido à uma diferença de potencial elétrico, os elétrons livres presentes nesse material passam a se mover, ordenadamente, da região de menor potencial para a região de maior potencial. Ao fluxo ordenado de elétrons em um material condutor, dá-se o nome de corrente elétrica (i). A intensidade da corrente elétrica, que é medida em amperes (A) é definida pela quantidade de elétrons que atravessam uma determinada seção transversal de um fio por unidade de tempo:

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (13)$$

Dessa forma, convencionou-se que 1 A corresponde a passagem de 1 C de carga a cada segundo.

É importante enfatizar que as correntes elétricas não se estabelecem somente em fios metálicos. Considera-se corrente elétrica qualquer fluxo de carga que atravessa um meio condutor, como, por exemplo, o fluxo de íons positivos através de um gás ionizado ou o fluxo de íons que atravessa um eletrólito (NUSSENZVEIG, 2015).

5 METODOLOGIA

5.1 Descrição do público-alvo

A sequência didática foi aplicada em duas turmas do nono ano¹⁵ do Ensino Fundamental da escola Claretiano Centro Educacional Stella Maris, localizada na cidade-satélite de Taguatinga, no Distrito Federal. Ambas as turmas são do período matutino e possuem, em média, 30 alunos. Os alunos matriculados na série em questão possuem entre 14 e 16 anos de idade.

A escola é uma instituição de ensino particular de orientação católica, muito tradicional na região. A instituição faz parte de uma rede nacional de escolas, a rede Claretiano, em que todas as escolas da rede adotam como material didático o material Anglo (MARMO; FERRER, 2019) e as apostilas são utilizadas em todas as séries do ensino básico (da educação infantil ao ensino médio). Como material em questão é utilizado em colégios de todo o Brasil (também de outras redes de ensino), para manter uma unidade entre as escolas que o utilizam, é estabelecido um planejamento bem definido que deve ser seguido pelos professores que o adotam. Nesse planejamento é indicada uma ordem específica para o tratamento dos conteúdos do ano letivo e, também, quando e de que forma esses conteúdos devem ser trabalhados. Apesar disso, no cronograma do material são indicadas algumas aulas “livres” que podem ser utilizadas pelo professor para alguma adequação ou alguma atividade diferenciada. Desta forma, a sequência foi elaborada de forma a respeitar essa limitação.

Na série em questão a disciplina de ciências é dividida em duas frentes, física e química, cada uma com duas aulas semanais. As aulas na turma do nono “A” acontecem sempre às sextas-feiras, no primeiro horário (das 07:20 às 08:10) e no quinto horário (das 11:00 às 11:50). As aulas no nono “B” acontecem na quarta-feira no quinto horário (das 11:00 às 11:50) e na quinta-feira no quarto horário (das 10:10 às 11:00).

¹⁵ A sequência didática descrita foi aplicada em 2021, ano em que a adequação dos currículos para a BNCC ainda estava em curso. Na base, os conteúdos referentes a sequência estão localizados no oitavo ano do ensino fundamental.

A escola conta com boa estrutura física, contando inclusive com um laboratório de ciências. A sequência foi aplicada em agosto de 2021, período em que várias escolas contavam com regime híbrido de aulas. Em ambas as turmas haviam dois grupos: alunos que estavam presencialmente na escola e alunos que participavam da aula virtualmente, através de reunião online pelo *google meet*. Nesse regime, a aula dada em sala de aula é transmitida para os alunos de casa. Esses alunos do ambiente virtual têm a liberdade de participar da aula de duas formas: falando pelo microfone e digitando pelo chat da reunião. Para suprir as necessidades impostas por essa realidade, todas as salas são equipadas com notebook, projetor e caixa de som, inclusive o laboratório. Para atender aqueles alunos que por algum motivo não podem estar presentes física ou virtualmente, todas as aulas eram gravadas e disponibilizadas na plataforma da escola.

5.2 A sequência didática

A sequência didática idealizada possui nove aulas no total, sendo a última aula utilizada para a socialização dos trabalhos produzidos pelos alunos. O quadro a seguir ilustra um pequeno resumo de cada aula:

Quadro 1 - Resumo da sequência didática

Aula		Descrição	Recursos didáticos
01 e 02	Benjamin Franklin e o desenvolvimento do para-raios	Atividade: narrativa histórico-investigativa.	Projetor e slides com imagem e perguntas.
03	Como entendemos a carga elétrica hoje	Aula expositiva dialogada sobre carga elétrica contextualiza pelos raios elétricos e episódio histórico.	Projetor, material didático, quadro e pincel.
04	De quais formas um corpo pode ficar eletrizado?	Atividade prática: formas de eletrização (atrito e contato).	Materiais de baixo custo: balão, linha de costura, régua, papel picado, papel toalha e papel alumínio.

05	De quais formas um corpo pode ficar eletrizado?	Experimento demonstrativo: o protótipo de um para-raios.	Aparato experimental, projetor, material didático e vídeos.
06	Condutores e isolantes	Atividade de pesquisa e formalização através da socialização dos resultados encontrados pelos alunos.	Projetor e material didático.
07	Corrente elétrica	Aula expositiva dialogada sobre corrente elétrica e tensão.	Projetor e material didático.
08	Corrente elétrica e organização da avaliação	Como funcionam os circuitos elétricos? Apresentação da proposta de avaliação, divisão de grupos e escolha de temas.	Projetor e material didático.
09	Avaliação	Apresentação de um material de “divulgação científica”.	Projetor para exposição dos trabalhos produzidos.

Fonte: Elaborado pelo autor.

A sequência se inicia com a aplicação da atividade investigativa nas aulas 1 e 2. Nessas aulas a história da descoberta da natureza elétrica dos raios será narrada aos alunos, fazendo-se as pausas estratégicas nos momentos de tomada de decisão e reflexão. A narrativa completa e as reflexões propostas estão disponíveis no Apêndice A: narrativa histórico investigativa. Além de introduzir a discussão, uma das intenções dessa atividade é identificar os conhecimentos que os alunos já possuem sobre o assunto (ALLCHIN, 2013). Ao final das aulas, os alunos serão convidados a responder um questionário via *google forms* com uma única pergunta: o que você aprendeu com essa atividade?

Uma vez que os alunos entendem que as descargas elétricas em tempestades têm a mesma natureza dos choques elétricos que observamos em situações cotidianas, é feita a introdução do conceito de carga elétrica e como a entendemos pelo olhar da ciência da atualidade na aula 3. Essa aula seguirá o roteiro sugerido pelo material didático adotado pela escola.

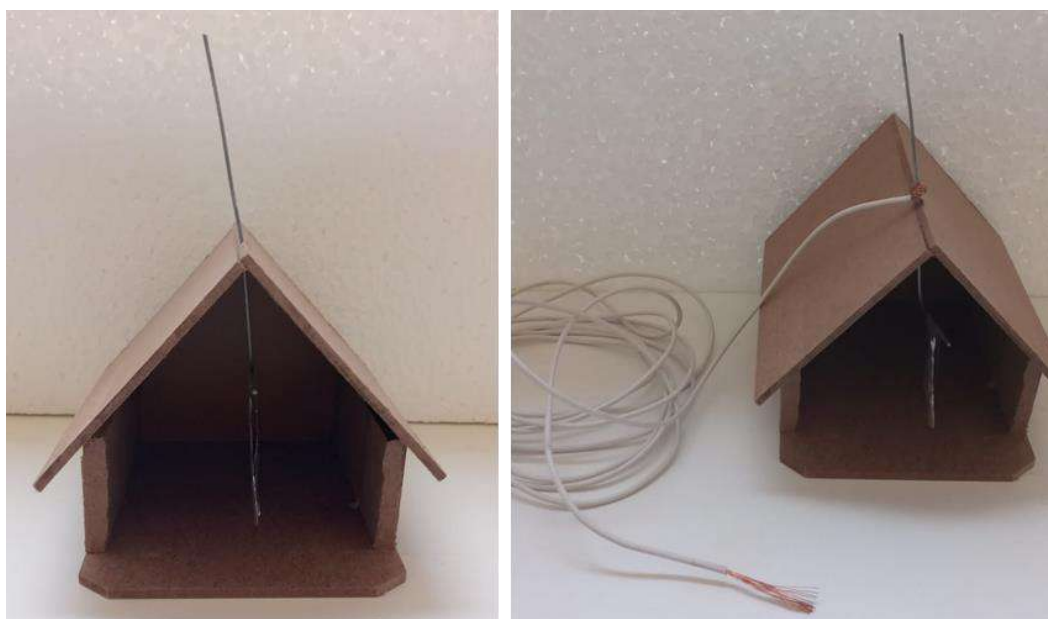
Nas aulas seguintes a ideia é mostrar aos alunos de quais formas um corpo pode ficar eletrizado, apresentando a eles os fenômenos de eletrização por atrito, contato e indução. Para isso, foram pensadas atividades experimentais para as aulas 4 e 5, sendo a aula 4 uma aula destinada a experimentos práticos e, a aula 5, destinado a um experimento demonstrativo.

Na aula 4 os alunos serão levados ao laboratório. O professor irá distribuir os materiais e instruir os alunos a realizar os experimentos, e as instruções serão projetadas no quadro, conforme descrito a seguir:

- Experimento 1: Encha um balão parcialmente e dê um nó para que o ar não escape. Esfregue-a no cabelo e, em seguida, aproxime-a de papéis picados sobre uma mesa.
- Experimento 2: Encha parcialmente um balão e dê um nó para que o ar não escape. Pendure-a por uma linha. Esfregue o papel toalha na bexiga e, em seguida, aproxime sua mão sem tocá-la.
- Experimento 3: Faça uma bolinha de papel-alumínio (1 a 2 cm de diâmetro) e prenda-a por uma linha. Esfregue o tubo de PVC em uma folha de papel toalha e aproxime-o da bolinha, permitindo que se toquem. Em seguida, desencoste o tubo da bolinha, mas mantenha-o próximo dela.
- Experimento 4: Com os materiais disponibilizados faça algum experimento pensado por vocês, sintam-se livres para testar o que quiser. Anote o experimento realizado e os efeitos observados.

Na aula 5, para a demonstração da eletrização por indução, o professor fará um experimento demonstrativo utilizando um aparato experimental de baixo custo inspirado no experimento da guarita, proposto por Franklin. O aparato é um eletroscópio de folhas montado dentro de uma pequena casa de madeira ligado a uma haste feita de arame.

Figura 5 - Aparato experimental inspirado no experimento da guarita



Fonte: Elaborada pelo autor

O professor eletrizará um balão (que simboliza uma nuvem eletrizada), atritando-o com um pedaço de papel toalha, e o aproximará da haste (que simboliza o para-raios). A ideia é que os alunos consigam perceber que as folhas do eletroscópio se afastam quando o balão é aproximado, e se aproximam quando o balão é afastado da haste. Em um segundo momento, o professor colocará um fio ligando a haste ao chão (simbolizando o aterramento) e os alunos serão capazes de perceber que as folhas do eletroscópio não farão mais o mesmo movimento. Após o experimento demonstrativo, serão reproduzidos dois vídeos: um que mostra o funcionamento do para-raios em uma situação real¹⁶ e outro que faz uma demonstração¹⁷ da proteção oferecida pelo para-raios. Para essa aula os alunos terão como tarefa de casa fazer a seguinte pesquisa: por que alguns materiais conduzem eletricidade e outros nos protegem dela?

Na aula 6 os alunos serão convidados a compartilhar os resultados da pesquisa feita como tarefa de casa. O objetivo é que os alunos troquem as

¹⁶ O vídeo em questão é o trecho de uma reportagem do programa “Fantástico” que mostrou vídeos produzidos pelo Grupo de Eletricidade Atmosférica do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Elat-Inpe) que registrou a incidência de raios em câmera lenta. O vídeo está disponível no endereço <https://youtu.be/0Gt6tG62YaQ> (último acesso em 26 de outubro de 2021).

¹⁷ O vídeo está hospedado no youtube no canal “Vida em Silício” e está disponível no endereço <https://youtu.be/T5Saj0uQaSw> (último acesso em 26 de outubro de 2021).

informações encontradas e, ao final da aula, o professor faça a formalização dos conceitos tendo como base a discussão feita no começo da aula.

As aulas 7 e 8 tem como tema principal a corrente elétrica. As duas aulas serão conduzidas conforme sugerido pelo material didática adotado pela escola. Ao final da aula 8 os alunos são orientados quanto a avaliação da proposta, é solicitado que produzam mídias de “divulgação científica” sobre o tema para a apresentação na próxima aula. O tema e o formato do trabalho ficam a critério dos estudantes, desde que estejam relacionados a eletricidade. Para auxiliá-los, são sugeridos alguns temas:

- Por que o Brasil é o país que mais sofre com descargas elétricas no mundo?
- Os raios caem ou sobem?
- Quais cuidados devem ser tomados para prevenção de acidentes domésticos envolvendo descargas elétricas?
- Como funciona o para-raios e quando ele é necessário?
- Qual a utilidade do terceiro pino da tomada?
- Como são feitas as previsões de tempestades?
- A ciência por trás das superstições durante tempestades.
- Por que as igrejas eram constantemente atingidas por raios?

A aula 9, última aula da sequência, será destinada as apresentações e socialização das mídias produzidas.

6 RELATO DE APLICAÇÃO

Assim como detalhado no item 5.1 Descrição do público-alvo, a sequência didática foi aplicada em duas turmas do nono ano do Ensino Fundamental da escola Claretiano Centro Educacional Stella Maris. Na ocasião da aplicação, as salas estavam em formato híbrido em razão da pandemia do coronavírus. A sequência foi aplicada entre os dias 13/08/2021 e 15/09/2021. A última aula da sequência foi remarcada para data posterior ao período citado acima em virtude da solicitação de ampliação do prazo de entrega dos trabalhos, feita pelos alunos.

As duas turmas, apesar de serem formadas por alunos da mesma faixa etária, entre 14 e 16 anos, possuem perfis bem diferentes entre si. A turma A possui muitos alunos participativos, que têm o costume de participar ativamente da aula e aceitam com bastante facilidade as atividades propostas. Já a turma B é formada de alunos mais apáticos e de comportamento mais problemático que, em sua maioria, não se mostram muito interessados nas atividades propostas. A diferença entre as turmas transformou a aplicação em duas experiências completamente diferentes.

Aulas 1 e 2: Atividade: narrativa histórico-investigativa.

As duas primeiras aulas da sequência foram pensadas para acontecer ambas no mesmo dia, por conta da extensão da narrativa investigativa. Na turma do 9º ano A as aulas ocorreram no dia 13/08/2021 em aulas espaçadas (assim como descrito na seção "público-alvo"). No 9º ano B, as aulas aconteceram no dia 18/08/2021. Nessa ocasião, pedi que a professora do horário anterior ao meu me cedesse sua aula, para que eu pudesse fazer a dupla de aulas em aulas geminadas.

Nessa dupla de aulas foi aplicada a atividade histórico-investigativa. Fiz a leitura da narrativa para alunos, enquanto mostrava algumas imagens ilustrativas em uma apresentação do *powerpoint*¹⁸ que estava sendo projetada no quadro. As imagens eram compostas por pinturas dos cientistas citados e pinturas e

¹⁸ Os slides utilizados estão disponibilizados no Apêndice B: slides utilizados durante a atividade histórico-investigativa.

esquemas dos experimentos e equipamentos descritos na história. A leitura era interrompida por alguns momentos de pausa, em que os alunos eram convidados a debater e refletir a partir de uma pergunta colocada por mim (que também estava sendo projetada no quadro). As perguntas foram pensadas com a intenção de fazer com que os alunos retirassem da história alguns aspectos inerentes à natureza da ciência. Os alunos que estavam presencialmente na sala podiam discutir em pequenos grupos e depois dar uma resposta definitiva e os alunos que estavam participando da aula forma remota podiam discutir e compartilhar suas ideias através do chat da reunião (ou falar pelo microfone, se preferissem). Quando os alunos do presencial faziam comentários eu os repetia para que os alunos do online pudessem entender e lia as respostas dos alunos do online para que os alunos do presencial tivessem conhecimento. Conforme a discussão ia caminhando, fui adicionando outras perguntas para instigar a reflexão dos alunos. Ao final das duas aulas, enviei uma autoavaliação para os alunos com uma única pergunta: o que você aprendeu com essa atividade? A atividade foi enviada através de um formulário do *google forms*, em que os alunos enviaram suas respostas de forma online¹⁹.

Na turma do 9º ano “A” a maioria dos alunos se mostraram engajados na atividade e participaram ativamente das discussões. Nesse dia havia poucos alunos no presencial e eles acabaram formando um grande grupo de discussão. Um fato interessante a ser ressaltado é que algumas alunas mais retraídas, que não costumavam participar muito da aula, estavam bastante presentes durante as discussões. Dos 32 alunos da sala, apenas 8 responderam ao questionário de autoavaliação.

Na turma do 9º ano “B” a aplicação foi um pouco conturbada, com alguns momentos de intervenção em relação ao comportamento dos alunos. No início os alunos se mostraram animados com a atividade, mas, com o decorrer da aula, alguns alunos perderam o interesse na história e poucos participaram da discussão do início ao fim. Apesar disso, os alunos da turma que participaram fizeram comentários riquíssimos sobre as reflexões. Destaque para o comentário

¹⁹ O contexto de pandemia e de flexibilização da escola fez com que poucos alunos respondessem o questionário de avaliação, pois não havia nota atribuída a ele.

do aluno 27 que, ao final da aula, disse: “[..] a ciência não tá certa, ela só está o mínimo errada, porque se algum dia alguém chegar (e falar), não, eu tenho um outro experimento aqui [...] que combate esse outro experimento aqui, se ele for considerado aprovado a ciência vai estar errada e esse novo experimento vai ser considerado certo, até que se prove o contrário”. Notei também uma maior participação dos alunos que assistiam a aula de casa, quando comparado aos alunos da turma A, vários alunos ligaram o microfone e colocaram suas ideias para os demais. Um fato curioso foi a participação de uma aluna muito tímida que, apesar de muito motivada a participar da discussão, não se sentiu confortável para compartilhar suas ideias. A aluna falava suas ideias para que outros alunos a compartilhassem. O aluno que mais participou da discussão é um aluno considerado mais problemático pelo corpo docente, que costumeiramente apresenta notas baixas e desinteresse com as atividades escolares. Dos 31 alunos da sala, apenas 10 responderam ao questionário da autoavaliação.

Aula 3: carga elétrica

A aula 3 foi aplicada no 9º ano A no dia 20/08/2021 e no 9º ano B no dia 19/08/2021. Para essa aula foi utilizada a metodologia expositiva dialogada e o conteúdo da aula foi bastante apoiado pelo material didático adotado pela escola. Iniciei a aula discutindo como os estudiosos do século XVIII entendiam a eletricidade para iniciar a discussão de como a entendemos na atualidade. Apresentei aos alunos a ideia de átomo e de carga elétrica, assim como a ideia de força de atração e repulsão entre duas cargas elétricas. Após esse primeiro momento, alguns minutos foram dedicados para responder uma questão proposta pelo material didático sobre força elétrica. Em seguida, apresentei aos alunos a ideia de eletrização: um corpo eletrizado é aquele que possui desbalanço de cargas, ou seja, aquele que perdeu ou ganhou elétrons.

Aula 4: mecanismos de eletrização (atrito e contato)

A aula 4 foi aplicada no 9º ano A no dia 20/08/2021 e no 9º ano B no dia 25/08/2021. Os alunos foram instruídos a formar pequenos grupos e seguir as

instruções projetadas no quadro. Para cada grupo foram fornecidos os seguintes materiais: uma régua, uma folha de papel alumínio, um balão, uma folha de papel toalha e um pedaço de linha, também disponibilizei um tubo de PVC, caso quisessem o substituir pela régua. No quadro havia a descrição de três experimentos. No experimento 1 os alunos deveriam atritar o balão no cabelo e o aproximar de pequenos pedaços de papel dispostos na bancada. No experimento 2 os alunos deveriam atritar o balão com uma folha de papel toalha, pendurar o balão pelo pedaço de linha e, segurando o balão pela linha, aproximar sua mão dele, sem o tocar. No experimento 3 os alunos deveriam fazer uma bolinha de papel-alumínio e prendê-la por uma linha, deveriam também esfregar uma régua (ou o tubo de PVC) em uma folha de papel toalha e a aproximar bolinha, permitir que a bolinha e a régua se toquem e, em seguida, desencostá-los, mas mantendo-os próximos. Depois de executar todos os experimentos e observar seus efeitos, conversamos sobre o que foi observado e compartilhamos os resultados. Em seguida, fiz uma breve explicação sobre os dois tipos de eletrização: atrito e contato. O momento final foi pensado para ser uma formalização dos fenômenos observados. Para isso, apresentei a eles a série triboelétrica e fiz um pequeno resumo sobre as consequências de cada modo de eletrização.

A turma do 9º ano A fez os experimentos no laboratório de ciências. Os grupos que estavam presencialmente na escola demonstraram os experimentos para os alunos que estavam assistindo a aula de forma online. Os alunos receberam muito bem a proposta e ficaram bastante impressionados com os fenômenos observados.

A turma do 9º ano B fez os experimentos na sala de aula e os presentes também realizaram as demonstrações para os alunos que estavam em casa. No dia da aula da turma B o laboratório não pode ser utilizado por um erro na logística de reserva do local, o que ocasionou grande descontentamento entre os alunos. A mudança de planos teve efeito negativo sobre o andamento da aula e alguns alunos não seguiram as instruções fornecidas. Nessa turma, os alunos tiveram bastante dificuldade para realizar o terceiro experimento; nesse momento tive que intervir e realizar o experimento junto com um grupo de alunas.

Os grupos que realizaram os experimentos também se mostraram bastante impressionados com os fenômenos observados.

Aula 5: mecanismos de eletrização (indução)

A aula 5 foi aplicada no 9º ano A no dia 27/08/2021 e no 9º ano B no dia 02/09/2021. Para essa aula preparei um protótipo de para-raios para apresentar aos alunos. O protótipo foi feito com uma casinha feita de papelão, um pedaço de arame (para simbolizar a haste metálica do para-raios), um balão (para simbolizar a nuvem eletrizada) e um pedaço longo de fio elétrico (para simbolizar o aterramento). A haste foi colocada no teto da casinha, de forma que uma parte dela ficasse para fora, na ponta da haste que ficou do lado interno da casinha foram colocadas duas folhas de papel alumínio. Desta forma, o protótipo é um eletroscópio de folhas que imita uma casa munida de para-raios.

Iniciei a aula lembrando os alunos dos experimentos feitos na aula anterior e formalizei mais uma vez os processos de eletrização por atrito e contato. Em seguida, demonstrei o experimento de indução para a turma com a ajuda de alguns alunos. Esfreguei o balão com uma folha de papel toalha e o aproximei da haste do protótipo. Mostrei aos alunos que as folhinhas de papel alumínio se separaram e expliquei o porquê deste efeito fazendo um paralelo com uma nuvem carregada e o para-raios de uma construção. Aproveitei a ocasião para justificar o que acontece nos experimentos 1 e 2, feitos na aula passada, em que os pedacinhos de papel são atraídos pelo balão e que o balão eletrizado é atraído pela mão próxima a ele. Após esse primeiro momento, conectei o fio elétrico ao para-raios deixando uma de suas extremidades no chão. Passei novamente o balão eletrizado pela haste, mas, dessa vez, as folhinhas de alumínio não se separaram. Perguntei aos alunos para onde as cargas estavam indo, já que não estavam indo mais para as folhinhas. Os alunos responderam que as cargas estavam indo para o fio e, conseqüentemente, para o chão. Em seguida, expliquei aos alunos a função do aterramento de um para-raios e mostrei um vídeo de um para-raios em ação. Após o vídeo, fiz uma breve explicação de como ocorre a incidência de um raio, comentando sobre a necessidade da existência de um raio conectante (nesse caso, produzido pelo

para-raios). Em seguida, apresentei outro vídeo, que mostra a "preferência" dos raios por corpos pontudos. O vídeo é um experimento feito com latinhas de refrigerante representando os prédios, um protótipo de para-raios feito de arame e uma esfera envolta de papel alumínio ligada a uma bobina de Tesla para representar a nuvem carregada. No vídeo é possível ver que, na presença do para-raios, a maioria dos raios "caem" sobre ele, mas que ele só é capaz de proteger uma certa área.

Aula 6: condutores e isolantes

A aula 6 foi aplicada no 9º ano A no dia 27/08/2021 e no 9º ano B no dia 08/09/2021. Para essa aula os alunos deveriam ter feito uma pesquisa pré-aula com o seguinte tema: por que alguns materiais conduzem eletricidade e outros nos protegem dela? Em ambas as salas os alunos se esqueceram da pesquisa e os minutos iniciais da aula foram disponibilizados para que eles pudessem pesquisar. Depois disso, conversamos sobre os resultados obtidos. Conforme os alunos iam apresentando seus argumentos, eu ia adicionando novas perguntas para conduzir a discussão. Ao final da aula, fiz uma breve formalização sobre a diferença entre os materiais condutores e isolantes, sobre a ideia de elétron livre e sobre a ideia de rigidez dielétrica. A rigidez dielétrica foi contextualizada pela incidência de raios em tempestades, tema principal dessa sequência.

Aula 7: corrente elétrica e circuitos elétricos

A aula 7 foi aplicada no 9º ano A no dia 03/09/2021 e no 9º ano B no dia 09/09/2021. Iniciei a aula conversando com os alunos sobre a aula passada, para lembrá-los do que discutimos sobre os materiais condutores e isolantes. A aula em questão foi bastante apoiada no material didático da escola. O material propõe a construção de um circuito usando fios, uma pilha e uma pequena lâmpada. Para esse experimento são propostas três montagens diferentes em que em só uma delas a lâmpada acende. A intenção é mostrar aos alunos que uma extremidade do fio deve ser ligada ao polo positivo e, a outra, ao polo negativo. Em ambas as turmas os alunos ficaram bastante surpresos com o fato

de eu não ter tomado um choque elétrico nesse processo, já que as conexões entre os fios estavam sendo feitas (e mantidas) com os meus dedos.

Após o experimento, expliquei aos alunos o que é a corrente elétrica. Como a teoria de Benjamin Franklin para a eletrização dos corpos foi apresentada na primeira aula, se tornou muito mais fácil explicar para os alunos o sentido convencional da corrente elétrica. Nesta aula, retomei com a turma a ideia de eletrização mais e menos, proposta por Franklin, e como ela é o oposto do que entendemos hoje, já que um corpo com excesso de elétrons está eletrizado negativamente (no caso da teoria de Franklin, o excesso de fluido elétrico era uma eletrização “mais”). Essa inversão, aliada ao descobrimento “tardio” dos elétrons, fez com que nós continuássemos utilizando o sentido invertido, mas, agora, de forma convencionalizada.

Para explicar a ideia de diferença de potencial, o material propõe uma analogia com um circuito formado por duas caixas d'água, uma que está a uma certa altura e outra que está no chão. A água flui espontaneamente do reservatório superior para o inferior, mas precisa ser forçada por uma bomba para retornar ao reservatório superior e repetir esse processo. Expliquei esse processo para os alunos e respondemos algumas perguntas propostas pelo material sobre as transformações de energia envolvidas nesse processo.

Aula 8: corrente elétrica e circuitos elétricos

A aula 8 foi aplicada no 9º ano A no dia 03/09/2021 e no 9º ano B no dia 15/09/2021. Iniciei a aula lembrando o exemplo da aula anterior: o “circuito” de água formado pelas duas caixas d'águas e a bomba. Seguindo a proposta do material, fiz uma comparação entre o circuito de água e o circuito elétrico. Os fios do circuito têm função semelhante à tubulação, pois determinam o “caminho” a ser percorrido. A bomba do circuito faz com que a água retorne para o reservatório de maior potencial, função semelhante à da pilha, que “empurra” a corrente elétrica novamente para a região de maior potencial. A canaleta que une os reservatórios de água tem função semelhante a lâmpada, pois é lá que ocorre a transformação da energia. Durante essa comparação, fui explicando a função de cada um dos componentes de um circuito elétrico simples e como a

corrente se mantém circulando por ele. Após esse primeiro momento, expliquei aos alunos o que é uma associação de geradores em série, usando uma associação de pilhas para acender a mesma lâmpada da aula anterior. Comparando o brilho da lâmpada acesa por uma pilha, com o brilho da lâmpada acesa por duas pilhas, expliquei que a tensão total era somada quando as pilhas eram associadas. Na turma do 9º ano A, também mostrei que uma lâmpada de LED não acende quando tentamos ligá-la usando uma única lâmpada, mas acende quando usamos duas pilhas em série. Esse exemplo não foi feito na turma do 9º ano B por uma limitação de tempo. Após os experimentos, expliquei aos alunos o que é um interruptor e qual a sua função no circuito e respondemos algumas perguntas propostas pelo material didático.

Os minutos finais da aula foram dedicados a explicar para os alunos o que é um material de divulgação científica e também explicar o trabalho de avaliação dessa sequência de aulas. O formato do trabalho ficou a critério dos alunos e eles puderam escolher como iriam fazer. O tema também ficou a critério dos alunos, desde que fosse um tema relacionado às aulas anteriores. Para auxiliar os alunos, disponibilizei também a lista de sugestão de temas descrita no capítulo 5.

Combinamos o prazo de uma semana para a entrega dos trabalhos. Em ambas as turmas os alunos me procuraram pedindo ampliação desse prazo e, por isso, as apresentações foram adiadas. O trabalho deveria ser entregue através de um fórum aberto na plataforma online da escola.

Aula 9: apresentação dos trabalhos

A aula 9 foi aplicada no 9º ano A no dia 24/09/2021 e no 9º ano B no dia 06/10/2021. Conforme justificado acima, essa aula foi feita em período posterior a pedido dos alunos, para que eles tivessem mais tempo para preparar os trabalhos. Os trabalhos enviados pelos alunos foram projetados no quadro (e transmitidos para quem assistia aula online), lemos e assistimos os trabalhos juntos e fizemos alguns comentários entre uma apresentação e outra. Como algumas correções de erros foram necessárias, aproveitamos o momento para fazer uma revisão do conteúdo das aulas anteriores, sanando algumas dúvidas

que ainda existiam entre os alunos. Conforme combinado com os alunos, o formato do trabalho era livre. Vários alunos fizeram apresentações de *powerpoint*, outros fizeram pequenos vídeos explicativos, alguns optaram por produzir pequenos *podcasts* em que explicaram sobre o tema escolhido somente em áudio e tivemos também a produção de uma *thread*²⁰ no *twitter* (uma sequência de postagens no *twitter*, explicando sobre o tema). Alguns alunos relataram que gostaram muito de fazer o trabalho pelo fato de poderem escolher o tema que mais lhes chamasse a atenção. Apesar disso, na turma B, notei que vários trabalhos estavam bastante semelhantes, alguns até com o mesmo texto, possivelmente os alunos se “inspiraram” na mesma fonte para a produção. Também na turma B, percebi que alguns alunos não compreenderam corretamente a proposta, pois fizeram uma apresentação com pequenas explicações para vários dos temas propostos por mim (não escolheram apenas um, como o indicado).

Salvo alguns contratempos e algumas adaptações que precisaram ser feitas por conta das limitações trazidas pelo formato híbrido de aulas, a aplicação da sequência foi concluída com êxito e seguiu como o planejado.

²⁰ Uma *thread* é uma sequência de postagens correlacionadas feitas no *twitter*, rede social amplamente utilizada pelos adolescentes brasileiros.

7 ANÁLISES E RESULTADOS

Após a aplicação da sequência alguns alunos relataram que gostaram bastante das aulas propostas, principalmente da atividade histórico-investigativa. Através das análises das respostas dos alunos ao questionário pude perceber que a maioria deles entendeu o propósito da atividade e internalizou alguns aspectos sobre a natureza da ciência. Em contraponto, recebi algumas respostas em que os alunos mostraram não ter entendido muito bem alguns pontos da história (como o fato de o Franklin ter empinado a pipa, por exemplo). Porém, de forma geral, a sequência cumpriu o seu papel de dar aos alunos uma oportunidade de refletir sobre a ciência e o fazer científico e aprender conceitos de eletrostática e eletrodinâmica sob o pano de fundo dos raios em tempestades.

Como já esperado, com base no perfil das turmas, a turma A se mostrou mais engajada durante o processo e as aulas correram de forma mais tranquila. Na turma B, apesar dos problemas, os alunos também demonstraram ter aprendido com a sequência e foram feitas contribuições muito ricas por alguns alunos. O tema central da sequência, os raios em tempestades, gerou muitas perguntas em ambas as turmas, principalmente relacionadas a situações cotidianas vividas ou imaginadas por eles.

7.1 Respostas da atividade histórico-investigativa

As perguntas colocadas durante a narrativa tinham o propósito de provocar reflexões específicas. A seguir, será feita uma análise da reflexão pretendida em comparação as respostas dadas pelos alunos durante a aula. A transcrição das respostas dos alunos está nos quadros 2 e 3, na seção anexo A.

A primeira pergunta “uma única semelhança é suficiente para deduzir que esses fenômenos são iguais?” tinha a intenção de iniciar a reflexão sobre a investigação da natureza dos fenômenos (faíscas em experimentos elétricos e raios em tempestades) a partir de suas semelhanças. Era esperado que os alunos refletissem sobre a necessidade de uma investigação mais detalhada para se obter conclusões. Em ambas as turmas a resposta foi unânime: não é possível determinar que os fenômenos são iguais a partir de uma única semelhança. Um dos alunos fez a seguinte reflexão “é tipo o negócio dos

triângulos semelhantes, eles não são iguais, mas tem semelhanças”, outra aluna apontou que “uma semelhança não é suficiente, porque pode ter uma coisa igual e o resto ser diferente”. A partir das respostas, nota-se que os alunos entendem que é necessária uma maior investigação para concluir sobre a natureza dos fenômenos.

A segunda pergunta “o que você poderia fazer para identificar outras semelhanças entre eles?” tinha a intenção de levar a reflexão da necessidade da experimentação. Na turma B os alunos apontaram a necessidade de “pesquisar mais” ou “pesquisar mais a fundo”, bem como “fazer mais experimentos” ou “fazer mais testes”, mas não especificaram quais pesquisas ou testes deveriam ser feitos. Nesse momento pude verificar a dificuldade dos alunos em pensar em um período histórico de características completamente diferentes do vivido por eles. Como as informações são de muito fácil acesso no período atual, muitos apontam que uma pesquisa seria suficiente para chegar a conclusões, não se atentando ao fato de que o fenômeno ainda não havia sido estudado (o que é pouco comum na atualidade). A partir disso, é importante destacar a necessidade de ambientar os alunos à época em que a história se passa, como indicado por Allchin (2013). Por conta das repostas vagas, acrescentei uma pergunta extra “quais testes poderiam ser feitos?”²¹. Um aluno respondeu que deveriam ser feitos experimentos com variações de massa e profundidade, mas não soube explicar como essas variações poderiam ser feitas. Um outro estudante fez a seguinte observação: “e se a gente observasse a origem dessas faíscas? Porque tipo, os raios (...) a origem dessas faíscas são (sic) diferentes da origem dos raios”, indicando a necessidade de verificar a origem dos fenômenos. Outro aluno respondeu com uma proposta de experimento bastante semelhante ao que foi feito por Nollet: “tipo assim, eles pegavam, vamos supor, um raio caia num pedaço de uma árvore e a árvore destruiu, destruiu tudo. Os cara pega (sic) aquela máquina lá e pega um

²¹ Partindo da ideia que a proposta na narrativa histórico-investigativa é levar o aluno a refletir sobre suas escolhas, as perguntas adicionais foram adicionadas para estimular e aprofundar as reflexões. As perguntas adicionais são indicadas quando alguma reflexão adicional é necessária (ALLCHIN, 2013).

pedaço pequeno de madeira, faz um teste menor, só que na mesma proporção do outro, para ver se dá a mesma coisa”.

Na turma A os comentários foram mais específicos, uma aluna sugeriu que poderia “ver como elas são formadas” dando a entender que, para que os fenômenos sejam da mesma natureza, eles precisam ter a mesma origem. Outra aluna apontou que poderia “ver se esses mesmos raios que saem da máquina conseguem passar por meios metálicos”, indicando que os experimentos poderiam verificar outras semelhanças entre os fenômenos.

A terceira pergunta “as semelhanças apontadas por Nollet são suficientes para confirmar que os fenômenos são da mesma natureza?” tinha a intenção de estimular a reflexão sobre a quantidade de semelhanças necessárias ou a quantidade de testes necessários para determinar definitivamente a natureza dos fenômenos. A pergunta foi feita após a leitura das doze semelhanças apontadas por Nollet, após uma série de experimentos. Na turma A, duas alunas deram respostas bem parecidas, indicando que, apesar de existirem doze semelhanças, ainda poderiam haver diferenças. Outra aluna respondeu que “(...) tem que se recriar um raio para que se prove que ele tem a mesma natureza”. Para ampliar a discussão sobre as diferenças, adicionei uma pergunta extra “o que vocês poderiam fazer para ver se existem diferenças?”. Uma aluna respondeu que “os raios... as faíscas causadas pela máquina são geradas por atrito e os raios são causados pela tempestade. As faíscas da máquina não precisam de uma tempestade para acontecer”, mais uma vez indicando a necessidade de se investigar a origem dos fenômenos. Outra aluna respondeu que deveríamos “pegar a energia do raio e essa [gerada pelo gerador], juntar as duas e ver se elas são compatíveis”, uma proposta bem semelhante ao que foi pensado por Franklin na sugestão do experimento da guarita. Na turma B alguns alunos indicaram que sim, as doze semelhanças eram suficientes, e outros responderam que não. Um aluno respondeu “analisar as semelhanças não funciona”, reforçando que, apesar do grande número de semelhanças, ainda assim poderiam haver diferenças. A partir dessas respostas adicionei outra pergunta “quantas semelhanças eu preciso ter para provar que duas coisas são a mesma coisa?” e chegamos à conclusão de que não há um número certo. Essa

reflexão também é importante para desfazer a ideia do “experimento crucial”, em que um único experimento seria responsável por uma descoberta (ALLCHIN, 2013).

A quarta pergunta “Como Franklin e Hopkinson poderiam comunicar suas descobertas a outras pessoas que estudam eletricidade?” foi colocada após uma breve introdução aos estudos de Franklin sobre eletricidade. A intenção por trás desse questionamento era levar os alunos a refletir sobre as formas de comunicação do século XVIII e sobre a comunicação de novas descobertas no meio científico. Em ambas as turmas os alunos responderam que deveria ser escrita uma carta, mas se mostraram confusos quando eram questionados quem seria o destinatário. Mais uma vez é importante destacar a necessidade de ambientar os alunos quanto aos aspectos sociais e culturais envolvidos no episódio (ALLCHIN, 2013). Alguns indicaram que essas informações deveriam ser publicadas no jornal ou em expostas para o público nas ruas.

Na turma A acrescentei a pergunta “qual a importância de comunicar uma nova descoberta?” e todas as respostas se referiram à colaboração entre cientistas, indicando uma breve noção de que a ciência não é feita por uma pessoa só e evidenciando aspectos sociais atrelados a ciência (ALLCHIN, 2013). Acrescentei também a pergunta “a solução mais apontada foi mandar uma carta, mas mandar carta para quem?”, a maioria dos alunos respondeu que a carta deveria ser enviada à uma sociedade científica ou para alguém da Europa (onde os estudos científicos eram mais numerosos). Uma aluna se lembrou da revista que Franklin havia recebido de Collinson e deu a sugestão de que a carta deveria ser enviada para ele, e o restante da turma concordou que esse seria um caminho possível.

Na turma B, como as respostas foram vagas, acrescentei a pergunta “como Franklin poderia fazer para que as descobertas que ele fez chegassem até as pessoas que estudavam eletricidade?”, um aluno indicou que Franklin deveria escrever um livro, outro aluno sugeriu que ele deveria fazer panfletos. As respostas dos alunos levam a crer que muitos desconhecem como os novos estudos são propagados, ou seja, desconhecem a existência dos artigos

científicos, o que reforça a necessidade de evidenciar e fazer conhecer processos próprios da ciência (ALLCHIN, 2013).

A quinta pergunta “nessa época se sabia que a eletricidade podia ser obtida através da fricção de dois materiais, como no gerador eletrostático de Hauksbee. A partir dessa ideia, como poderíamos explicar a eletrização das nuvens?”. A ideia por trás dessa pergunta era verificar se eles tinham algum conhecimento de como os processos de eletrização acontecem ou como as nuvens ficam eletrizadas, uma vez que as atividades investigativas também podem servir a este fim (ALLCHIN, 2013). Alguns alunos responderam que os raios acontecem após a colisão entre as nuvens, uma ideia muito antiga e muito frequente no senso comum (SABA, 2001). Alguns alunos indicaram que essa eletrização poderia ser por conta do atrito da água com a nuvem, ou do sal com a nuvem. Na turma B, dois alunos indicaram o atrito entre o gelo presente na nuvem, demonstrando algum conhecimento sobre o tema.

A sexta pergunta “como Franklin poderia testar se sua teoria estava correta?” foi pensada para reforçar, mais uma vez, a necessidade da experimentação. As respostas dos alunos se concentraram em sugestões de experimentos, como, por exemplo, atritar água com sal para verificar se surgiria alguma eletrização. Uma aluna indicou que os experimentos deveriam ser feitos para uma grande quantidade de pessoas, para que sua ideia fosse “provada”. Como justificativa, a aluna apontou que “se eu quero provar uma coisa eu quero que as pessoas acreditem na minha palavra, não só tipo falando, mas mostrando que aquilo está certo”. A resposta da aluna pode indicar que, para ela, por mais que uma ideia seja correta, é necessário que ela seja aceita pelo público.

A sétima pergunta “O que pode determinar se uma teoria é certa ou errada?” tinha a intenção de verificar conhecimentos prévios dos alunos sobre a confiabilidade do conhecimento científico, bem como iniciar uma reflexão de porque os conhecimentos científicos são confiáveis. De forma geral, os alunos responderam que essa determinação seria feita por experimentos e pelo pensamento científico. Em ambas as turmas levantei uma pergunta adicional “quantos experimentos são necessários para confirmar uma teoria”, na turma B um aluno respondeu que “eu acho que é impossível. Para confirmar 100%, é

impossível”, outro aluno fez a seguinte reflexão: “você teria que tentar fazer o máximo possível de experimentos, que até uma pessoa tentar duvidar dela porque se ninguém duvidar ou se ninguém tiver uma dúvida além daquilo ali, por enquanto seria certo, seria conclusiva a teoria, até alguém vir com uma ideia diferente ou um erro que você ainda não fez”. A partir dessa resposta foi possível iniciar uma discussão sobre a falseabilidade das teorias científicas, contrapondo a confiabilidade de uma teoria científica à natureza falha dos seres humanos (ALLCHIN, 2013). Uma outra resposta indicou uma noção do que seria avaliação por pares: “vamos pegar a participação de outros físicos, se outros físicos fizerem o mesmo experimento e tiverem o mesmo resultado, quer dizer que está correto”.

A oitava pergunta “na impossibilidade de realizar o experimento, o que Franklin poderia fazer para testar sua ideia?” tinha a intenção de estimular a reflexão sobre a colaboração entre cientistas. Apesar disso, como muitos já conheciam a história da pipa, que é amplamente propagada de forma errônea (SILVA; PIMENTEL, 2008), em ambas as turmas o experimento foi citado. Dois alunos sugeriram a utilização de aviões e balões de ar quente, ambas invenções que ainda não existiam na época, mais uma vez indicando desconhecimento do período histórico em questão.

A nona pergunta “o sucesso do experimento idealizado por Franklin prova que sua teoria estava correta?” foi colocada para levar a reflexão do que seria a confirmação de uma teoria. O resultado do experimento feito por D’Alibard foi uma importante evidência de que os raios e as faíscas seriam da mesma natureza, mas não confirmava que a teoria de eletrização das nuvens elaborada por Franklin estava correta, uma vez que não foi pensada para esse fim. A reação dos alunos foi unânime: o sucesso do experimento não corrobora que as ideias de Franklin estavam corretas. Uma aluna respondeu que: “só prova que tem como tirar o fluido elétrico”.

A décima pergunta “você acha que o experimento pensado por Franklin pode apresentar algum risco para quem o realiza?” foi colocada para discutir os perigos dos raios em aulas posteriores e, também, para fazer uma análise das reproduções da mídia do experimento da pipa. Essa pergunta também foi

colocada para dar suporte à pergunta 11, que aborda a recepção dos para-raios. Em ambas as turmas os alunos disseram que sim, o experimento apresentava perigo.

A penúltima pergunta, a décima primeira, “o que pode ter motivado a má recepção da ideia do para-raios?” foi colocada para verificar se os alunos tinham conhecimento de como um para-raios funciona e, também, para questionar a aceitação de novas teorias. Na turma A as respostas se concentraram na teoria de que os para-raios serviriam para atrair os raios e, portanto, causaria uma exposição maior ao perigo. Na turma B, foi apontado que o falecimento do Georg Wilhelm Richmann pode ter contribuído para a má recepção: “(...) deve ter pegado muito mal quando o Georg morreu, então as pessoas ficaram meio receosas de usar isso e acabar com o mesmo fim dele”.

A última pergunta “o que poderia ser feito para convencer as pessoas da época de que a haste fornece proteção para os prédios?” foi colocada com a intenção de introduzir a divulgação científica, uma vez que esta seria uma possível solução. Muitos alunos apontaram a necessidade de se fazer uma demonstração pública, para mostrar que de fato o para-raios oferece proteção. Um aluno apontou a possibilidade de envolvimento dos governantes, fazendo a seguinte proposta “por que não pega um líder de cada coisa e mostra para eles? Geralmente quando um líder fala, todo mundo acredita”.

Em resumo, a atividade se mostrou um bom instrumento para instigar a reflexão dos alunos a respeito da divulgação e do fazer científico. As ideias apontadas durante a discussão foram retomadas nas aulas posteriores, reforçando os aspectos da natureza da ciência. É importante destacar que o principal objetivo da atividade é levar os alunos a refletir sobre os aspectos que permeiam a natureza da ciência (ALLCHIN, 2013), o que de fato foi alcançado.

7.2 Respostas ao questionário

Assim como descrito no capítulo de metodologia, ao final da primeira aula os alunos receberam um questionário via *google forms* com uma única pergunta: o que você aprendeu com essa atividade? As respostas dos alunos estão no quadro 4, na seção anexo B.

Na turma do 9º ano “A” as respostas dos alunos se concentraram principalmente na ideia de repetição de experimentos e no conceito de “provar” uma teoria. Uma das alunas respondeu da seguinte forma: “A teoria nasce com base em uma hipótese, uma forma de tentar entender e explicar algum fenômeno. Além disso, não existe provar, é preciso fazer vários experimentos e que o resultado deles não significa com exatidão que a teoria é ou não real. A ciência, que é influenciada por vários aspectos, não descobre a verdade absoluta, ela tenta criar um modelo para explicar o que acontece na natureza”, mostrando um ótimo entendimento das reflexões propostas na aula.

As respostas dos alunos da turma do 9º ano “B” também abordaram o conceito de prova de uma teoria. Um dos alunos mais ativos na discussão em sala respondeu: “Que nada é certo, e sim menos errado. A maior das provas pode ser “verdadeira” até que se prove o contrário. Mesmo com milhões de experimentos certos por somente um errado algo já não é mais certo. A ciência nunca está certa ou tenta chegar à perfeição e sim tentar estar menos errada de acordo com o que ele está tentando analisar e tirar uma conclusão”. Outro aluno abordou aspectos de falseabilidade em sua resposta: “Na ciência, na tentativa de explicar alguns fenômenos, são realizadas teorias que não se provam, mas apenas realizam experimentos para demonstrar a aplicação daquela teoria. Pois com o avanço da ciência, é possível que seja demonstrado que uma teoria não é válida ou que ela não está totalmente correta”. Uma outra aluna respondeu “aprendi que os experimentos científicos podem não estar corretos e que é (sic) necessário várias tentativas e, mesmo assim, o conhecimento adquirido pode estar errado ou certo até que se prove o contrário (em ambos os casos). Aprendi também que a ciência pode não estar certa até mesmo hoje e que uma má interpretação de palavras junto com uma má “publicidade” pode privar o mundo de um novo conhecimento”, o que demonstra certo entendimento sobre a forma como as teorias científicas se comportam, além uma crítica à forma como algumas delas são divulgadas.

De maneira geral os alunos que responderam ao questionário apresentaram uma noção menos distorcida da ciência, que era um dos principais objetivos dessa atividade. Ainda assim, alguns alunos se ativeram a detalhes

mais banais, como, por exemplo: “aprende (sic) que apesar da facilidade que temos hoje para interagir com a eletricidade no passado (sic) era algo praticamente impossível”.

7.3 Trabalhos de divulgação científica

Assim como descrito no relato de aplicação, no capítulo 6, alguns alunos não compreenderam a proposta de avaliação. Em alguns trabalhos, ao invés de explicar somente um fenômeno ou comunicar apenas um tema, os alunos fizeram um compilado de várias pequenas explicações dos temas propostos em aula. Ademais, muitos dos trabalhos foram cópias de sites e de materiais já existentes na internet. O plágio existiu também nos trabalhos dos alunos que compreenderam a proposta e produziram materiais sugerindo seus próprios temas de escolha. Esse resultado obtido está muito relacionado com o período em que a sequência didática foi aplicada, por conta da pandemia e das aulas online, os casos de plágio e cola aumentaram enormemente. É importante salientar que o resultado obtido também pode ter sido fruto da falta de maturidade acadêmica dos alunos do ensino fundamental e do curto tempo dedicado à execução da proposta. Por conta dos vários trechos copiados, a avaliação da aprendizagem dos alunos sobre os conceitos de carga elétrica e corrente elétrica através dos trabalhos ficou bastante comprometida.

Após a aplicação da sequência, em data previamente determinada pela coordenação, os alunos fizeram uma avaliação multidisciplinar com questões voltadas para este conteúdo. Apesar disso, por uma limitação da coordenação escola, não tive acesso aos erros e acertos dos alunos, somente as notas globais (que envolvem todas as disciplinas da série, não somente a Física). Por isso, o desempenho dos alunos nessa avaliação não pode ser utilizado como instrumento de verificação de aprendizagem. Algumas questões da prova foram construídas de forma a remeter ao tema da sequência, as questões são disponibilizadas no Apêndice C: questões da avaliação multidisciplinar.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A sequência didática pensada neste trabalho se mostrou um bom instrumento para fomentar discussões sobre a natureza da ciência. A atividade histórico-investigativa teve bons resultados e certamente contribuiu para que os alunos tivessem uma visão menos distorcida da ciência e do fazer científico. Apesar disso, para que o aluno se aproprie desses conhecimentos, é imprescindível que sejam expostos a outras atividades que abordem as características da natureza da ciência ao longo de sua formação. Uma única atividade, em uma única ocasião, dificilmente cumprirá esse papel.

Aliada à proposta de fomentar a discussão sobre aspectos de natureza da ciência, a temática dos raios em tempestades se mostrou um bom instrumento para despertar o interesse inicial dos alunos sobre os temas de eletrostática e eletrodinâmica. Como os raios estão presentes na vida dos alunos e, também, muito presentes na cultura popular, muitas dúvidas surgiram a partir da contextualização com esse fenômeno, principalmente em relação ao funcionamento dos para-raios.

Os experimentos propostos, apesar de sua simplicidade, cumpriam a função de proporcionar a “visualização” dos fenômenos de eletrização, atração e repulsão elétrica, o que facilitou o entendimento por parte dos alunos. Uma outra função dos experimentos nessa sequência foi também despertar o interesse dos alunos sobre o assunto, o que, em partes, foi contemplado.

É importante enfatizar que a sequência didática e os experimentos propostos tiveram a intenção de introduzir o assunto e despertar o interesse dos alunos ao tema, uma vez que as aulas são direcionadas a alunos do nono ano do ensino fundamental. Os conteúdos de eletrostática e eletrodinâmica voltarão a ser trabalhados na segunda série do ensino médio, desta vez com mais profundidade e com mais formalismo matemático. Desta forma, a presença desse conteúdo no ensino fundamental cumpre a um propósito diferente daquele do ensino médio.

Outro ponto a ser salientado nessa conclusão é que a aplicação da sequência didática foi bastante impactada pelo regime híbrido de ensino. Como descrito na seção 1.4, em decorrência da pandemia de coronavírus, haviam

limitações quanto à presença de todos os alunos em sala de aula. Em decorrência da participação de forma online, muitos alunos certamente não se engajaram da melhor forma nas atividades propostas e não foram impactados pelas discussões e experimentos sugeridos. O prejuízo em questão não é exclusividade deste trabalho, tendo sido sentido pelos professores em sua totalidade. Apesar disso, é perceptível que as metodologias utilizadas na sequência, ainda que no formato híbrido, trouxeram resultados melhores do que os que seriam obtidos a partir de aulas estritamente expositivas.

Apesar de ter sido construído de modo a respeitar certas limitações, o trabalho apresentou propostas que podem ser facilmente adaptadas por outros professores. A narrativa investigativa, embora tenha sido apresentada dentro da sequência didática descrita, pode ser aplicada outros momentos e, também, em outras séries da educação básica. Por fim, espera-se que esse trabalho possa contribuir com outros professores em suas práticas educacionais no futuro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLCHIN, D. Historical inquiry cases for nature of Science learning. *Cadernos de História da Ciência*, v. 13, n. 2, 2017.

ALLCHIN, D. Teaching the nature of science: perspectives and resources. St. Paul, MN: SHiPS Education Press, 2013. 310 p.

ANDRADE, F. A. L., BARBOSA, G. F., SILVEIRA, F. L., & SANTOS, C. A. Recorrência de concepções alternativas sobre corrente elétrica em circuitos simples. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 40, n. 3, 2018.

ARAUJO, M. S. T., ABIB, M. L. V. S. Atividades Experimentais no Ensino de Física: Diferentes Enfoques, Diferentes Finalidades. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, vol. 25, n. 2, junho, 2003.

BRASIL. Ministério da Educação. Base Nacional Comum Curricular. Brasília, 2018.

CARVALHO, A. M. P. As práticas experimentais no ensino de Física. In: _____ (org.). *Ensino de Física. Coleção Ideias em Ação*. São Paulo: Cengage Learning, 2010.

CARVALHO, A. M. P., SASSERON, L. H. Abordagens histórico-filosóficas em sala de aula: questões e propostas. In: CARVALHO, A. M. P. (org.). *Ensino de Física. Coleção Ideias em Ação*. São Paulo: Cengage Learning, 2010.

COORAY, V. *An Introduction to Lightning*. Dordrecht: Springer, 2015.

FORATO, T. C. M., PIETROCOLA, M., MARTINS, R. A. Historiografia e natureza da ciência na sala de aula. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 28, n. 1: p. 27-59, abr. 2011.

FRANKLIN, B. *Experiments and observations on electricity, made at Philadelphia in America*. 4th ed. London: [s.n.], 1769.

GRIFFITHS, D. J. *Eletrodinâmica*. 3.ed. São Paulo: Pearson Addison Wesley, 2011.

HEILBRON, J.L. *Electricity in the 17th and 18th centuries – a study of early modern physics*. University of California Press: Berkeley/ Los Angeles/ London, 1979.

JARDIM, W.T., GUERRA, A. 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, dez. 2017.

LABURÚ, C. E., SILVA, O. H. M. DA, & BARROS, M. A. Laboratório caseiro para raios: um experimento simples e de baixo custo para a eletrostática. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 25, n.1, p. 168–182, abr., 2008.

LOPES, R. F. Uma introdução ao ensino da eletrodinâmica por meio de roteiros, para alunos do ensino fundamental II e a confecção do manual de auxílio. Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas, Campus Manaus Centro, Manaus, 2017.

MARMO, C. N., FERRER, L. C. *Ensino Fundamental 2: Física 9º ano*. 1. ed. São Paulo: SOMOS Sistemas de Ensino, 2019.

MARTINS, A. F. P. História e filosofia da ciência no ensino: há muitas pedras nesse caminho. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 24, n.1, p.112–131, 2007.

MAZUR, V., “Principles of Lightning Physics”, IOP Publishing, 2016.

MOURA, B. A. 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.

MOURA, B. A. BONFIM, T; Benjamin Franklin e a formação de temporais com raios e trovões: tradução comentada de uma carta a John Mitchel. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, Florianópolis, v. 34, n. 2, p. 460-478, ago. 2017.

MOREIRA, M. A. *Teorias de aprendizagem*. São Paulo: Editora pedagógica e universitária, 1999.

NUSSENZVEIG, H. M.; *Curso de Física Básica*, Vol. 3, 2 ed, São Paulo: Edgard Blucher, 2015.

PACCA, J., FUKUI, A., BUENO, M., COSTA, R., VALÉRIO, R., & MANCINI, S. Corrente elétrica e circuito elétrico: Algumas concepções do senso comum. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 20, n. 2, p. 151–167, 2003.

PÉREZ, D. G., MONTORO, I. F., ALÍS, J. C., CACHAPUZ, A., & PRAIA, J. (2001). Para uma imagem não deformada do trabalho científico. *Ciência & Educação (Bauru)*, v. 7, n. 2, p. 125–153, 2001.

PINTO JR. O. *A arte da guerra contra os raios*. São Paulo: Oficina de Textos, 2005.

RAKOV, V. A, UMAN, M. A. 2007. *Lightning: Physics and Effects*. Cambridge. University Press. Cambridge, 2003.

SABA, M. M. F. A Física das Tempestades e dos Raios: Questões e dúvidas frequentes. *A Física na Escola*, v. 2, n. 1, 2001.

SANTOS, F.Q. Uso da filosofia e história da ciência e ensino das 1ª e 2ª leis de Ohm. Dissertação (Mestrado Nacional Profissional de Ensino de Física) – Instituto de Ciências Exatas, Universidade Federal Fluminense. Volta Redonda, 2017.

SASSERON, L. H. Alfabetização científica, ensino por investigação e argumentação: relações entre ciências da natureza e escola. *Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências*, v. 17, p. 49-67, 2015.

SCHIFFER, M., HOLLENBACK, K., BELL, C. *Draw the Lightning Down: Benjamin Franklin and Electrical Technology in the Age of Enlightenment*. University of California Press: Berkeley/ Los Angeles/ London, 2003.

SILVA, C. C.; PIMENTEL, A.C. Uma análise da história da eletricidade presente em livros didáticos: o caso de Benjamin Franklin. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 25, n. 1: p.141-159, abr. 2008.

SILVA, C. C.; PIMENTEL, A.C. As atmosferas elétricas de Benjamin Franklin e as interações elétricas no século XVIII. In: MARTINS, R.A.; SILVA, C.C.; FERREIRA, J.M.H.; MARTINS, L.A.C.P. (eds.). *Filosofia e história da ciência no cone sul – seleção de trabalhos do 5º encontro*. Campinas: Associação de Filosofia e História da Ciência do Cone Sul, 2008a.

SILVA, C. C. (Org.). *Estudos de História e Filosofia das Ciências: subsídios para a aplicação no ensino*. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2006.

ANEXOS E APÊNDICES

Anexo A: transcrição das respostas dos alunos da atividade histórico-investigativa

Os quadros a seguir reúnem as transcrições das respostas dadas pelos alunos durante a aplicação da atividade histórico-investigativa. A transcrição foi feita com base nos áudios gravados durante as aulas. Os nomes dos alunos foram omitidos e substituídos por siglas.

Quadro 2 - Transcrição das respostas dos alunos do 9º ano "A"

Aluno	Resposta
Pergunta #1	Uma única semelhança é suficiente para deduzir que esses fenômenos são iguais?
SA	É a mesma coisa de quando achavam que o Sol gira em torno da Terra
JA	É tipo o negócio dos triângulos semelhantes, eles não são iguais mas tem semelhanças
LA	Uma semelhança não é suficiente, porque pode ter uma coisa igual e o resto ser diferente
Pergunta #2	O que você poderia fazer para identificar outras semelhanças entre eles?
SA	Ver como elas são formadas
SA	Observar por mais tempo
CA	Ver se esses mesmos raios que saem da máquina conseguem passar por meios metálicos
DA	Ver o alcance dos raios de eletrostática
Pergunta #3	As semelhanças apontadas por Nollet são suficientes para confirmar que os fenômenos são da mesma natureza?
JA	Eu e a Larissa com certeza temos 12 semelhanças e com certeza não somos iguais
CA	Existem 12 semelhanças, mas ao mesmo tempo também pode ter 12 diferenças
DA	Não Pois tem que se recriar um raio para que se prove que ele tem a mesma natureza.
Pergunta #3.1	O que vocês poderiam fazer para ver se existem diferenças?
SA	Mais testes
LA	Fazer vários testes, ficar anos estudando
CA	Fazer igual aquele carinha lá da pipa
LA	Os raios... as faíscas causadas pela máquina são geradas por atrito e os raios são causados pela tempestade. As faíscas da máquina não precisam de uma tempestade pra acontecer.

CA	Pegar a energia do raio e essa [gerada pelo gerador], juntar as duas e ver se elas são compatíveis
Pergunta #4	Como Franklin e Hopkinson poderiam comunicar suas descobertas a outras pessoas que estudam eletricidade?
GA	Mandar uma carta falando: então, eu descobri uma coisa
CA	Mandar cartas
SA	Avisar para o governo
DA	Expor nas ruas, expor numa grande feira de ciências
JA	you disse que eles se comunicavam por cartas, então
AA	ele poderia colocar na biblioteca lá não
Pergunta #4.1	Qual a importância de comunicar uma nova descoberta?
IA	Para juntar ideias
SA	é importante ter um novo ponto de vista
GA	Por que eu fiz o meu experimento e deu isso, ai a SA também fez o mesmo experimento só que o dela deu outro resultado, ai juntando a gente consegue ver o que a gente fez de diferente
SA	Eu posso ter uma ideia de um outro experimento que a GA não teve
Pergunta #4.2	A solução mais apontada foi mandar uma carta, mas mandar carta para quem?
CA	Para a sociedade internacional de ciências
LA	Tinha jornal na época? Anuncia no jornal
SA	Imagina alguém receber uma carta aleatória de um cara de américa que eu nem sei o que ele faz
JA	então mandava pra Europa, para virar aceito pela comunidade científica como algo que faz sentido
DA	viaja pra lá e expor o experimento lá
AA	ele n tinha recebido uma carta da Alemanha?
JA	manda carta pro cara que queria as sementes
IA	ele não conhecia ninguém na Europa?
DA	seguinte te passo umas sementes ai tu me descola um lugar pra eu apresenta meu trabalho
Pergunta #5	Nessa época se sabia que a eletricidade podia ser obtida através da fricção de dois materiais, como no gerador eletrostático de Hauksbee. A partir dessa ideia, como poderíamos explicar a eletrização das nuvens?
LA	As nuvens colidem entre si e "boom"
AA	A temperatura desse local teria alguma relação?
LA	O sal tem alguma relação?
CA	O atrito das nuvens junto com o sal cria eletricidade, ou algo assim

SA	O atrito da nuvem com a água
DA	O movimento das nuvens e o atrito da água gera energia
AA	Se uma nuvem se choca com a outra, depende da temperatura, e tem tanta energia que tem que descarregar em algum lugar
Pergunta #6	Como Franklin poderia testar se sua teoria estava correta?
CA	Ele poderia pegar uma porção de água salgada e mexer até ficar eletrizado
GA	Ele poderia mandar uma carta lá para aquele lugar e mandar que ele queria testar
GA	Ele precisaria de uma grande quantidade de pessoas para provar aquilo. Porque assim, se eu quero provar uma coisa eu quero que as pessoas acreditem na minha palavra, não só tipo falando, mas mostrando que aquilo está certo
GA	Mas a teoria é da cabeça dele, né? Ele já tinha confirmação de que aquilo era certo?
LA	Atirar na água pra ver se explode
AA	Pega esses experimentos que descobriram que dava pra fazer esses raios, só que usa água com sal para tentar gerar as faíscas
Pergunta #7	O que pode determinar se uma teoria é certa ou errada?
GA, SA, LA, IA	O teste!
SA	O pensamento científico
GA	Se eu estou com uma teoria na cabeça, aí eu vou testar ela, aí deu certo na primeira, eu já posso falar que aquilo tá certo? Porque na minha opinião eu acho que não, acho que tem que passar mais um tempinho testando, com outros materiais
Pergunta #7.1	É um consenso de que um teste não é suficiente. Quantos testes eu preciso fazer?
GA	Vários!
CA	Um milhão de testes
JA	Umas trezentas
LA	Precisa discutir com outros cientistas
CA	Precisa fazer avaliações do seu experimento
Pergunta #7.2	Se eu fizer o mesmo experimento várias vezes, eu vou ter o mesmo resultado, isso prova que a minha teoria está correta?
GA	Tem que testar com outros materiais também
SA	É igual a primeira pergunta, se uma semelhança só é suficiente. Um teste só, não dá certo.
Pergunta #8	Na impossibilidade de realizar o experimento, o que Franklin poderia fazer para testar sua ideia?
LA	Poderia usar um avião

SA	Acho que uma coisa que poderia servir... Ele poderia usar um para-raios?
IA	Constrói um prédio
LA	Usa a pipa!
AA	Usa um balão de ar quente
Pergunta #9	O sucesso do experimento idealizado por Franklin prova que sua teoria estava correta?
SA	Não.
GA	Eu acho que não, também.
CA	Só prova que tem como tirar o fluido elétrico.
Pergunta #10	Você acha que o experimento pensado por Franklin pode apresentar algum risco para quem o realiza?
Vários alunos	Sim!
Pergunta #11	O que pode ter motivado a má recepção da ideia do para-raios?
GA	A ideia não é assim... O para-raios ele chama né, ele atrai o raio.
IA	Não, ele afasta.
GA	Não, se aqui tem um para-raios e em volta não tem nada, é mais provável que o raio caia aqui né, no para-raios.
IA	Mas não tinha como ele saber que realmente iria cair ali.
SA	Mas era essa ideia dele de botar e atrair, não foi?
LA	Eles não ficaram com medo de outras pessoas morrerem?
Pergunta #12	O que poderia ser feito para convencer as pessoas da época de que a haste fornece proteção para os prédios?
SA	Uma demonstração
GA	Mas perai, o para-raios não é pra chamar o raio... Não é tipo, pro raio cair ali, e não em outro lugar? Então por que seria uma proteção pro prédio?
SA	Convencer as pessoas, convencer o Nollet
GA	Fazer fofoca
JA	Publicar no jornal

Fonte: Elaborado pelo autor com base nos áudios das aulas gravadas.

Quadro 3 - Transcrição das respostas dos alunos do 9º ano "B"

Aluno	Resposta
Pergunta #1	Uma única semelhança é suficiente para deduzir que esses fenômenos são iguais?
CB	Não!
IB	Acho que não.
RFB	Não, uma semelhança não é suficiente pra dizer que algo é igual a outro.

RMB	Ele disse que as faíscas eram parecidas com os raios, mas não tem uma bola girando no céu.
Pergunta #2	O que você poderia fazer para identificar outras semelhanças entre eles?
Vários alunos	Pesquisar mais.
NB	Pesquisar mais afundo.
CB	Pesquisas, análises e observações.
IB	Fazer mais experimentos.
PB	Fazer mais testes.
Pergunta #2.1	Quais testes poderiam ser feitos?
CB	Sei lá, vai fazendo variação, profundidade, massa...
RMB	Tipo assim, eles pegavam, vamos supor, um raio caia num pedaço de uma árvore e a árvore destruiu, destruiu tudo. Os cara pega aquela máquina lá e pega um pedaço pequeno de madeira, faz um teste menor, só que na mesma proporção do outro, pra ver se dá a mesma coisa.
CB	E se a gente observasse a origem dessas faíscas. Porque tipo, os raios (...) a origem dessas faíscas são diferentes da origem dos raios.
Pergunta #3	As semelhanças apontadas por Nollet são suficientes para confirmar que os fenômenos são da mesma natureza?
CB	Sim!
NB	Não!
RMB	Eu acho que sim, porque ele provou que tem os mesmos efeitos, né. Tem várias semelhanças, são parentes.
HB	Acho que precisa de mais provas, né. As vezes as coisas são muito parecidas, mas não são a mesma coisa.
RMB	A mesma coisa não, mas parecidos, da mesma natureza.
RFB	Acho que analisar as semelhanças não funciona. Se tem doze semelhanças, mas e as coisas que não são semelhanças? Tem que pegar isso. Se tem algumas coisas que não são semelhantes, porque você descobriu semelhanças, então tem alguma coisa que não é semelhante, sempre tem! Então você tem que analisar essas coisas também, e ver se bate ou não.
Pergunta #3.1	Qual é a diferença de apresentar uma semelhança e apresentar doze semelhanças?
RMB	Você acredita mais na que tem doze semelhanças, você passa a crer mais naquilo.
Pergunta #3.2	Mas, doze semelhanças são suficientes?
RMB	Para provar que é a mesma coisa, não, mas da mesma natureza, acho que sim.
Pergunta #3.3	Quantas semelhanças eu preciso ter para provar que duas coisas são a mesma coisa?

RRB	Não tem quantidade certa.
RMB	Só se os caras conseguirem, guardar tanta energia pra fazer tipo um trovão artificial. Acho que só assim pra saber se é totalmente igual.
Pergunta #4	Como Franklin e Hopkinson poderiam comunicar suas descobertas a outras pessoas que estudam eletricidade?
RMB	Aquele jornal lá.
HB	Mandava no whats.
MLB	Mandar uma carta.
RMB	Mandar uma carta pro mano que escreve jornal.
Pergunta #4.1	Como Franklin poderia fazer para que as descobertas que ele fez chegassem até as pessoas que estudavam eletricidade?
NB	Não era mais fácil ele escrever um livro e mandar?
MB	E se ele fizesse panfletos?
IB	Seria por navio?
Pergunta #5	Nessa época se sabia que a eletricidade podia ser obtida através da fricção de dois materiais, como no gerador eletrostático de Hauksbee. A partir dessa ideia, como poderíamos explicar a eletrização das nuvens?
RMB	Gelo. Choque de gelo, podia ser esse gelo, granizo né, podia ser eles que estavam tendo atrito lá.
IB	Quando elas estão carregadas de chuva, daí elas se encostam, daí elas ... não solta raio?
RFB	Eu me lembro que era assim, quando a chuva evapora ela sobe bastante e quanto mais vai juntando água, ela vai cada vez mais condensando, por causa da altura, aí acontece a chuva, que é a nuvem caindo, basicamente. Então, tem algumas partes que viram gelo e continuam na nuvem ainda assim, então, normalmente, o raio acontece quando existe a fricção muito rápida de dois pedaços de gelo que estão dentro da nuvem, que dá a eletricidade através da fricção.
Pergunta #6	Como Franklin poderia testar se sua teoria estava correta?
RMB	Ele poderia ver se o sal da água ... "coisasse" a água
RMB	Acho que pegar duas pedras de sal grandes assim e botar elas numa bacia, num copo, alguma coisa assim, pegar dois palitos e esfregar bastante lá dentro e depois evaporar essa água.
IB	O sal não vai se dissolver na água? E daí ia subir, ia evaporar, o sal ia ficar ou ele ia junto? Então de que adianta por sal?
Pergunta #7	O que pode determinar se uma teoria é certa ou errada?
CB	Experimentos!

NB	Observação!
RMB	Criar teorias e testar.
CB	É porque, tipo assim, olha só, que nem os terra-planistas, por exemplo, eles colocam a régua lá na praia, isso é um experimento, mas não quer dizer que a Terra é plana. Eles veem que o céu gira em volta da Terra, que o Sol gira em volta da Terra pelo céu, isso é um experimento, só que continua não querendo dizer que a Terra é plana. Então você tem que saber interpretar o seu experimento.
Pergunta #7.1	Vamos supor que a gente fez vários experimentos, interpretamos os experimentos, e esses experimentos todos apontaram que a teoria estava correta. Isso quer dizer que a teoria está correta? Quantos experimentos eu preciso fazer para confirmar uma teoria?
NB	Vários!
RMB	Eu acho que é impossível. Para confirmar 100%, é impossível.
CB	Você teria que tentar fazer o máximo possível de experimentos, que até uma pessoa tentar duvidar dela porque se ninguém duvidar ou se ninguém tiver uma dúvida além daquilo ali, por enquanto seria certo, seria conclusiva a teoria, até alguém vir com uma ideia diferente ou um erro que você ainda não fez.
MGB	Vamos pegar a participação de outros físicos, se outros físicos fizerem o mesmo experimento e tiverem o mesmo resultado, quer dizer que está correto.
RMB	O exemplo que eu pensei, tipo assim, se você pegar um computador e ele tá com vírus, a solução pra você resolver isso é instalar antivírus. Se o antivírus for a coisa certa, resolveu, se não vai precisar formatar o computador. Não deu certo formatar o computador, se ele continuar com problema, você vai pensar que as peças do computador que são erradas. Você vai ver que tem alguma coisa errada lá, porque não tem mais no que mexer. Você vai vendo peça por peça. No mundo assim, acho que vai ter variantes, mas não são parâmetros infinitos que podem acontecer. Mas são quase infinitos, por isso eu acho que é impossível provar 100 %.
Pergunta #8	Na impossibilidade de realizar o experimento, o que Franklin poderia fazer para testar sua ideia?
CB	Pipa!
NB	Achar outra forma de fazer o experimento.
MEB	Desistir.
Pergunta #9	O sucesso do experimento idealizado por Franklin prova que sua teoria estava correta?
RMB	Não!

CB	Por enquanto, sim.
RMB	Ele falou que o sal da água (...), mas e o lugar que não tem mar por perto? Tipo Brasília, só tem rio.
Pergunta #10	Você acha que o experimento pensado por Franklin pode apresentar algum risco para quem o realiza?
Vários alunos	Sim!
CB	Com certeza!
Pergunta #11	O que pode ter motivado a má recepção da ideia do para-raios?
CB	O risco que traz quando você usa ele. E tipo, deve ter pegado muito mal quando o Georg morreu, então as pessoas ficaram meio receosas de usar isso e acabar com o mesmo fim dele.
Pergunta #12	O que poderia ser feito para convencer as pessoas da época de que a haste fornece proteção para os prédios?
PB	Mostrando para todo mundo que não perigo.
NB	Faz uma reunião (...) vai testando, ai tipo assim, chega na parte que você que vê que consegue, sabe? Ai se der errado, deu errado. Mas se der certo, deu certo.
RMB	O objetivo não era cair o raio, é só falar isso. O objetivo daquela haste não era cair o raio nela, era só pegar a eletricidade da nuvem.
NB	Por que não pega um líder de cada coisa e mostra pra eles? Geralmente quando um líder fala, todo mundo acredita.
CB	E se ele fizesse o experimento, mas tipo assim, demonstrando o que que o "tiozinho" fez de errado e pra provar que ele tem certeza que não é perigoso, que o "negocinho" protege, ele usaria um para-raios na casa dele, pra falar: eu não tenho medo, porque eu sei que não vai trazer risco pra mim.

Fonte: Elaborado pelo autor com base nos áudios das aulas gravadas.

Anexo B: Respostas ao questionário

O quadro a seguir reúne todas as respostas recebidas no questionário enviado ao final da aplicação da atividade histórico-investigativa. As respostas estão disponibilizadas na íntegra, conforme enviadas pelos alunos. Os nomes dos alunos foram omitidos.

Quadro 4 - Respostas ao questionário

Série/turma	O que você aprendeu com essa atividade?
9º ano A	Com a atividade, aprendi sobre um pouco da história da energia, como foi visto, era muito difícil chegar em algo que realmente fosse aceito, pois o único ponto de partida que os cientistas daquela época tiveram, eram os raios que aconteciam em tempestades, houveram varias teorias, que foram evoluindo ao longo dos anos, como as de Benjamin Franklin, que a partir de uma carta alemã, dedicou um bom tempo estudando fazendo experimentos e observações em relação aos raios.
9º ano A	Eu gostei bastante desse conteúdo aprendi muita coisa sobre Benjamin Franklin que foi o primeiro a projetar um experimento para tentar provar a natureza elétrica do relâmpago, sobre a origem dos raios e etc.
9º ano A	Por mais que eu não tenha aprendido nada pelo o que eu possa lembrar, foi uma atividade interessante e intrigante de participar, porque tínhamos que quebrar a cabeça tentando responder as perguntas. Isso estimula a criatividade e o raciocínio lógico, fazendo nós criarmos situações para respondermos o que a nós foi imposto e ter uma pequena experiência de como é ser um cientista. Eu genuinamente apreciaria se tivéssemos mais atividades como essa.
9º ano A	Na atividade foi discutido muito sobre o assunto do procedimento científico e como vamos provar se uma coisa é verdadeira apenas por conta de um fato ou 2, ou 7 e o que eu aprendi foi uma maior experiência nesse método e como se aprofundar cada vês mais perto de resposta concreta.
9º ano A	Com essa atividade, reaprendi os conceitos que havia esquecido faz tempo, como por exemplo, o motivo de raios ocorrerem.
9º ano A	Então né, assim, na aula seguinte eu já não lembrava de metade da história mais, porém eu aprendi que para uma "descoberta" ser realmente aceita, e para saber se aquilo é realmente certo, precisa passar pela fase da formação da hipótese e da prática, passando por diversos testes para ter certeza de que algo está certo. Por exemplo, experimento de Franklin era bem simples, mas muito perigoso, tanto que levou a morte de alguém, e perdeu um pouco de sua credibilidade

	para testar o para raio no topo dos prédios, pois as pessoas estavam com medo.
9º ano B	Que nada é certo, e sim menos errado. A maior das provas pode ser "verdadeira" até que se prove o contrario. Mesmo com milhões de experimentos certos por somente um errado algo já não é mais certo. A ciência nunca esta certa ou tenta chegar a perfeição e sim tentar estar menos errada de acordo com oque ele esta tentando analisar e tirar uma conclusão.
9º ano B	Na ciência, na tentativa de explicar alguns fenômenos, são realizadas teorias que não se provam, mas apenas realizam experimentos para demonstrar a aplicação daquela teoria. Pois com o avanço da ciência, é possível que seja demonstrado que uma teoria não é valida ou que ela não está totalmente correta.
9º ano B	Aprendi que os experimentos científicos podem não estar corretos e que é necessário várias tentativas e, mesmo assim, o conhecimento adquirido pode estar errado ou certo até que se prove o contrário (em ambos os casos). Aprendi também que a ciência pode não estar certa até mesmo hoje e que uma má interpretação de palavras junto com uma má "publicidade" pode privar o mundo de um novo conhecimento.
9º ano B	eu consegui aprender que não importa o tanto de experiências que você faz nem sempre aquilo estará certo, Sempre terá algo a mais pra se descobrir.
9º ano B	Aprende que apesar da facilidade que temos hoje para interagir com a eletricidade no pasado era algo praticamente impossível e eu não imaginava que haviam criado esperimentos incríveis e perigosos como o esperimento da quarita para provar suas hipótese ou até mesmo de forma acidental como a garrafa de Leiden também foi uma surpresa quando descobre que uma tese está correta apenas até que se prove o contrário eu imaginava que se uma tese fosse provada correta ela seria considerada a verdade e que isso não mudaria mas percebi que estava enganado
9º ano B	Deu para aprender muita coisa sobre a historia de Benjamin Franklin. E muitos experimentos doidos que eram feitos para varias explicações. Mas também, tinham várias teorias muito engraçadas, para coisas que eles não sabiam.
9º ano B	Benjamin Franklim nos ensinou que tudo é possível e que só basta a gente tentar e não desistir das coisas que você procura. Através de formulação de hipóteses, ele fez um experimento para comprovar sua teoria, com apenas uma pipa para atrair a energia dos raios e utiliza-la a seu favor

9º ano A	Aprendi que não se deve parar em um ponto confortável quando se trata de uma teoria, e que não se deve ser arrogante em relação ao que você sabe, afinal por mais que você conheça parte do assunto, você com certeza não sabe tudo, portanto sempre devemos procurar saber cada vez mais em vez de pensar que não há mais nada para se aprender
9º ano B	Gostei bastante da atividade. Gostei muito dos debates, pois entre eles criamos muitas teorias que sejam possíveis. Foi diferente essa experiência. O assunto da aula foi bastante legal, eu gostei...
9º ano B	Aprendi como as pessoas pensavam que funcionava a eletricidade antigamente, e vi o quanto evoluímos.
9º ano A	A teoria nasce com base em uma hipótese, uma forma de tentar entender e explicar algum fenômeno. Além disso, não existe provar, é preciso fazer vários experimentos e que o resultado deles não significa com exatidão que a teoria é ou não real. A ciência, que é influenciada por vários aspectos, não descobre a verdade absoluta, ela tenta criar um modelo para explicar o que acontece na natureza.
9º ano B	Nessa atividade eu aprendi que, uma única semelhança não é capaz de mostrar que algo é igual a outro, podem ser coisas parecidas, porém, com princípios diferentes. Também aprendi que a eletrostática é por causa de fricções (ex: as descargas elétricas e o choque que sentimos com outros objetos também vem da eletrostática), descobri que durante a tentativa de análise do raio das nuvens também teve um importante fenômeno que desencadeou a criação de para-raios. Aprendi também que Benjamim Franklin, a pessoa que fez os estudos sobre o assunto, virou no futuro um dos líderes da independência americana, e hoje é considerado um dos Founding Fathers.

Fonte: Elaborado pelo autor com base nas repostas enviadas pelos alunos

Apêndice A: narrativa histórico-investigativa

O texto a seguir é uma narrativa histórico-investigativa produzida a partir da adaptação do episódio histórico da descoberta da natureza elétrica dos raios. A ideia da atividade é que o professor leia a narrativa para os alunos e faça pausas nos momentos de reflexão para que eles possam discutir. Para facilitar a discussão, os alunos podem ser colocados em grupo pequenos, de duas a cinco pessoas. Para que o desenvolvimento da atividade seja o mais proveitoso possível, o professor deve adotar uma postura na qual os alunos são os principais atores da aula e a narrativa dele deve servir apenas para dar as informações necessárias e motivar os alunos a participem da aula. Além disso, o professor tem a função de monitorar o engajamento dos alunos e direcionar a discussão, dando novas informações e apontando as lacunas deixadas pelos alunos (quando necessário). Com essa atividade espera-se que os alunos sejam capazes de compreender aspectos inerentes a natureza da ciência e do fazer científico.

Hoje vamos acompanhar uma história que aconteceu no século XVIII, nessa época as maiores potências do mundo eram a França e Grã-Bretanha. Não existiam telefones ou carros, as pessoas se locomoviam em carroças e carruagens e se comunicavam por cartas. Apesar disso, o século XVIII é conhecido pelo grande avanço nas ciências e nas artes.

O primeiro personagem que vamos conhecer se chamava Francis Hauksbee, ele era inglês e viveu entre os anos de 1687 a 1763. Hauksbee fazia experimentos com o que chamamos de gerador eletrostático, ao atritar sua mão com uma luva contra uma esfera de vidro, ele observou pequenas faíscas. De acordo com ele, essas faíscas eram bem parecidas com os raios durante tempestades. Uma outra pessoa também teve a mesma percepção foi Stephen Gray, em 1735. Ele também notou que essas faíscas eram muito parecidas com os raios.

REFLEXÃO 1: Uma única semelhança é suficiente para deduzir que esses fenômenos são iguais?

REFLEXÃO 2: O que você poderia fazer para identificar outras semelhanças entre eles?

Em 1735 tivemos a invenção da garrafa de Leiden, com este equipamento era possível produzir descargas elétricas muito mais intensas. A partir disso, as comparações entre os raios em tempestades e os efeitos provocados pela eletricidade produzida em laboratório se tornaram ainda mais comuns. As descargas produzidas pelas garrafas produziam, além da luz, sons parecidos com os trovões. Dois outros personagens dessa história, Benjamin Martin e Jean-Antoine Nollet, procuraram outras semelhanças entre os raios e as faíscas elétricas. Nollet desenvolveu uma série de experimentos e escreveu uma lista de 12 semelhanças entre eles.

1. Produz luz
2. A cor da luz
3. Direção “torta”
4. Movimento rápido
5. São conduzidos por metais
6. Barulho causado na “explosão”
7. Persistir na água ou gelo
8. Rasga os corpos ao passar por eles
9. Destrói animais
10. Derrete metais
11. Inicia chamas em substâncias inflamáveis
12. Odor sulfuroso

REFLEXÃO 3: As semelhanças apontadas por Nollet são suficientes para confirmar que os fenômenos são da mesma natureza?

Uma outra pessoa que também fez contribuições importantes a essa história foi Benjamin Franklin. Sim, ele mesmo, o rosto da nota de 100 dólares. Apesar de sua grande relevância nos dias de hoje, os Estados Unidos ainda eram uma colônia da Grã-Bretanha e ainda não possuíam muita relevância internacional. Nessa época a Europa era o centro do mundo e é de lá que viam as grandes decisões. Franklin tinha uma gráfica e trabalhava com a publicação de jornais, revistas e panfletos, sendo alguns desses materiais de sua autoria. Ele era bastante estudioso e gostava de estudar sobre vários assuntos diferentes, ele fazia parte de um grupo chamado “JUNTO”, formado por vários

homens também intelectuais. Junto com esses amigos, Franklin criou uma biblioteca de subscrição, a Library Company. Era através da Library Company que Franklin conseguia ter acesso aos diversos materiais produzidos na Europa.

O primeiro contato de Franklin com a eletricidade aconteceu em 1743, quando ele viu uma demonstração pública de experimentos elétricos. Alguns anos depois, em 1745, a Library Company recebeu uma revista alemã com a descrição de alguns experimentos e um tubo de vidro com instruções de como utilizá-lo. O tubo foi enviado por Peter Collinson, um botânico britânico que costumava contribuir com a biblioteca. A partir daí, Franklin começou a fazer vários experimentos com seus amigos. Seu interesse pelos fenômenos elétricos cresceu de forma que Franklin começou a desenhar seus próprios experimentos e montar aparatos para que eles pudessem ser realizados. Nesse processo, uma descoberta foi feita por um de seus colegas, Thomas Hopkinson descobriu o “poder das pontas”. Hopkinson percebeu que corpos pontudos tinham o poder de extrair e lançar o fogo elétrico.

REFLEXÃO 4: Como Franklin e Hopkinson poderiam comunicar suas descobertas a outras pessoas que estudam eletricidade?

A fim de compartilhar as coisas que descobriu e os experimentos novos que fez, Franklin começou a se corresponder com Collinson por cartas. Collinson levou as cartas de Franklin à Royal Society, uma das comunidades científicas mais relevantes da época.

Além de descrever seus experimentos, Franklin também descreveu a sua teoria para explicar os fenômenos elétricos. Para ele os fenômenos eram causados por um único tipo de fluido, que podia estar em excesso ou em deficiência nos corpos. Foi da ideia de excesso e deficiência que nasceu a nomenclatura de eletricidade “mais” e eletricidade “menos”, que utilizamos até hoje. Nessa época várias pessoas estudavam eletricidade, mas ninguém sabia ao certo como esses fenômenos aconteciam. Uma das teorias mais aceitas na época era que a eletricidade era formada por dois fluidos diferentes, o vítreo e o resinoso. Essa ideia foi criada por Charles Du Fay, um filósofo natural francês.

De volta aos raios. Franklin era uma das pessoas que acreditavam que os raios em tempestades e as descargas elétricas em experimentos de laboratório

eram da mesma natureza. Em uma de suas cartas, dessa vez enviada a John Mitchel, Franklin tentou explicar como as nuvens se eletrizam e se tornam cheias de fluido elétrico.

REFLEXÃO 5: Nessa época se sabia que a eletricidade podia ser obtida através da fricção de dois materiais, como no gerador eletrostático de Hauksbee. A partir dessa ideia, como poderíamos explicar a eletrização das nuvens?

Franklin tentou explicar essa eletrização supondo que a água e o fogo elétrico se atraíam mutuamente. O oceano, feito de água e sal, era o local em que essa eletrização começava. Franklin acreditava que o atrito entre o sal e água era o que extraía o fogo elétrico e deixava a água (e seus vapores) eletrizados. A água eletrizada forma as nuvens eletrizadas que, ao entrar em contato com outras nuvens ou montanhas, descarregam o seu fogo elétrico na forma de um raio, assim como nos experimentos em laboratório.

REFLEXÃO 6: Como Franklin poderia testar se sua teoria estava correta?

REFLEXÃO 7: O que pode determinar se uma teoria é certa ou errada?

Unindo o poder das pontas e da eletrização das nuvens, Franklin teve uma ideia para testar de uma vez por todas se esses fenômenos eram da mesma natureza. Franklin desenhou um experimento que chamou de “experimento da guarita”. O objetivo desse experimento era determinar se as nuvens eram eletrizadas ou não, e se o fogo elétrico contido nela era o mesmo contido nas garrafas de Leyden. Para realizar essa tarefa, Franklin imaginou que uma ponta muito fina e muito alta poderia retirar o fogo elétrico de uma nuvem e transportá-lo para uma garrafa de Leyden. A haste seria erguida a partir de uma guarita, localizada no topo de um prédio alto. Além de extrair o fogo elétrico das nuvens, a pessoa dentro da guarita (e sobre um material isolante) poderia visualizar pequenas faíscas caso aproximasse outro objeto metálico da base da haste. Apesar de ter desenhado o experimento, Franklin não conseguiu realizá-lo.

REFLEXÃO 8: Na impossibilidade de realizar o experimento, o que Franklin poderia fazer para testar sua ideia?

Na impossibilidade de realizar o experimento da guarita, Franklin pensou em outra forma de extrair o fogo elétrico das nuvens. Ele imaginou que

a haste pontuda poderia ser colocada em uma pipa, e que essa pipa poderia ser empinada de forma que levasse a haste até a nuvem carregada. Para garantir a segurança do experimentador, Franklin sugeriu que a pessoa fizesse o experimento deveria estar protegida dentro de uma construção. Nesse experimento, o experimentador seria capaz de observar pequenas faíscas ao aproximar seu dedo de uma chave amarrada ao barbante da pipa. Apesar de sugerir o experimento da pipa em uma de suas cartas, não existem evidências de que o experimento tenha sido realizado por ele. O que Franklin não imaginava, é o primeiro experimento pensado por ele seria realizado logo mais.

Franklin descreveu sua ideia de experimento da guarita, juntamente com muitas outras ideias, em uma das cartas que enviou para Peter Collinson. A carta acabou chegando até o Conde Buffon, na França, lá ela foi traduzida para o francês por T.F.D' Alibard, que resolveu reproduzir o experimento da guarita. D'Alibard teve sucesso no experimento e conseguiu concretizar o que Franklin imaginava, ele conseguiu extrair o fogo elétrico de uma nuvem e armazená-lo em uma garrafa de Leiden.

REFLEXÃO 9: O sucesso do experimento idealizado por Franklin prova que sua teoria estava correta?

REFLEXÃO 10: Você acha que o experimento pensado por Franklin pode apresentar algum risco para quem o realiza?

Em uma outra execução do experimento, em São Petersburgo, Georg Wilhelm Richmann faleceu ao ser eletrocutado por um raio que caiu sobre a guarita. Esse triste ocorrido diminuiu o entusiasmo criado pela primeira execução (bem-sucedida) do experimento.

Na mesma carta que Franklin descreveu o experimento da guarita, ele também sugeriu que uma haste colocada no alto de um prédio poderia nos proteger dos perigos dos raios em tempestades. Isso porque a haste poderia retirar o fogo elétrico da nuvem e o levar para um lugar seguro: a Terra. Para isso, a haste colocada no alto do prédio deveria estar aterrada em sua outra extremidade, ou seja, enterrada no chão. Essa sugestão de Franklin é a primeira menção do que hoje conhecemos como o para-raios. Apesar de ter tido uma boa intenção, a ideia de Franklin não foi bem aceita por seus coetâneos.

REFLEXÃO 11: O que pode ter motivado a má recepção da ideia do para-raios?

Uma das pessoas que mais criticou o trabalho de Franklin foi Jean-Antoine Nollet, um dos principais nomes da eletricidade na época. Suas críticas se devem principalmente ao fato de que as ideias de Franklin eram conflitantes com as de Nollet. Nollet chegou até acreditar que Franklin seria uma invenção do Conde Buffon, que era um de seus desafetos. Ele achou que as cartas seriam inventadas pelo Conde para atacá-lo. No entanto, Franklin nunca respondeu a essas críticas.

Assim como sugerido por Franklin, algumas hastes foram colocadas com o intuito de fornecer proteção a construções altas, hastes essas que foram derrubadas em meio ao preconceito daqueles que temiam os efeitos que poderiam ser causados pela eletricidade vinda das nuvens. O temor foi tamanho que se chegou a supor que a eletricidade poderia se acumular no solo e causar terremotos.

REFLEXÃO 12: O que poderia ser feito para convencer as pessoas da época de que a haste fornece proteção para os prédios?

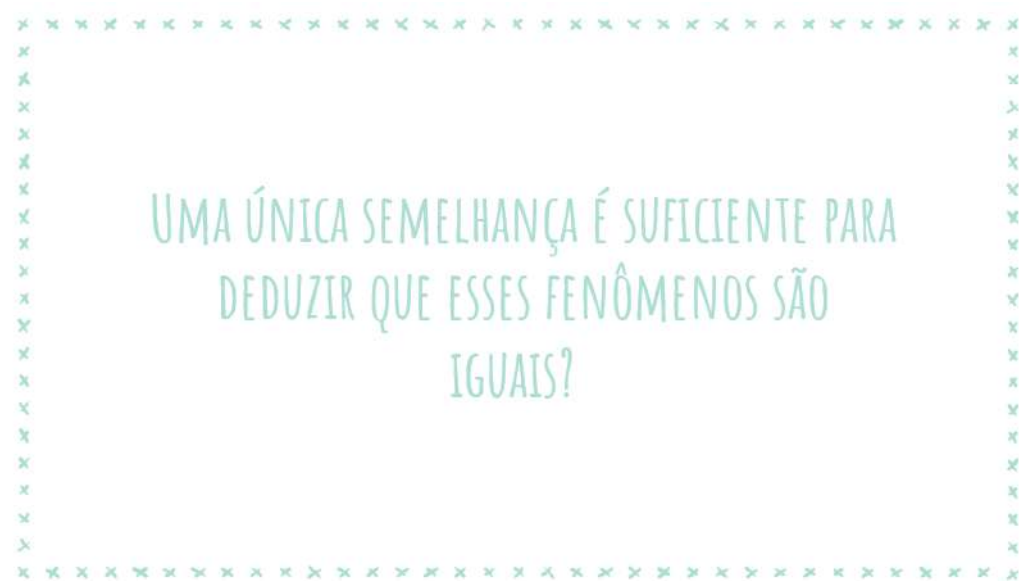
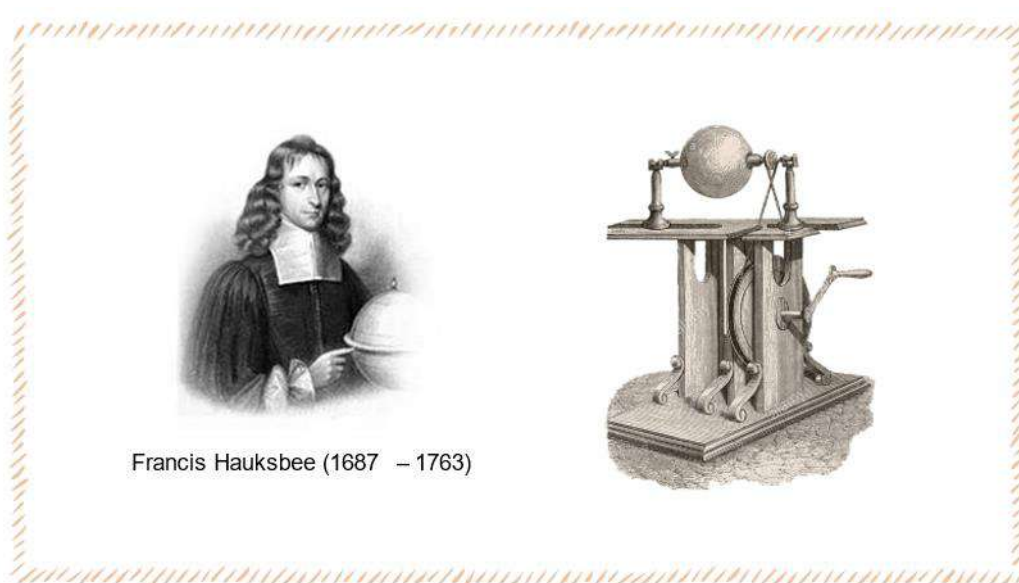
Entretanto, aos poucos o aparato foi aceito e se tornou o para-raios que temos e utilizamos até hoje.

Nos anos seguintes Franklin se dedicou cada vez menos aos estudos da eletricidade, isso porque iniciou seu caminho na carreira política. Suas cartas foram compiladas e foram publicadas no livro intitulado *Experiments and observations made at Philadelphia in America*. O livro foi traduzido para várias línguas e contém todas as ideias de Franklin sobre eletricidade.

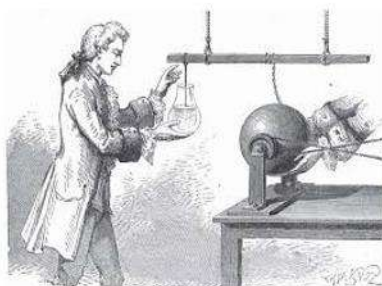
Franklin ocupou vários cargos políticos ao longo dos anos e foi um dos americanos mais importantes de todos os tempos, sendo um dos responsáveis pela independência americana muitos anos depois.

Apêndice B: slides utilizados durante a atividade histórico-investigativa

Os slides a seguir foram exibidos aos alunos durante a narrativa histórico-investigativa. As imagens foram apresentadas à medida que a história avançava para enriquecer o contexto histórico e social do episódio. As perguntas foram apresentadas nos momentos de pausa para facilitar o entendimento dos alunos.



O QUE VOCÊ PODERIA FAZER PARA
IDENTIFICAR OUTRAS SEMELHANÇAS ENTRE
ELES?



Benjamin Martin (1704? – 1782)



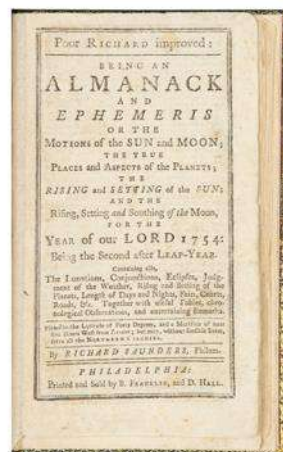
Jean-Antoine Nollet (1700 – 1770)

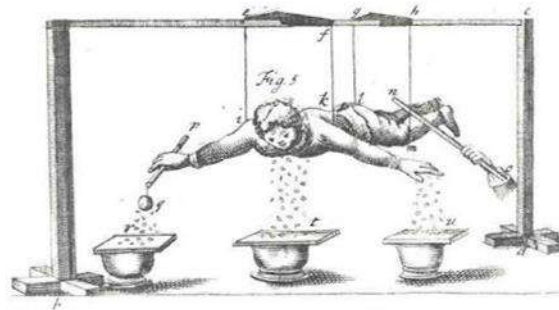
- | | |
|----------------------------------|--|
| 1. Produz luz | 7. Persistir na água ou gelo |
| 2. A cor da luz | 8. Rasga os corpos ao passar por eles |
| 3. Direção “torta” | 9. Destrói animais |
| 4. Movimento rápido | 10. Derrete metais |
| 5. São conduzidos por metais | 11. Inicia chamas em substâncias inflamáveis |
| 6. Barulho causado na “explosão” | 12. Odor sulfuroso |

AS SEMELHANÇAS APONTADAS POR NOLLET SÃO
SUFICIENTES PARA CONFIRMAR QUE OS FENÔMENOS
SÃO DA MESMA NATUREZA?



Benjamin Franklin (1706-1790)





COMO FRANKLIN E HOPKINSON PODERIAM
COMUNICAR SUAS DESCOBERTAS A OUTRAS PESSOAS
QUE ESTUDAM ELETRICIDADE?

E X T R A C T
O F
L E T T E R I.
F R O M
BENJ. FRANKLIN, *Esq;* at *Philadelphia*,
T O
PETER COLLINSON, *Esq;* F. R. S. *London*.

S I R, *Philadelphia, March 28, 1747.*

OUR kind present of an electric tube, with directions for using it, has put several of us on making electrical experiments, in which we have observed some particular phenomena that we look upon to be new. I shall, therefore communicate them to you in my next, though possibly,

2 *New Experiments and*

sibly they may not be new to you, as among the numbers daily employed in those experiments on your side the water, 'tis probable some one or other has hit on the same observations. For my own part, I never was before engaged in any study that so totally engrossed my attention and my time as this has lately done; for what with making experiments when I can be alone, and repeating them to my Friends and Acquaintance, who, from the novelty of the thing, come continually in crowds to see them, I have, during some months past, had little leisure for any thing else.

I am, &c.

B. FRANKLIN.

L E T T E R II.

F R O M

Mr BENJ. FRANKLIN, in *Philadelphia*,

T O

PETER COLLINSON, Esq; F. R. S. *London*.

S I R,

July 11, 1747.

I N my last I informed you that, in pursuing our electrical enquiries, we had observed some particular Phenomena, which we looked upon to be new, and of which I promised to give you some account, though I apprehended they might possibly not be new to you, as so many hands are daily employed in electrical experiments on your side the water, some or other of which would probably hit on the same observations.

The first is the wonderful effect of pointed bodies, both in *drawing off* and *throwing off* the electrical fire.

NESSA ÉPOCA SE SABIA QUE A ELETRICIDADE PODIA SER
OBTIDA ATRAVÉS DA FRICÇÃO DE DOIS MATERIAIS,
COMO NO GERADOR ELETROSTÁTICO DE HAUKSBEE. A
PARTIR DESSA IDEIA, COMO PODERÍAMOS EXPLICAR A
ELETRIZAÇÃO DAS NUENS?

4. Water being electrified, the vapour arising from it will be equally electrified; and floating in the air, in the form of clouds, or otherwise, will retain that quantity of electrical fire, till they meet with other clouds or bodies not so much electrified, and then will communicate as before mentioned.

8. Friction between a non-electric and an electric *per se* will produce electrical fire; not by *creating*, but *collecting* it: for it is equally diffused in our walls, floors, earth, and the whole mass of common matter. Thus the whirling

9. The ocean is a compound of water, a non-electric, and salt an electric *per se*.

COMO FRANKLIN PODERIA TESTAR SE SUA TEORIA ESTAVA CORRETA?

O QUE PODE DETERMINAR SE UMA TEORIA É CERTA OU ERRADA?

Fig. IX.

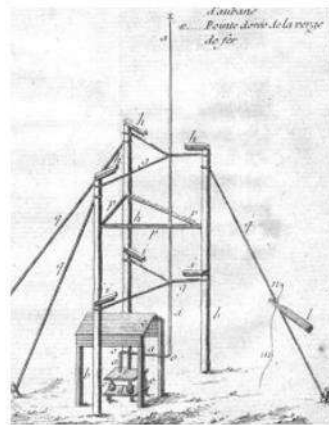
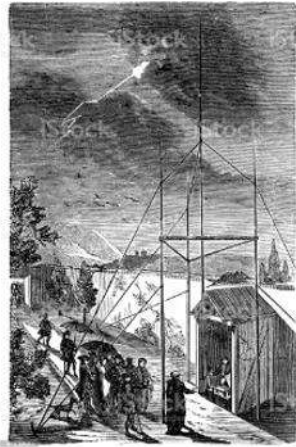


21. To determine the question, whether the clouds that contain lightning are electrified or not, I would propose an experiment to be try'd where it may be done conveniently. On the top of some high tower or steeple, place a kind of centry-box (as in Fig. 9.) big enough to contain a man and an electrical stand. From the middle of the stand let an iron rod rise and pass bending out of the door, and then upright 20 or 30 feet, pointed very sharp at the end. If the electrical stand be kept clean and dry, a man standing on it when such clouds are passing low, might be electrified and afford sparks, the rod drawing fire to him from a cloud. If any danger to the man should be apprehended (though I think there would be none) let him stand on the floor of his box, and now and then bring near to the rod the loop of a wire that has one end fastened to the leads, he holding it by a wax handle; so the sparks, if the rod is electrified, will strike from the rod to the wire, and not affect him.

NA IMPOSSIBILIDADE DE REALIZAR O
EXPERIMENTO, O QUE FRANKLIN PODERIA
FAZER PARA TESTAR SUA IDEIA?



This kite is to be raised when a thunder gust appears to be coming on, and the person who holds the string must stand within a door or window, or under some cover, so that the silk ribbon may not be wet; and care must be taken that the twine does not touch the frame of the door or window. As soon as any of the thunder clouds come over the kite, the pointed wire will draw the electric fire from them, and the kite, with all the twine, will be electrified, and the loose filaments of the twine will stand out every way, and be attracted by an approaching finger. And when the rain has wet the kite and twine, so that it can conduct the electric fire freely, you will find it stream out plentifully from the key on the approach of your knuckle. At this key the phial may be charged; and from electric fire thus obtained, spirits may be kindled, and all the other electric experiments be performed, which are usually done by the help of a rubbed glass globe or tube, and thereby the sameness of the electric matter with that of lightning completely demonstrated.



O SUCESSO DO EXPERIMENTO IDEALIZADO
POR FRANKLIN PROVA QUE SUA TEORIA
ESTAVA CORRETA?

VOCÊ ACHA QUE O EXPERIMENTO PENSADO POR
FRANKLIN PODE APRESENTAR ALGUM RISCO PARA
QUEM O REALIZA?



Georg Wilhelm Richmann (1711 -1753)



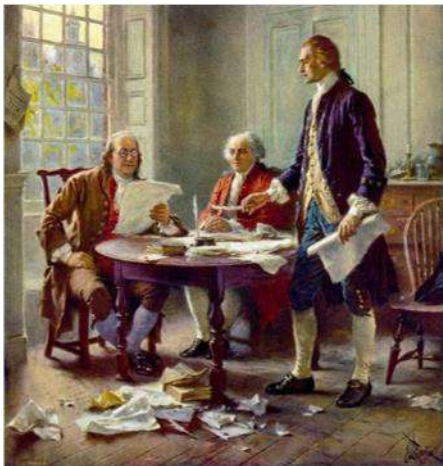
Would not these pointed rods probably draw the electrical fire silently out of a cloud before it came nigh enough to strike, and thereby secure us from that most sudden and terrible mischief?

“Essas hastes pontudas provavelmente não extrairiam o fogo elétrico silenciosamente de uma nuvem antes que ela chegasse perto o suficiente para golpear e, assim, nos proteger daquele mal mais súbito e terrível?”

O QUE PODE TER MOTIVADO A MÁ RECEPÇÃO DA IDEIA
DO PARA-RAIOS?

O QUE PODERIA SER FEITO PARA CONVENCER AS
PESSOAS DA ÉPOCA DE QUE A HASTE FORNECE
PROTEÇÃO PARA OS PRÉDIOS?

EXPERIMENTS
AND
OBSERVATIONS
ON
ELECTRICITY,
MADE AT
PHILADELPHIA in AMERICA.



Benjamin Frankin, John Adams e Thomas Jefferson

Apêndice C: questões da avaliação multidisciplinar

As questões a seguir fizeram parte da avaliação feita pelos alunos após a sequência didática. A avaliação em questão é inteiramente composta por questões de múltipla escolha por uma limitação imposta pela organização interna da escola em que a sequência foi aplicada.

Texto para as questões de 1 a 4.

Benjamin Franklin (1706 – 1790) foi um dos grandes nomes da eletricidade do século XVIII. É atribuída a ele a descoberta da natureza elétrica dos raios e a invenção dos para-raios, que são utilizados até hoje para a proteção de edificações. Desde a invenção do gerador eletrostático, muito antes do início dos estudos de Franklin, já se especulava sobre as semelhanças entre esses dois fenômenos: raios em tempestades e faíscas em experimentos elétricos. Entretanto, a história só teve um ponto final com o experimento da guarita, pensado por Franklin e executado por D’Alibard em 1752.

Além de contribuir para a descoberta da natureza elétrica dos raios, Franklin elaborou uma teoria para explicar os fenômenos elétricos. Para ele, a eletrização podia ser explicada através das diferentes quantidades de “fluido elétrico” presente nos corpos, dando origem aos termos “eletrizado positivamente” e “eletrizado negativamente”. Apesar de ainda utilizarmos essa nomenclatura, atualmente entendemos esses fenômenos de maneira completamente diferente.

Questão 01: Assim como descrito no texto, atualmente entendemos os fenômenos de eletrização de uma forma diferente. Para a ciência atual, um corpo eletrizado positivamente é aquele que:

- A) perdeu elétrons.
- B) perdeu prótons.
- C) ganhou elétrons.
- D) ganhou prótons.
- E) perdeu nêutrons.

Questão 02: Uma das primeiras pessoas a observar as faíscas em experimentos elétricos foi Francis Hauksbee, um inglês que fazia experimentos

com um gerador eletrostático. Hauksbee girou um vaso de vidro contra um pano de lã seco e observou as faíscas surgindo do vidro atritado. No processo de atrito entre o vidro e lã, é correto afirmar que:

- A) Elétrons são transferidos da lã para o vidro, deixando o vidro eletrizado positivamente e lã eletrizada negativamente.
- B) Elétrons são transferidos do vidro para a lã, deixando o vidro eletrizado positivamente e lã eletrizada negativamente.
- C) Elétrons são transferidos da lã para o vidro, deixando ambos eletrizados negativamente.
- D) Elétrons são transferidos do vidro para a lã, deixando ambos eletrizados positivamente.
- E) Elétrons são transferidos da lã para o vidro, deixando ambos com carga elétrica neutra.

Questão 03: Nas faíscas em experimentos elétricos e nos raios durante as tempestades vemos a ocorrência de um mesmo fenômeno: cargas elétricas que se movimentam pelo ar. Nessa situação, o ar - que normalmente é um material isolante -, passa a se comportar como um material condutor. Sobre condutores e isolantes, é correto afirmar que:

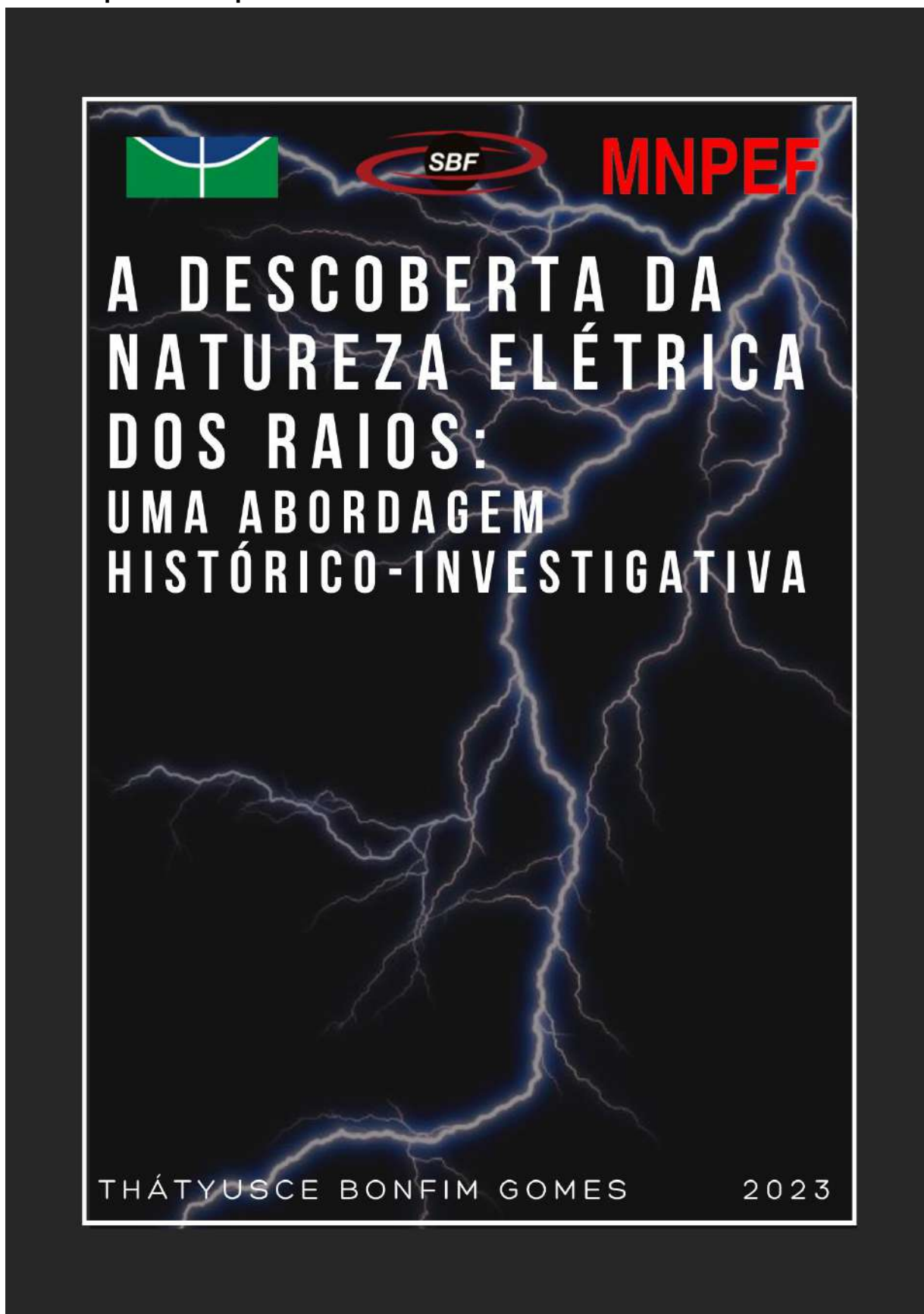
- A) Um material isolante é aquele que possui mecanismos para impedir a passagem dos elétrons.
- B) Um material condutor é aquele em que os elétrons têm pouca liberdade de movimento.
- C) Um material isolante não pode conduzir eletricidade sob nenhuma circunstância.
- D) Somente os materiais metálicos podem conduzir eletricidade.
- E) Um material isolante pode se tornar condutor, desde que a rigidez dielétrica do material seja quebrada.

Questão 04: As instalações de para-raios, tecnicamente conhecido como Sistema de Proteção para Descargas Atmosféricas (SPDA), são obrigatórias em edifícios a partir de 10 metros de altura. Os para-raios são utilizados para evitar

que os raios durante as tempestades causem estragos nas construções mais altas, mais propensas a receber descargas elétricas. Sobre os para-raios, é correto afirmar que:

- A) Impedem a ocorrência de raios nas construções.
- B) Tem a função de descarregar as nuvens antes que os raios possam cair.
- C) Criam um caminho para que a descarga elétrica (raio) aconteça e a conduzem em segurança para a terra.
- D) Uma vez utilizado o para-raios se torna descartável, pois o raio nunca cai mais de uma vez no mesmo lugar.
- E) Ao utilizarmos para-raios podemos nos despreocupar quanto a perda de equipamentos eletrônicos, afinal, apenas os raios são capazes de queimá-los.

Apêndice D: produto educacional



SUMÁRIO

1. APRESENTAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL.....	2
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	4
2.1 A modalidade de narrativa investigativa de Allchin.	4
2.2 A aplicação de uma narrativa na abordagem histórico investigativa.....	7
2.3 A experimentação e a cultura científica.....	7
3. A SEQUÊNCIA DIDÁTICA.....	10
3.1 Aulas 1 e 2.....	11
3.2 Aula 3.....	12
3.3 Aula 4.....	12
3.4 Aula 5.....	14
3.5 Aula 6.....	16
3.6 Aulas 7 e 8.....	16
3.6 Aula 9.....	18
4. MATERIAIS E RECURSOS.....	19
4.1 A narrativa histórico-investigativa.....	19
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	36
6. REFERÊNCIAS.....	38

APRESENTAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL

Prezado(a) colega professor(a),

O presente produto educacional foi desenvolvido no Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF) da Universidade de Brasília (UnB) com a finalidade de introduzir os conceitos de carga elétrica e corrente elétrica para alunos dos anos finais do ensino fundamental [1]. A sequência didática que compõe o produto foi construída com dois objetivos em mente: fomentar a discussão sobre aspectos de natureza da ciência e possibilitar a execução de atividades experimentais. Ambos os objetivos foram pensados para contribuir com o enriquecimento da cultura científica dos alunos, fundamental para a formação de um cidadão consciente (CARVALHO, 2010). A sequência didática a ser apresentada foi estruturada de maneira a respeitar certas limitações impostas pelo material didático da escola em que foi aplicada, mas pode ser facilmente adaptada para a sua realidade.

A abordagem histórico-investigativa, indicada no subtítulo deste produto, faz referência a utilização de uma narrativa histórica na modalidade investigativa, metodologia apresentada por Douglas Allchin. O episódio histórico trabalhado é a descoberta da natureza elétrica dos raios, protagonizada por Benjamin Franklin no século XVIII. A intenção da proposta é fomentar a discussão de aspectos inerentes à natureza da ciência e assim, contribuir para que os alunos construam uma visão menos distorcida do fazer científico. A utilização de narrativas investigativas possibilita que o aluno seja colocado em uma simulação de produção científica fiel à realidade e, com isso, seja capaz de refletir e internalizar os aspectos inerentes à prática do cientista.

Ademais, o episódio histórico proporciona uma oportunidade de introduzir os conceitos de carga elétrica e descarga elétrica sob a contextualização da temática dos raios em tempestades e da funcionalidade dos para-raios.

Além de discutir aspectos de natureza da ciência, a sequência didática conta com duas atividades experimentais, uma prática e outra demonstrativa. Os experimentos, ambos realizados com materiais de baixo custo, foram pensados de forma a auxiliar na visualização e no entendimento dos fenômenos por parte dos alunos, bem como despertar o interesse no assunto abordado.

Nos tópicos a seguir serão apresentados tanto a sequência, como o aporte teórico necessário para a sua aplicação.

[1] A sequência didática foi idealizada para alunos do nono ano do ensino fundamental e aplicada durante o ano letivo de 2021, período em que a adequação dos currículos para a BNCC ainda estava em curso. De acordo com a divisão de competências e habilidades sugeridas pela base, os conteúdos referentes a sequência estão localizados no oitavo ano do ensino fundamental.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A MODALIDADE DE NARRATIVA INVESTIGATIVA DE ALLCHIN

Um dos principais referenciais utilizados para a construção da sequência didática foi a utilização de episódios históricos na modalidade de narrativa investigativa. Essa proposta é apresentada pelo autor Douglas Allchin, no livro “Teaching the nature of science: perspective and resources” (2013). A ideia principal é adaptar casos históricos em histórias narrativas pausadas que, propondo reflexões, incentivam os alunos a resolver o problema central de um episódio. Como o próprio autor define, a atividade coloca o aluno em uma situação de “science-in-the-making”, isto é, expõe os alunos aos caminhos seguidos por um cientista em uma descoberta para, assim, retratar da forma mais fiel possível como o conhecimento científico se desenvolve (ALLCHIN, 2017). O intuito da atividade é unir a estratégia de ensino investigativo a uma oportunidade de vivenciar e identificar aspectos inerentes à natureza da ciência e do fazer científico. Além de expor os alunos a lições explícitas de natureza da ciência, um dos objetivos da atividade é incentiva-los a refletir sobre as características apresentadas (ALLCHIN, 2013).

A narrativa é construída com base nos eventos principais, como as decisões tomadas por um cientista, as experiências relevantes para a descoberta, os acidentes, os erros e, ainda, as influências de contextos sociais e políticos (ALLCHIN, 2017). A história narrativa deve conter elementos que permitam a imersão dos alunos no cenário em que a descoberta científica se desenrolou e os apresentar os aspectos socioculturais da época, assim como as características humanas do personagem central proposto.

Ao longo da história são apresentadas questões que devem levar o aluno a propor soluções ou tomar decisões, à medida que novas informações são fornecidas a ele. Apesar disso, a investigação não pode se tornar um jogo de adivinhações, as escolhas devem ser problematizadas pelos alunos. Sendo assim, os alunos são levados a refletir sobre as características que tornam a ciência um conhecimento confiável, mas, também, entendê-la como uma construção humana. Dessa forma, o objetivo é fazer perguntas que propiciem uma reflexão sobre a natureza de ciência, e não simplesmente apresentar os conceitos epistemológicos aos alunos.

As reflexões que são colocadas nas pausas da narrativa podem ser de vários tipos, abrangendo questões internas ou externas à ciência. As perguntas devem levantar discussões que levem os alunos a tentar construir uma metodologia de pesquisa e imaginar como interpretar resultados obtidos em experimentos. O narrador deve levar os alunos a problematizar suas escolhas e leva-los a refletir sobre as características que tornam a ciência um conhecimento confiável, mas, também, entendê-la como uma construção humana. Ademais, os alunos também devem ser incentivados a refletir sobre problemas mais profundos da natureza da ciência como, por exemplo, o que é “provar” cientificamente algo e como isso se contrapõe a natureza falha do ser humano (ALLCHIN, 2017).

O ensino investigativo se apresenta como uma boa opção por se tratar de um modelo de atividade em que o aluno é centro do processo, ou seja, uma atividade de ensino ativo. O papel da investigação é fazer com que os alunos se interessem em participar e dar soluções criativas para a resolução dos problemas, e não simplesmente ouvir a história recitada para eles (ALLCHIN, 2017). Um outro ponto que deve ser evidenciado, é que a narrativa

investigativa se contrapõe ao uso da história da ciência como um mero incentivador, a intenção nesse caso não é usar a história como um recurso para prender a atenção do aluno para, então, apresentar os conceitos científicos a serem aprendidos (ALLCHIN, 2017). Em contraponto, a finalidade da narrativa histórico-investigativa não é repetir a história ou levar o aluno a chegar em uma resposta correta, mas, e sim, usar a história como um pano de fundo para promover reflexões.

O exercício feito pelo aluno ao se colocar no lugar de um cientista pode criar um sentimento de empatia, o que ajuda a desmistificar a ideia de grandes gênios, construída e idealizada pela cultura popular. Esse sentimento tende a contribuir para uma visão mais humanizada da ciência e do conhecimento científico, sem diminuir o seu valor. Nessa perspectiva, em que o aluno é incentivado a analisar uma situação-problema, a história pode também se tornar uma forma de desenvolver habilidades do pensamento científico.

Em resumo, de acordo com Allchin, uma narrativa histórico-investigativa deve conter os seguintes aspectos em sua estrutura:

- “1: contextos culturais e biográficos motivadores;
- 2: questões que problematizam a natureza da ciência e promovam a sua
investigação;
- 3: perspectivas históricas que retratem a ciência em desenvolvimento;
- 4: formato narrativo;
- 5: estrutura episódica;
- 6: encerramento conjunto da investigação e da narrativa;
- 7: reflexão final e consolidação das lições aprendidas.”

(ALLCHIN, 2017, p. 119, tradução nossa)

A APLICAÇÃO DE UMA NARRATIVA NA ABORDAGEM HISTÓRICO-INVESTIGATIVA

Antes de iniciar a narrativa investigativa é importante que o professor explique aos alunos como será o andamento da atividade: a história será narrada aos poucos e, nos momentos solicitados, os alunos terão o espaço aberto para tomar decisões e apontar suas reflexões. Para facilitar a discussão entre os alunos durante a investigação, é sugerido que o professor aconselhe a turma a se dividir em grupos, caso queiram. Para ilustrar o episódio e proporcionar uma imersão ainda mais rica, o professor pode mostrar imagens que sejam levantes a história conforme os fatos se desenrolam. As imagens podem ser, por exemplo, pinturas ou fotos dos cientistas envolvidos, representações dos experimentos e artefatos utilizados, mapas das regiões onde a história se passa e gráficos, listas ou dados números que sejam relevantes para investigação. Ao término da narrativa e solução da investigação, o professor deve finalizar a atividade com uma discussão sobre os aspectos de natureza da ciência que puderam ser observados e disponibilizar espaço para que os alunos coloquem suas impressões e aprendizados.

A EXPERIMENTAÇÃO E A CULTURA CIENTÍFICA

O ensino de ciências na educação básica não deve se preocupar unicamente em elucidar fenômenos, o aluno deve ser capaz de desenvolver habilidades que o permita atuar na sociedade como um cidadão consciente, afinal “muito provavelmente, qualquer um de nós viverá muito mais tempo sendo cidadão do que sendo estudante” (CARVALHO; SASSERON, 2010, p. 108). Isto posto, é fundamental que os alunos sejam imersos e passem a conhecer os aspectos que compõem a cultura científica. De acordo com Sasseron “podemos conceber a cultura científica como o conjunto de ações e de comportamentos envolvidos na atividade de investigação e divulgação de um novo conhecimento sobre o mundo natural” (2015, p. 55). Dessa forma, a experimentação, sem dúvidas, faz parte dessa cultura.

Aliada a abordagem histórico investigativa, a sequência didática foi construída de modo a proporcionar aos alunos dois momentos de atividades experimentais, visto que esse tipo de atividade compõem um instrumento fundamental para a enculturação científica (CARVALHO, 2010). Além de proporcionam um contato mais direto dos alunos com os fenômenos físicos, os experimentos podem auxiliam os alunos a estabelecer relações para além do formalismo matemático, o que pode facilitar a compreensão dos conceitos (CARVALHO, 2010).

Muitas são as formas de propor uma atividade experimental e em cada uma delas o aluno possui um papel diferente na experimentação, conseqüentemente, em cada uma delas o aluno possui um grau de liberdade. Para este trabalho foram feitas duas propostas diferentes: uma atividade experimental prática e outra demonstrativa.

Nos experimentos demonstrativos, em que o objetivo central é ilustrar um certo fenômeno, o experimento é realizado somente pelo professor, cabendo somente a ele a execução e a condução da experimentação. Por conseguinte, o papel do aluno é observar a execução e desenvolvimento do experimento e responder aos questionamentos colocados pelo professor ou elaborar suas próprias perguntas. O experimento de demonstração é uma ótima alternativa quando não é possível providenciar materiais e/ou equipamentos suficientes para que toda a turma execute o experimento e, por isso, pode ser utilizado em situações em que existe limitação orçamentária ou quando a escola não possui a infraestrutura necessária. Ademais, a demonstração se torna essencial quando o experimento apresenta algum risco. A demonstração pode ser feita tanto no início, quanto no fim de uma aula expositiva. Quando feita no início, geralmente é utilizada para motivar e engajar os alunos no estudo de um novo conteúdo. Quando feita no fim, geralmente tem o objetivo de possibilitar a visualização de um fenômeno já aprendido.

Apesar de possuírem inúmeras vantagens, os experimentos de demonstração possuem também uma grande desvantagem: como a participação do aluno é minimizada nesta metodologia, os alunos podem não se engajar na atividade proposta e podem perder a atenção com facilidade, principalmente em turmas com um grande número de estudantes. Uma forma de contornar esse problema seria montar o experimento de maneira que o professor possa engajar os alunos através de questionamentos, os incentivando a propor hipóteses ou elaborar perguntas e, quando possível, convidá-los a auxiliar na execução.

Em contraponto ao experimento demonstrativo, nos experimentos práticos a responsabilidade da execução é exclusiva dos alunos. Nesse tipo de experimento o professor disponibiliza os materiais necessários e dá as instruções para a realização da prática pelos alunos. O experimento pode ser roteirizado ou não [2], isto é, pode ou não conter um passo-a-passo a ser seguido. Uma das vantagens do experimento prático é o grande engajamento dos alunos nas atividades, uma vez que a execução das tarefas depende exclusivamente deles. Além disso, o experimento prático também é visto como um forte motivador para a aprendizagem. Entretanto, uma possível desvantagem pode ser a dificuldade dos alunos em compreender os passos a serem seguidos ou a falta de habilidade para lidar com instrumentos do laboratório, tais desvantagens podem ser contornadas e diminuídas com o intermédio do professor. Apesar de suas inúmeras vantagens, por demandar recursos materiais e, muitas vezes, bastante tempo para a execução, os experimentos práticos são amplamente inseridos nas aulas da educação básica.

De acordo com Araújo e Abib (2003), independente da modalidade adotada, os experimentos têm a “capacidade de estimular a participação ativa dos estudantes, despertando sua curiosidade e interesse, favorecendo um efetivo envolvimento com sua aprendizagem” (ARAÚJO; ABIB, 2003, p. 192).

[2] No caso dos experimentos investigativos, a depender do grau de liberdade, o aluno pode ser responsável também por traçar um plano de ação para conduzir o experimento e chegar à solução de um problema (CARVALHO, 2010).

A SEQUÊNCIA DIDÁTICA

A sequência didática idealizada possui nove aulas no total, sendo a última aula utilizada para a socialização dos trabalhos produzidos pelos alunos. O quadro a seguir ilustra um pequeno resumo de cada aula:

Aula		Descrição	Recursos
01 e 02	Benjamin Franklin e o desenvolvimento do para-raios	Atividade: narrativa histórico-investigativa.	Projetor e slides com imagem e perguntas.
03	Como entendemos a carga elétrica hoje	Aula expositiva sobre carga elétrica contextualiza pelos raios elétricos e episódio histórico.	Projetor, material didático, quadro e pincel.
04	De quais formas um corpo pode ficar eletrizado?	Atividade prática: formas de eletrização (atrito e contato).	Materiais de baixo custo: balão, linha de costura, régua, papel picado, papel toalha e papel alumínio.
05	De quais formas um corpo pode ficar eletrizado?	Experimento demonstrativo: o protótipo de um para-raios.	Aparato experimental, projetor, material didático e vídeos.
06	Condutores e isolantes	Atividade de pesquisa e formalização através da socialização dos resultados encontrados pelos alunos.	Projetor e material didático.

07	Corrente elétrica	Aula expositiva dialogada sobre corrente elétrica e tensão.	Projektor e material didático.
08	Corrente elétrica e organização da avaliação	Como funcionam os circuitos elétricos? Apresentação da proposta de avaliação, divisão de grupos e escolha de temas.	Projektor e material didático.
09	Avaliação	Apresentação de um material de “divulgação científica”.	Projektor para exposição dos trabalhos produzidos.

AULAS 1 E 2

A sequência se inicia com a aplicação da atividade histórico-investigativa nas aulas 1 e 2. Antes de iniciar a atividade, explique aos alunos como será o seu andamento: a história será narrada para a turma e eles contribuirão nos momentos de pausa, após refletir e discutir com os colegas. Caso queiram, os alunos podem se dividir em grupos para facilitar a discussão entre eles. É importante orientar os alunos que não façam pesquisas durante a investigação, uma vez que muitos possuem acesso à internet no celular. Faça a leitura da história para alunos e, para enriquecer a ambientação, mostre algumas imagens ilustrativas conforme a narrativa se desenrola. As imagens podem ser pinturas dos cientistas citados e pinturas, desenhos ou esquemas dos experimentos e equipamentos descritos na história. As imagens podem ser exibidas através de uma apresentação do powerpoint, por exemplo. Nos momentos de pausa, incentive os alunos a debater e refletir a partir da pergunta colocada na narrativa (que também pode ser projetada no quadro). Conforme a discussão se encaminha, pode ser que seja necessário adicionar outras perguntas para instigar a reflexão dos alunos e ampliar a discussão.

Após o término da narrativa é importante fazer uma reflexão final com a turma: quais aspectos de natureza da ciência puderam ser evidenciados pela história? O professor pode formalizar esses aspectos através de uma lista transcrita no quadro ou apenas discutir sobre o que foi aprendido. Além disso, o professor deve promover meios para que os estudantes expressem o que de fato aprenderam com a atividade. Uma possível sugestão é que os alunos façam uma autoavaliação.

AULA 3

Uma vez que os alunos entendem que as descargas elétricas em tempestades têm a mesma natureza dos choques elétricos que observamos em situações cotidianas, faça a introdução do conceito de carga elétrica. Inicie a aula discutindo como os estudiosos do século XVIII entendiam a eletricidade e finalize discutindo como a entendemos na atualidade. Apresente aos alunos a ideia de átomo e de carga elétrica, assim como a ideia de força de atração e repulsão entre duas cargas elétricas. Em seguida, apresente aos alunos a ideia de eletrização: um corpo eletrizado é aquele que possui desbalanço de cargas, ou seja, aquele que perdeu ou ganhou elétrons.

AULA 4

A aula 4 pode ser realizada no laboratório, caso a escola disponha do espaço, ou em sala de aula. Para cada grupo forneça os seguintes materiais: uma régua, uma folha de papel alumínio, um balão, uma folha de papel toalha e um pedaço de linha. A régua pode ser substituída tubo de PVC, caso seja necessário. Oriente os alunos a formar pequenos grupos e a seguir as instruções fornecidas para cada experimento. As instruções a seguir podem ser impressas ou projetadas no quadro.

Experimento 1: Encha um balão parcialmente e dê um nó para que o ar não escape. Esfregue-a no cabelo e, em seguida, aproxime-a de papéis picados sobre uma mesa.

Experimento 2: Encha parcialmente um balão e dê um nó para que o ar não escape. Pendure-a por uma linha. Esfregue o papel toalha na bexiga e, em seguida, aproxime sua mão sem tocá-la.

Experimento 3: Faça uma bolinha de papel-alumínio (1 a 2 cm de diâmetro) e prenda-a por uma linha. Esfregue o tubo de PVC em uma folha de papel toalha e aproxime-o da bolinha, permitindo que se toquem. Em seguida, desencoste o tubo da bolinha, mas mantenha-o próximo dela.

Experimento 4: Com os materiais disponibilizados faça algum experimento pensado por vocês, sintam-se livres para testar o que quiser. Anote o experimento realizado e os efeitos observados.

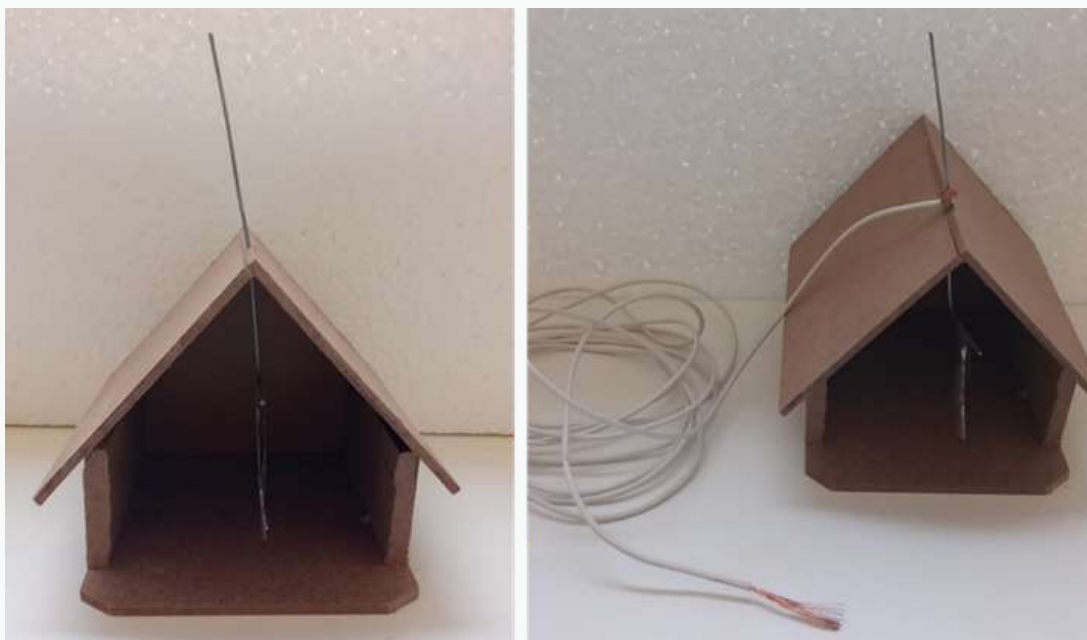
Uma vez que os alunos tenham executados todos os experimentos e observado seus efeitos, converse sobre o que foi observado e os incentive a compartilhar seus resultados. Em seguida, faça uma breve explicação sobre os dois tipos de eletrização: atrito e contato.

AULA 5

Na aula 5, para abordar da eletrização por indução, é programado um experimento demonstrativo utilizando um aparato experimental inspirado no experimento da guarita, proposto por Franklin, que foi de grande importância para o episódio histórico abordado nas duas primeiras aulas.

O protótipo pode ser feito com uma casinha de papelão, um pedaço de arame (para simbolizar a haste metálica do para-raios), um balão (para simbolizar a nuvem eletrizada) e um pedaço longo de fio elétrico (para simbolizar o aterramento). A haste deve ser colocada no teto da casinha, de forma que uma parte dela fique para fora, na ponta da haste que ficou do lado interno da casinha deve ser colocada uma folha de papel alumínio fina dobrada ao meio. Desta forma, o protótipo funciona como um eletroscópio de folhas que imita uma casa munida de para-raios. A figura a seguir ilustra a montagem do protótipo:

Figura 1 - Aparato experimental inspirado no experimento da guarita



Fonte: Elaborada pelo autor

Inicie a aula lembrando os alunos dos experimentos feitos na aula anterior e formalize mais uma vez os processos de eletrização por atrito e contato. Na demonstração experimental, eletrize o balão (que simboliza uma nuvem eletrizada), atraindo-o com um pedaço de papel toalha, e o aproxime da haste (que simboliza o para-raios). A ideia é que os alunos consigam perceber que as folhas do eletroscópio se afastam quando o balão é aproximado, e se aproximam quando o balão é afastado da haste. Explique o porquê deste efeito fazendo um paralelo com uma nuvem carregada e o para-raios de uma construção. Aproveite a ocasião para justificar o que acontece nos experimentos 1 e 2, feitos na aula anterior, em que os pedacinhos de papel são atraídos pelo balão e que o balão eletrizado é atraído pela mão próxima a ele.

Em um segundo momento, conecte o fio elétrico a haste que simboliza o para-raios deixando uma de suas extremidades no chão. Aproxime novamente o balão eletrizado pela haste e evidencie aos alunos que as folhas do eletroscópio não se comportam mais da mesma maneira. Incentive os alunos perguntando-os porquê os resultados obtidos são diferentes nas duas etapas do experimento e medeie a discussão.

Por fim, explique aos alunos a função do aterramento de um para-raios e mostre um vídeo de um para-raios em ação [3]. Após o vídeo, faça uma breve explicação de como ocorre a incidência de um raio, comentando sobre a necessidade da existência de um raio conectante (nesse caso, produzido pelo para-raios). Em seguida, apresente outro vídeo [4], que mostre a "preferência" dos raios por corpos pontudos. O vídeo sugerido é um experimento feito com latinhas de refrigerante representando os prédios, um protótipo de para-raios feito de arame e uma esfera envolta de papel alumínio ligada a uma bobina de Tesla para representar a nuvem carregada. No vídeo é possível ver que, na presença do para-raios, a maioria dos raios "caem" sobre ele, mas que ele só é capaz de proteger uma certa área.

Para essa aula os alunos terão como tarefa de casa fazer a seguinte pesquisa: por que alguns materiais conduzem eletricidade e outros nos protegem dela?

[3] O vídeo em questão é o trecho de uma reportagem do programa “Fantástico” que mostrou vídeos produzidos pelo Grupo de Eletricidade Atmosférica do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Elat-Inpe) que registrou a incidência de raios em câmera lenta. O vídeo está disponível no endereço <https://youtu.be/OGt6tG62YaQ> (último acesso em 26 de outubro de 2021).

[4] O vídeo está hospedado no youtube no canal “Vida em Silício” e está disponível no endereço <https://youtu.be/T5SajOuQaSw> (último acesso em 26 de outubro de 2021).

AULA 6

Ao iniciar a aula 6, incentive a turma a compartilhar os resultados da pesquisa feita como tarefa de casa. O objetivo é que os alunos troquem as informações encontradas. Ao final da aula, faça uma breve formalização sobre a diferença entre os materiais condutores e isolantes, sobre a ideia de elétron livre e sobre a ideia de rigidez dielétrica. A rigidez dielétrica pode ser contextualizada pela incidência de raios em tempestades, tema norteador dessa sequência.

AULAS 7 E 8

As aulas 7 e 8 tem como tema principal a corrente elétrica. Inicie a aula conversando com os alunos sobre a aula anterior, para lembrá-los sobre os materiais condutores e isolantes. Para começar a discussão sobre circuitos elétricos, o professor pode construir um circuito simples usando fios, uma pilha e uma pequena lâmpada. Mostre que só é possível acender a lâmpada quando cada um de seus terminais é ligado a uma das extremidades do fio e que, por sua vez, cada extremidade deve ser ligada a um dos polos (positivo e negativo).

Após o experimento, explique aos alunos o que é a corrente elétrica. Como a teoria de Benjamin Franklin para a eletrização dos corpos foi apresentada na primeira aula, se torna muito mais fácil explicar para os alunos o sentido convencional da corrente elétrica. Retome com a turma a ideia de eletrização mais e menos, proposta por Franklin, e como ela é o oposto do que entendemos hoje, já que um corpo com excesso de elétrons está eletrizado negativamente (no caso da teoria de Franklin, o excesso de fluido elétrico era uma eletrização “mais”). Essa inversão, aliada ao descobrimento “tardio” dos elétrons, fez com que nós continuássemos utilizando o sentido invertido, mas, agora, de forma convencionalizada.

Para explicar a ideia de diferença de potencial, o professor pode fazer uma analogia com um circuito formado por duas caixas d'água, uma que está a uma certa altura e outra que está no chão. A água flui espontaneamente do reservatório superior para o inferior, mas precisa ser forçada por uma bomba para retornar ao reservatório superior e repetir esse processo. Faça uma comparação entre o circuito de água e o circuito elétrico. Os fios do circuito têm função semelhante à tubulação, pois determina o “caminho” a ser percorrido. A bomba do circuito faz com que a água retorne para o reservatório de maior potencial, função semelhante à da pilha, que “empurra” a corrente elétrica novamente para a região de maior potencial. A canaleta que une os reservatórios de água tem função semelhante a lâmpada, pois é lá que ocorre a transformação da energia. Durante essa comparação, explique a função de cada um dos componentes de um circuito elétrico simples e como a corrente se mantém circulando por ele.

Reserve o final da aula 8 para explicar para os alunos o que é um material de divulgação científica, contextualizando com a discussão realizada durante a atividade histórico-investigativa. A seguir, apresente o trabalho de avaliação dessa sequência de aulas.

A sugestão é que o formato do trabalho fique a critério dos alunos e que eles também possam escolher o formato que irão apresentar. O tema também pode ficar a critério dos alunos, desde que esteja relacionado às aulas anteriores. Para auxiliar os alunos, caso julgue necessário, disponibilize algumas sugestões como, por exemplo, as listadas a seguir:

- Por que o Brasil é o país que mais sofre com descargas elétricas no mundo?
- Os raios caem ou sobem?
- Quais cuidados devem ser tomados para prevenção de acidentes domésticos envolvendo descargas elétricas?
- Como funciona o para-raios e quando ele é necessário?
- Qual a utilidade do terceiro pino da tomada?
- Como são feitas as previsões de tempestades?
- A ciência por trás das superstições durante tempestades.
- Por que as igrejas eram constantemente atingidas por raios?

AULA 9

A aula 9, última aula da sequência, é destinada as apresentações e socialização das mídias produzidas. Os trabalhos enviados pelos alunos podem ser projetados no quadro ou apresentados por eles em alguma outra mídia. Entre uma apresentação e outra, incentive os alunos a comentar os trabalhos e faça as correções de erros cometidos por eles, caso sejam necessárias. Aproveite o momento para revisar o conteúdo das aulas anteriores, sanando dúvidas que ainda possam existir entre os alunos.

MATERIAIS E RECURSOS

A NARRATIVA HISTÓRICO-INVESTIGATIVA

O texto a seguir é uma narrativa histórico-investigativa produzida a partir da adaptação do episódio histórico da descoberta da natureza elétrica dos raios. Para guiar a aplicação, a motivação por trás de cada pausa é indicada pelas notas de rodapé. As notas tem a intenção de auxiliar o professor a dar andamento a discussão e não devem ser lidas aos alunos. Os slides utilizados durante a atividade foram inseridos ao longo do texto e podem ser utilizados para compor a ambientação do episódio.

Hoje vamos acompanhar uma história que aconteceu no século XVIII, nessa época as maiores potências do mundo eram a França e Grã-Bretanha. Não existiam telefones ou carros, as pessoas se locomoviam em carroças e carruagens e se comunicavam por cartas. Apesar disso, o século XVIII é conhecido pelo grande avanço nas ciências e nas artes.

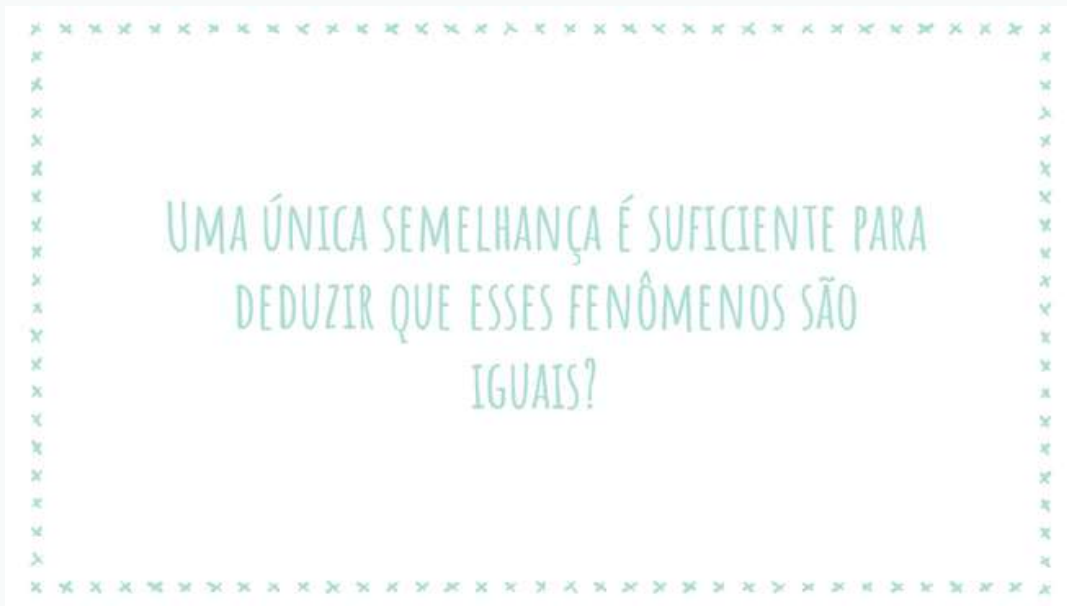
O primeiro personagem que vamos conhecer se chamava Francis Hauksbee, ele era inglês e viveu entre os anos de 1687 a 1763. Hauksbee fazia experimentos com o que chamamos de gerador eletrostático, ao atritar sua mão com uma luva contra uma esfera de vidro, ele observou pequenas faíscas. De acordo com ele, essas faíscas eram bem parecidas com os raios durante tempestades. Uma outra pessoa também teve a mesma percepção foi Stephen Gray, em 1735. Ele também notou que essas faíscas eram muito parecidas com os raios.



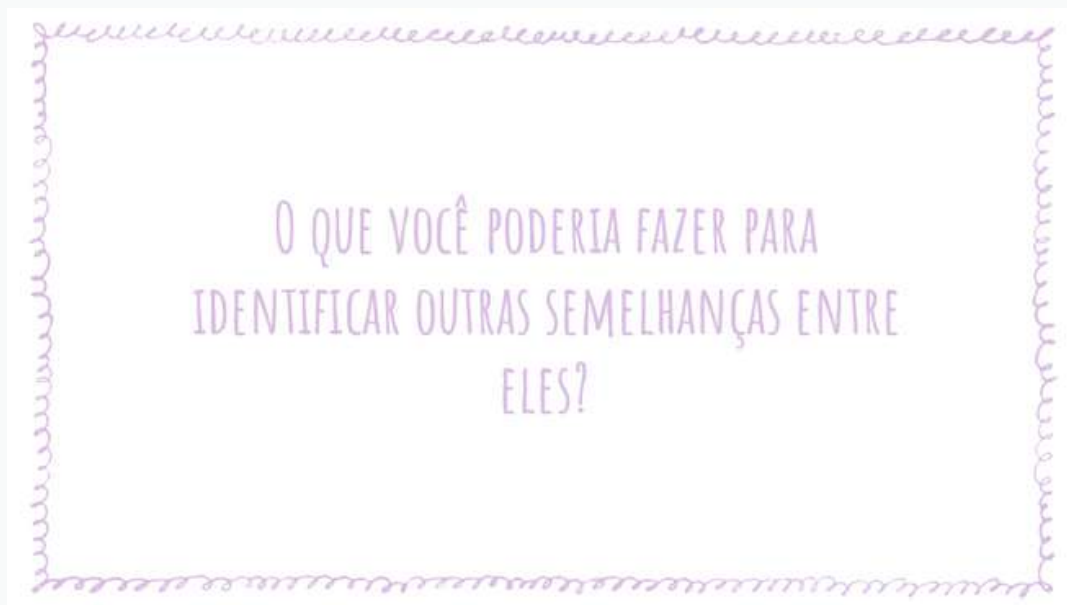
Francis Hauksbee (1687 – 1763)



REFLEXÃO 1: Uma única semelhança é suficiente para deduzir que esses fenômenos são iguais? [5]



REFLEXÃO 2: O que você poderia fazer para identificar outras semelhanças entre eles? [6]



[5] A primeira reflexão tem o propósito de iniciar a reflexão sobre a investigação da natureza dos fenômenos, é esperado que os alunos apontem a necessidade de uma investigação mais detalhada para se obter conclusões.

[6] A segunda reflexão foi colocada com a intenção de que os alunos se atentem a necessidade da experimentação.

Em 1735 tivemos a invenção da garrafa de Leiden, com este equipamento era possível produzir descargas elétricas muito mais intensas. A partir disso, as comparações entre os raios em tempestades e os efeitos provocados pela eletricidade produzida em laboratório se tornaram ainda mais comuns. As descargas produzidas pelas garrafas produziam, além da luz, sons parecidos com os trovões.

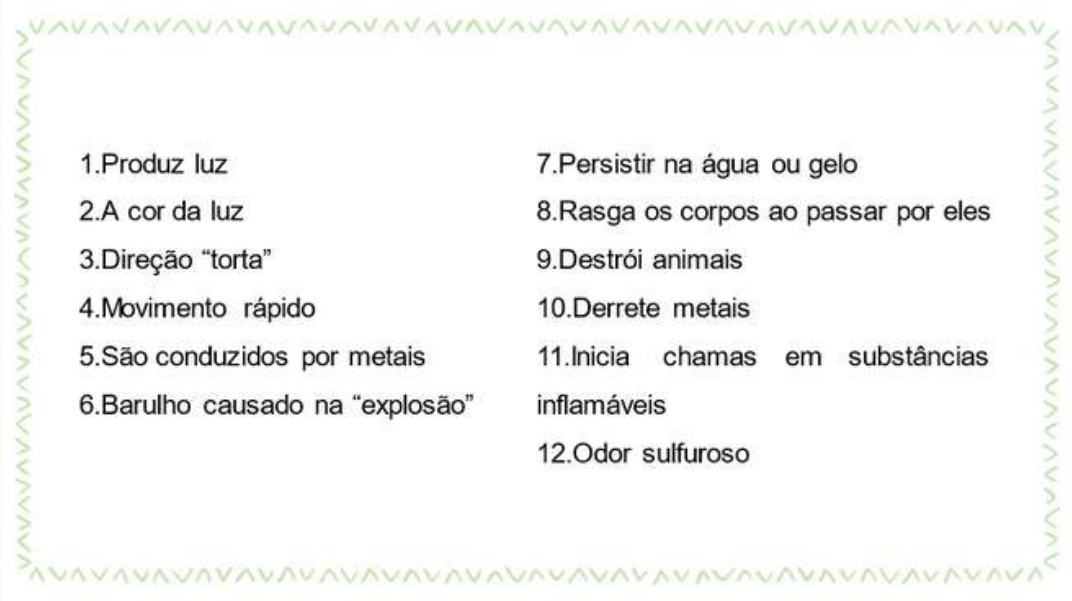


Dois outros personagens dessa história, Benjamin Martin e Jean-Antoine Nollet, procuraram outras semelhanças entre os raios e as faíscas elétricas. Nollet desenvolveu uma série de experimentos e escreveu uma lista de 12 semelhanças entre eles.



Benjamin Martin (1704? – 1782)

Jean-Antoine Nollet (1700 – 1770)

- 
- | | |
|----------------------------------|--|
| 1. Produz luz | 7. Persistir na água ou gelo |
| 2. A cor da luz | 8. Rasga os corpos ao passar por eles |
| 3. Direção "torta" | 9. Destrói animais |
| 4. Movimento rápido | 10. Derrete metais |
| 5. São conduzidos por metais | 11. Inicia chamas em substâncias inflamáveis |
| 6. Barulho causado na "explosão" | 12. Odor sulfuroso |

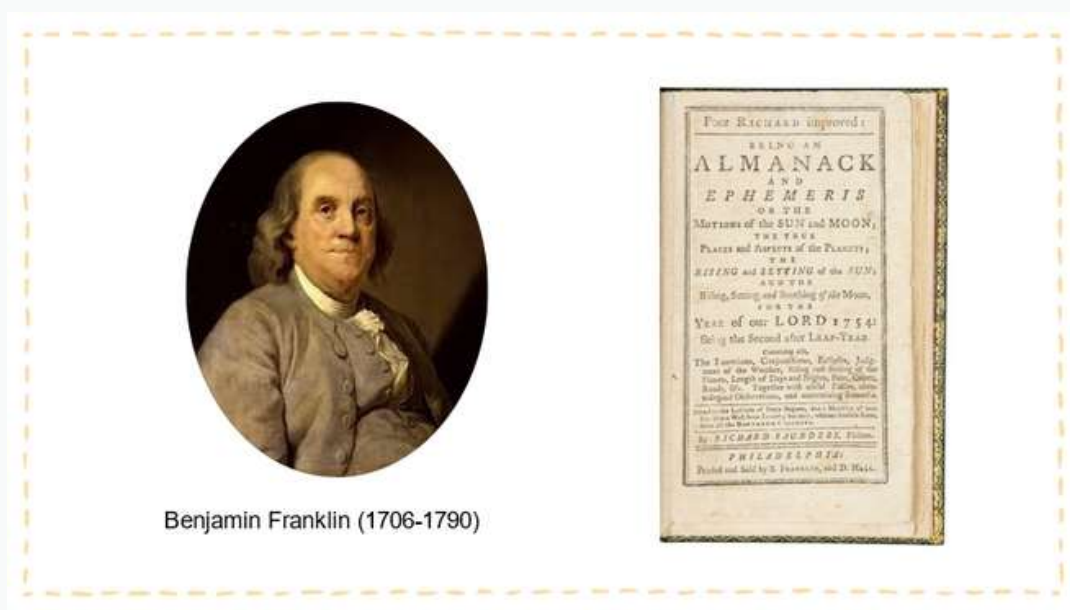
REFLEXÃO 3: As semelhanças apontadas por Nollet são suficientes para confirmar que os fenômenos são da mesma natureza? [7]



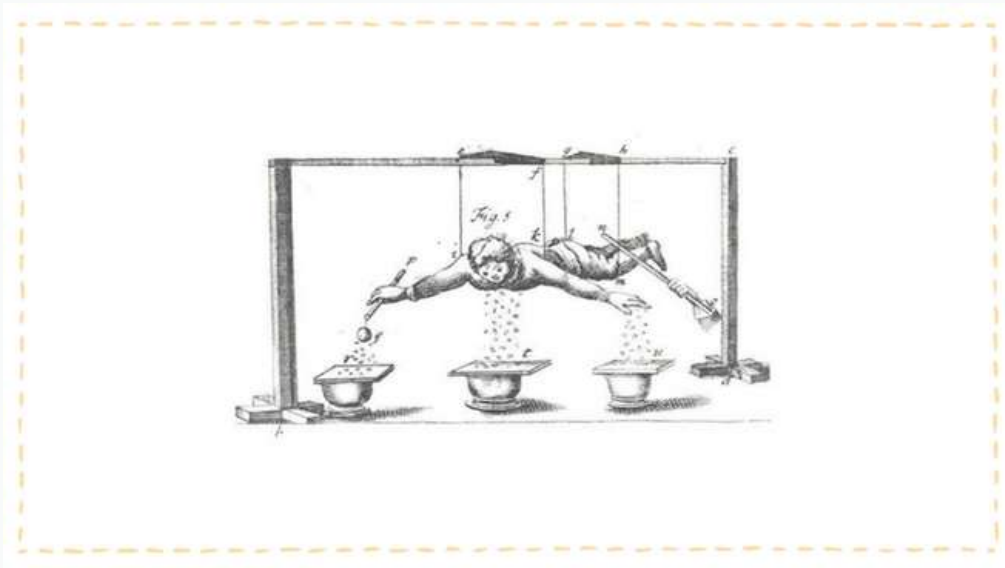
AS SEMELHANÇAS APONTADAS POR NOLLET SÃO
SUFICIENTES PARA CONFIRMAR QUE OS FENÔMENOS
SÃO DA MESMA NATUREZA?

[7] A terceira reflexão tem a intenção de questionar os alunos sobre a quantidade de semelhanças necessárias ou a quantidade de testes necessários para determinar definitivamente a natureza dos fenômenos. É esperado que os alunos cheguem a conclusão de que não há um número ideal.

Uma outra pessoa que também fez contribuições importantes a essa história foi Benjamin Franklin. Sim, ele mesmo, o rosto da nota de 100 dólares. Apesar de sua grande relevância nos dias de hoje, os Estados Unidos ainda eram uma colônia da Grã-Bretanha e ainda não possuíam muita relevância internacional. Nessa época a Europa era o centro do mundo e é de lá que viam as grandes decisões. Franklin tinha uma gráfica e trabalhava com a publicação de jornais, revistas e panfletos, sendo alguns desses materiais de sua autoria. Ele era bastante estudioso e gostava de estudar sobre vários assuntos diferentes, ele fazia parte de um grupo chamado “JUNTO”, formado por vários homens também intelectuais. Junto com esses amigos, Franklin criou uma biblioteca de subscrição, a Library Company. Era através da Library Company que Franklin conseguia ter acesso aos diversos materiais produzidos na Europa.



O primeiro contato de Franklin com a eletricidade aconteceu em 1743, quando ele viu uma demonstração pública de experimentos elétricos. Alguns anos depois, em 1745, a Library Company recebeu uma revista alemã com a descrição de alguns experimentos e um tubo de vidro com instruções de como utilizá-lo. O tubo foi enviado por Peter Collinson, um botânico britânico que costumava contribuir com a biblioteca.



A partir daí, Franklin começou a fazer vários experimentos com seus amigos. Seu interesse pelos fenômenos elétricos cresceu de forma que Franklin começou a desenhar seus próprios experimentos e montar aparatos para que eles pudessem ser realizados. Nesse processo, uma descoberta foi feita por um de seus colegas, Thomas Hopkinson descobriu o “poder das pontas”. Hopkinson percebeu que corpos pontudos tinham o poder de extrair e lançar o fogo elétrico.

REFLEXÃO 4: Como Franklin e Hopkinson poderiam comunicar suas descobertas a outras pessoas que estudam eletricidade? [8]

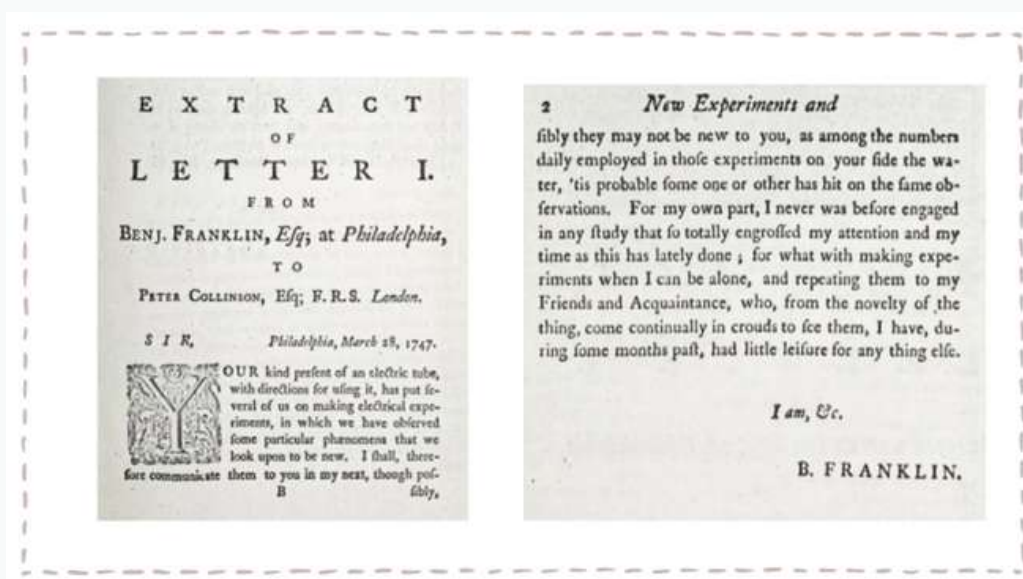
COMO FRANKLIN E HOPKINSON PODERIAM
COMUNICAR SUAS DESCOBERTAS A OUTRAS PESSOAS
QUE ESTUDAM ELETRICIDADE?

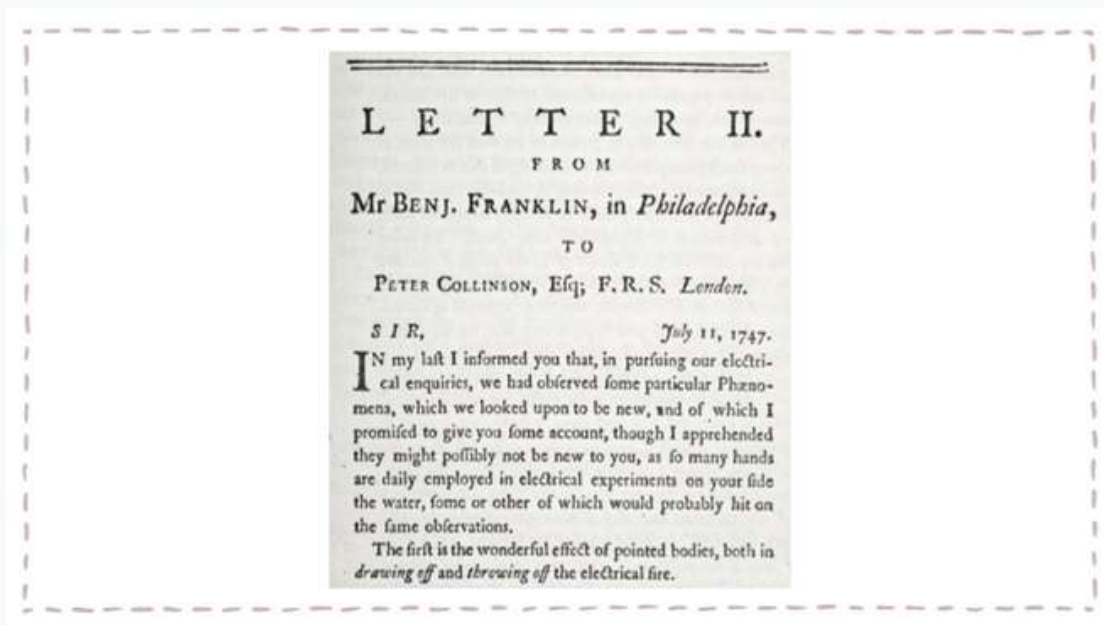
[8] A intenção por trás desse questionamento é levar os alunos a refletir sobre as formas de comunicação do século XVIII e também sobre a comunicação de novas descobertas no meio científico.

A fim de compartilhar as coisas que descobriu e os experimentos novos que fez, Franklin começou a se corresponder com Collinson por cartas. Collinson levou as cartas de Franklin à Royal Society, uma das comunidades científicas mais relevantes da época.

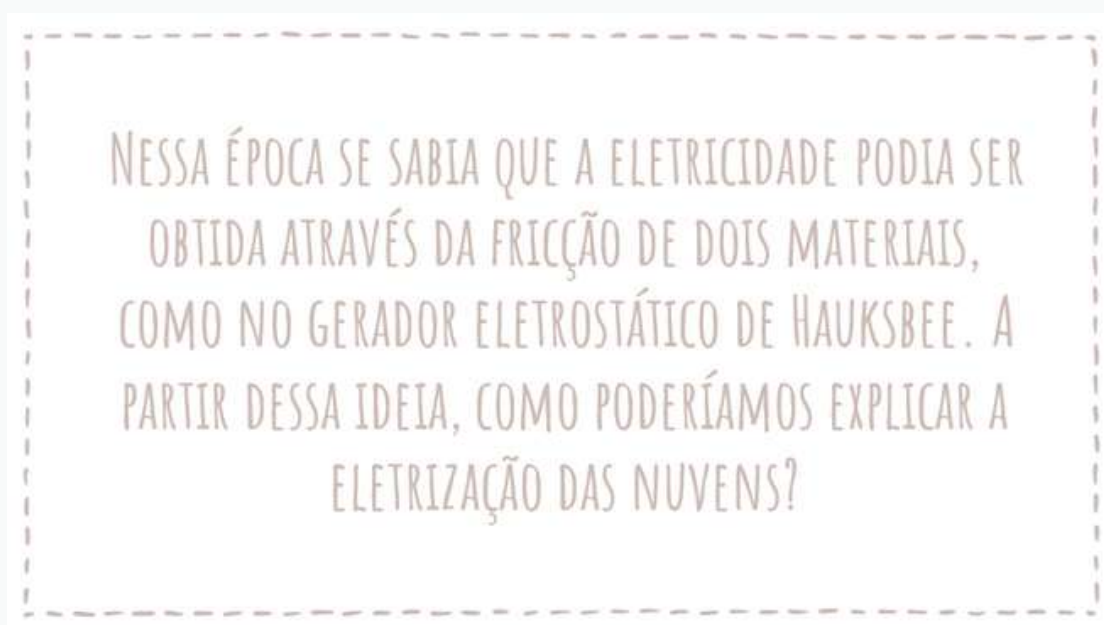
Além de descrever seus experimentos, Franklin também descreveu a sua teoria para explicar os fenômenos elétricos. Para ele os fenômenos eram causados por um único tipo de fluido, que podia estar em excesso ou em deficiência nos corpos. Foi da ideia de excesso e deficiência que nasceu a nomenclatura de eletricidade “mais” e eletricidade “menos”, que utilizamos até hoje. Nessa época várias pessoas estudavam eletricidade, mas ninguém sabia ao certo como esses fenômenos aconteciam. Uma das teorias mais aceitas na época era que a eletricidade era formada por dois fluidos diferentes, o vítreo e o resinoso. Essa ideia foi criada por Charles Du Fay, um filósofo natural francês.

De volta aos raios. Franklin era uma das pessoas que acreditavam que os raios em tempestades e as descargas elétricas em experimentos de laboratório eram da mesma natureza. Em uma de suas cartas, dessa vez enviada a John Mitchel, Franklin tentou explicar como as nuvens se eletrizam e se tornam cheias de fluido elétrico.



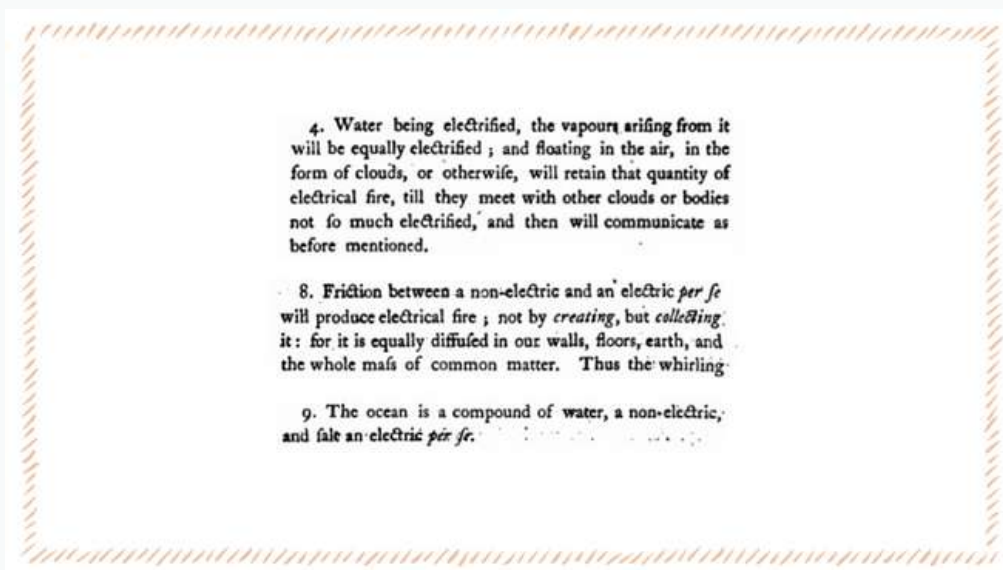


REFLEXÃO 5: Nessa época se sabia que a eletricidade podia ser obtida através da fricção de dois materiais, como no gerador eletrostático de Hauksbee. A partir dessa ideia, como poderíamos explicar a eletrização das nuvens? [9]

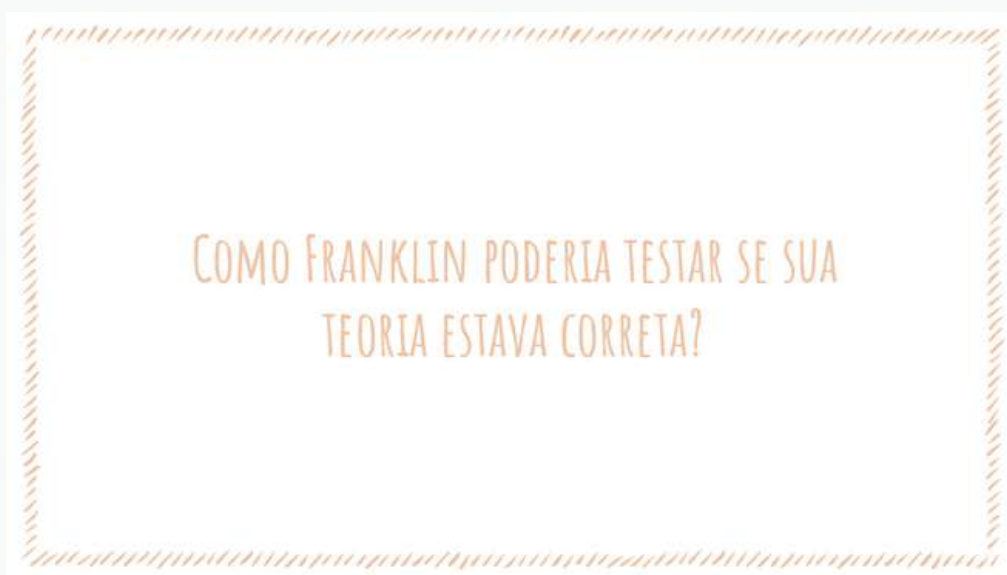


[9] A intenção por traz desse questionamento é levar os alunos a refletir sobre as formas de comunicação do século XVIII e também sobre a comunicação de novas descobertas no meio científico.

Franklin tentou explicar essa eletrização supondo que a água e o fogo elétrico se atraíam mutuamente. O oceano, feito de água e sal, era o local em que essa eletrização começava. Franklin acreditava que o atrito entre o sal e água era o que extraía o fogo elétrico e deixava a água (e seus vapores) eletrizados. A água eletrizada forma as nuvens eletrizadas que, ao entrar em contato com outras nuvens ou montanhas, descarregam o seu fogo elétrico na forma de um raio, assim como nos experimentos em laboratório.

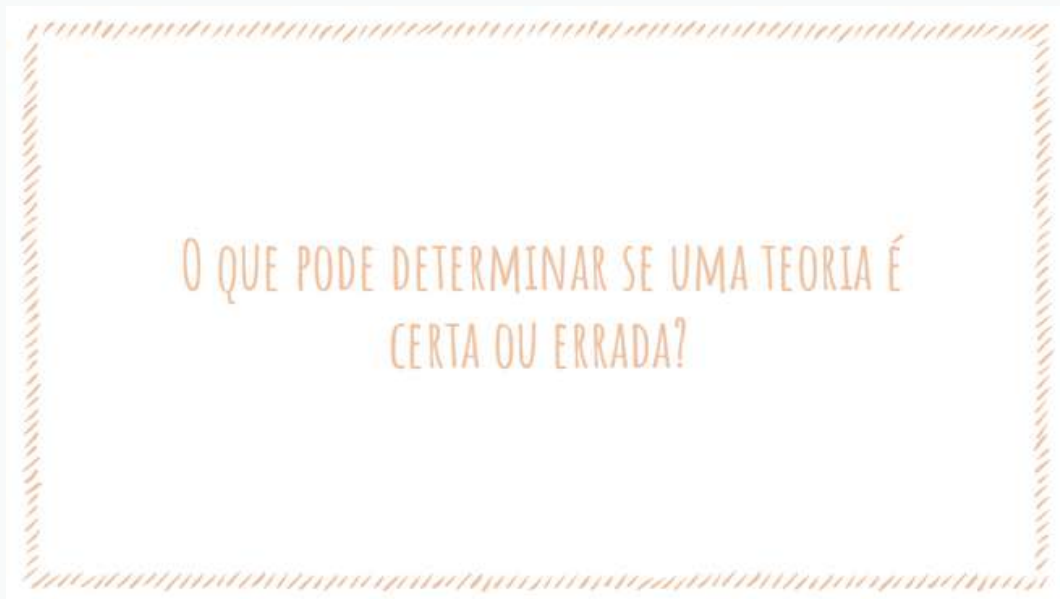


REFLEXÃO 6: Como Franklin poderia testar se sua teoria estava correta? [10]



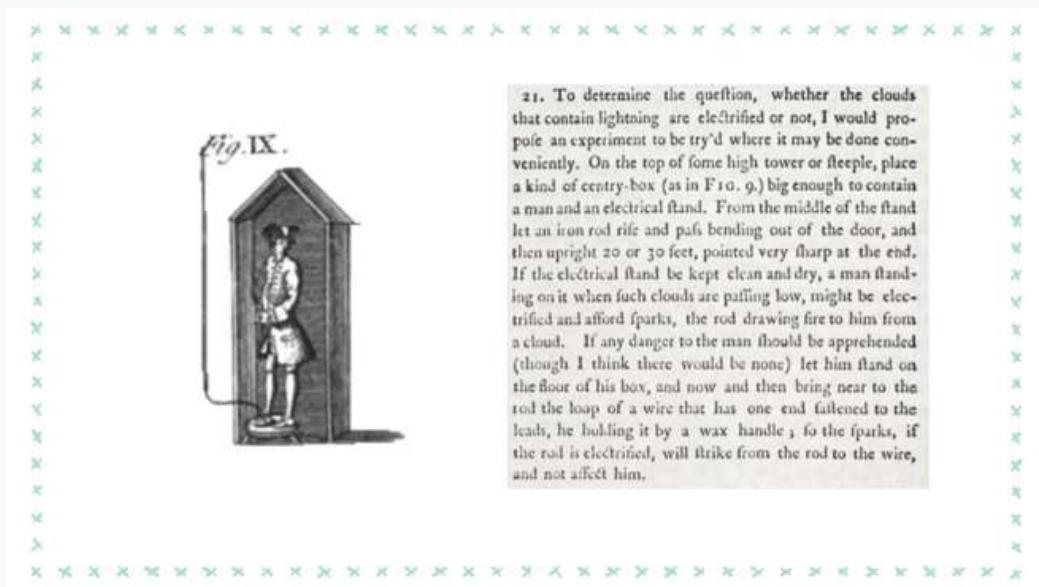
[10] A sexta reflexão foi pensada para reforçar, mais uma vez, a necessidade da experimentação.

REFLEXÃO 7: O que pode determinar se uma teoria é certa ou errada? [11]

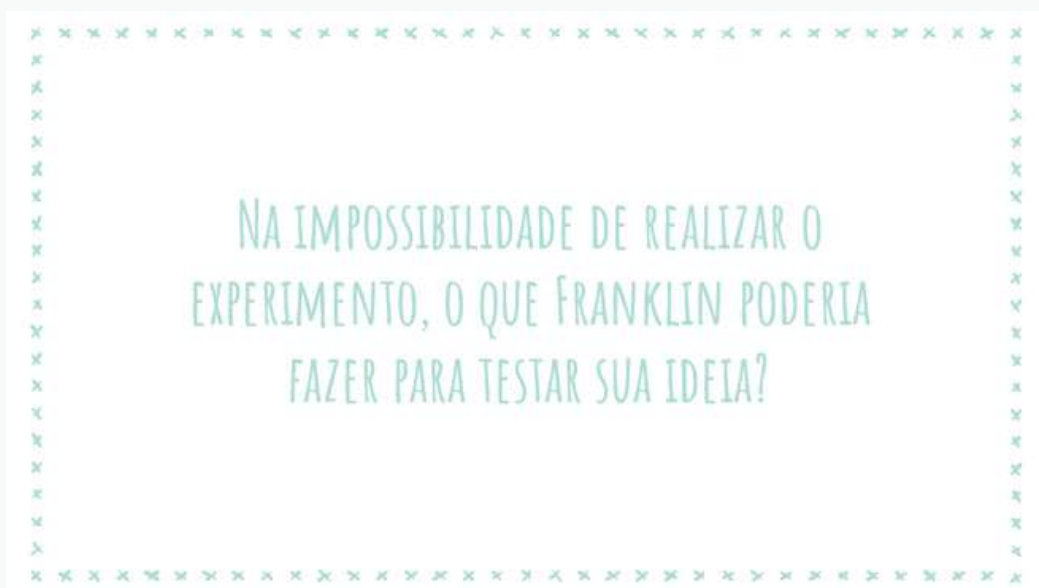


Unindo o poder das pontas e da eletrização das nuvens, Franklin teve uma ideia para testar de uma vez por todas se esses fenômenos eram da mesma natureza. Franklin desenhou um experimento que chamou de “experimento da guarita”. O objetivo desse experimento era determinar se as nuvens eram eletrizadas ou não, e se o fogo elétrico contido nela era o mesmo contido nas garrafas de Leyden. Para realizar essa tarefa, Franklin imaginou que uma ponta muito fina e muito alta poderia retirar o fogo elétrico de uma nuvem e transportá-lo para uma garrafa de Leyden. A haste seria erguida a partir de uma guarita, localizada no topo de um prédio alto. Além de extrair o fogo elétrico das nuvens, a pessoa dentro da guarita (e sobre um material isolante) poderia visualizar pequenas faíscas caso aproximasse outro objeto metálico da base da haste. Apesar de ter desenhado o experimento, Franklin não conseguiu realizá-lo.

[11] A sétima reflexão tem a intenção de verificar os conhecimentos prévios dos alunos sobre a confiabilidade do conhecimento científico, bem como iniciar uma reflexão de porque os conhecimentos científicos são confiáveis.



REFLEXÃO 8: Na impossibilidade de realizar o experimento, o que Franklin poderia fazer para testar sua ideia? [12]



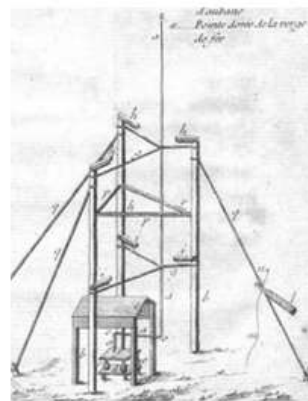
Na impossibilidade de realizar o experimento da guarita, Franklin pensou em outra forma de extrair o fogo elétrico das nuvens. Ele imaginou que a haste pontuda poderia ser colocada em uma pipa, e que essa pipa poderia ser empinada de forma que levasse a haste até a nuvem carregada. Para garantir a segurança do experimentador, Franklin sugeriu que a pessoa fizesse o experimento deveria estar protegida dentro de uma construção.

[12] A oitava reflexão foi colocada com a intenção de estimular a reflexão sobre a colaboração entre cientistas.



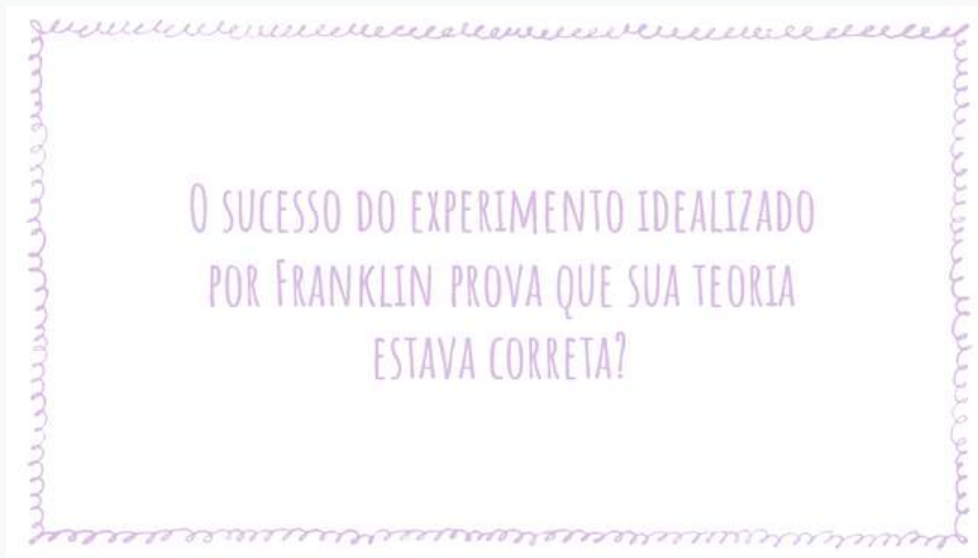
This kite is to be raised when a thunder gust appears to be coming on, and the person who holds the string must stand within a door or window, or under some cover, so that the silk ribbon may not be wet; and care must be taken that the twine does not touch the frame of the door or window. As soon as any of the thunder clouds come over the kite, the pointed wire will draw the electric fire from them, and the kite, with all the twine, will be electrified, and the loose filaments of the twine will stand out every way, and be attracted by an approaching finger. And when the rain has wet the kite and twine, so that it can conduct the electric fire freely, you will find it stream out plentifully from the key on the approach of your knuckle. At this key the phial may be charged; and from electric fire thus obtained, spirits may be kindled, and all the other electric experiments be performed, which are usually done by the help of a rubbed glass globe or tube, and thereby the sameness of the electric matter with that of lightning completely demonstrated.

Nesse experimento, o experimentador seria capaz de observar pequenas faíscas ao aproximar seu dedo de uma chave amarrada ao barbante da pipa. Apesar de sugerir o experimento da pipa em uma de suas cartas, não existem evidências de que o experimento tenha sido realizado por ele. O que Franklin não imaginava, é o primeiro experimento pensado por ele seria realizado logo mais.

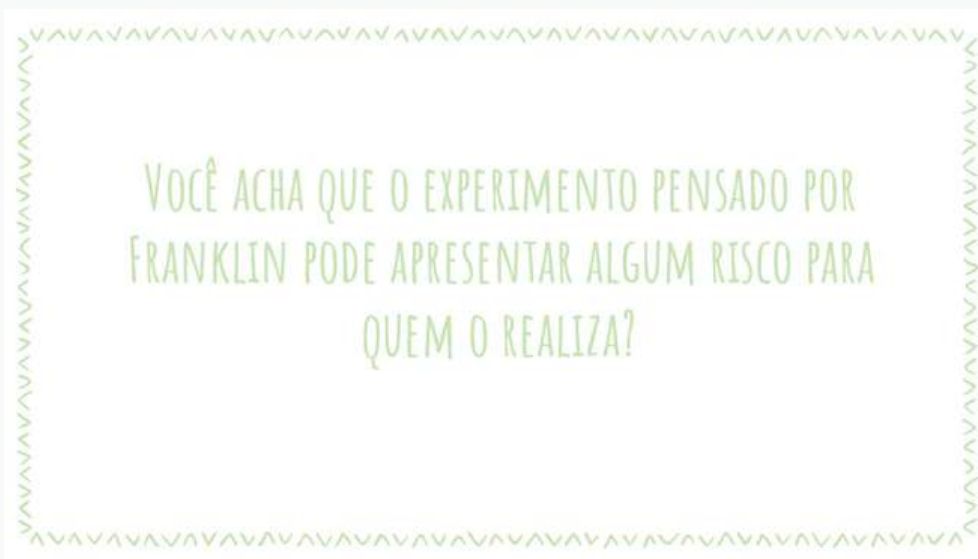


Franklin descreveu sua ideia de experimento da guarita, juntamente com muitas outras ideias, em uma das cartas que enviou para Peter Collinson. A carta acabou chegando até o Conde Buffon, na França, lá ela foi traduzida para o francês por T.F.D' Alibard, que resolveu reproduzir o experimento da guarita. D'Alibard teve sucesso no experimento e conseguiu concretizar o que Franklin imaginava, ele conseguiu extrair o fogo elétrico de uma nuvem e armazená-lo em uma garrafa de Leiden.

REFLEXÃO 9: O sucesso do experimento idealizado por Franklin prova que sua teoria estava correta? [13]



REFLEXÃO 10: Você acha que o experimento pensado por Franklin pode apresentar algum risco para quem o realiza? [14]



[13] A nona reflexão foi colocada para levar a discussão do que seria a confirmação de uma teoria, uma vez que o sucesso do experimento da guarita não corrobora que as ideias de Franklin sobre eletrização das nuvens estavam corretas, apenas indica que a eletricidade das nuvens é semelhante a eletricidade das garrafas de Leyden.

[14] A décima reflexão foi colocada para discutir os perigos dos raios em aulas posteriores e, também, para fazer uma análise das reproduções da mídia do experimento da pipa. Essa pergunta também foi colocada para dar suporte a pergunta 11, que aborda a recepção dos para-raios.

Em uma outra execução do experimento, em São Petersburgo, Georg Wilhelm Richmann faleceu ao ser eletrocutado por um raio que caiu sobre a guarita. Esse triste ocorrido diminuiu o entusiasmo criado pela primeira execução (bem sucedida) do experimento.



Na mesma carta que Franklin descreveu o experimento da guarita, ele também sugeriu que uma haste colocada no alto de um prédio poderia nos proteger dos perigos dos raios em tempestades. Isso porque a haste poderia retirar o fogo elétrico da nuvem e o levar para um lugar seguro: a Terra. Para isso, a haste colocada no alto do prédio deveria estar aterrada em sua outra extremidade, ou seja, enterrada no chão. Essa sugestão de Franklin é a primeira menção do que hoje conhecemos como o para-raios. Apesar de ter tido uma boa intenção, a ideia de Franklin não foi bem aceita por seus coetâneos.

REFLEXÃO 11: O que pode ter motivado a má recepção da ideia do para-raios? [15]

[15] A décima primeira reflexão foi colocada para verificar se os alunos tinham conhecimento de como um para-raios funciona e, também, para questionar a aceitação de novas teorias.

O QUE PODE TER MOTIVADO A MÁ RECEPÇÃO DA IDEIA DO PARA-RAIOS?

Uma das pessoas que mais criticou o trabalho de Franklin foi Jean-Antoine Nollet, um dos principais nomes da eletricidade na época. Suas críticas se devem principalmente ao fato de que as ideias de Franklin eram conflitantes com as de Nollet. Nollet chegou até acreditar que Franklin seria uma invenção do Conde Buffon, que era um de seus desafetos. Ele achou que as cartas seriam inventadas pelo Conde para atacá-lo. No entanto, Franklin nunca respondeu a essas críticas.

Assim como sugerido por Franklin, algumas hastes foram colocadas com o intuito de fornecer proteção a construções altas, hastes essas que foram derrubadas em meio ao preconceito daqueles que temiam os efeitos que poderiam ser causados pela eletricidade vinda das nuvens. O temor foi tamanho que se chegou a supor que a eletricidade poderia se acumular no solo e causar terremotos.

Would not these pointed rods probably draw the electrical fire silently out of a cloud before it came nigh enough to strike, and thereby secure us from that most sudden and terrible mischief?

“Essas hastes pontudas provavelmente não extrairiam o fogo elétrico silenciosamente de uma nuvem antes que ela chegasse perto o suficiente para golpear e, assim, nos proteger daquele mal mais súbito e terrível?”

REFLEXÃO 12: O que poderia ser feito para convencer as pessoas da época de que a haste fornece proteção para os prédios? [16]

O QUE PODERIA SER FEITO PARA CONVENCER AS
PESSOAS DA ÉPOCA DE QUE A HASTE FORNECE
PROTEÇÃO PARA OS PRÉDIOS?

Entretanto, aos poucos o aparato foi aceito e se tornou o para-raios que temos e utilizamos até hoje.

[16] A última reflexão foi colocada com a intenção de introduzir a divulgação científica, uma vez que esta seria uma possível solução para o problema apresentado. A discussão iniciada nesse momento pode ser retomada na última aula da sequência para apoiar a apresentação da proposta de avaliação.

Franklin ocupou vários cargos políticos ao longo dos anos e foi um dos americanos mais importantes de todos os tempos, sendo um dos responsáveis pela independência americana muitos anos depois.



Benjamin Franklin, John Adams e Thomas Jefferson



CONSIDERAÇÕES FINAIS

Há muito se discute sobre a importância da inserção da história da ciência no ensino, uma vez que, para que os alunos sejam capazes de compreender a cultura científica, é fundamental que sejam expostos a situações que ilustrem os aspectos internos e externos a ciência (CARVALHO, SASSERON, 2010). Apesar de sua indiscutível importância, é relevante apontar que a utilização de história da ciência no ensino apresenta algumas dificuldades em sua aplicação. O produto em questão foi construído com a intenção de contornar algumas dessas dificuldades: a disponibilidade de materiais. Apesar disso, para que o episódio histórico seja bem retratado e para que as reflexões provenientes dele sejam proveitosas, o professor precisa estar apto para lidar com a história de maneira crítica.

A sequência didática apresentada neste trabalho se mostrou um bom instrumento para fomentar discussões sobre a natureza da ciência. A atividade histórico-investigativa teve bons resultados em sua aplicação e certamente contribuiu para que os alunos tivessem uma visão menos distorcida da ciência e do fazer científico. Apesar disso, para que o aluno se aproprie desses conhecimentos, é imprescindível que sejam expostos a outras atividades que abordem as características da natureza da ciência ao longo de sua formação. Uma única atividade, em uma única ocasião, dificilmente cumprirá esse papel.

Aliada à proposta de fomentar a discussão sobre aspectos de natureza da ciência, a temática dos raios em tempestades se mostrou um bom instrumento para despertar o interesse inicial dos alunos sobre os temas de eletrostática e eletrodinâmica.

Os experimentos propostos, apesar de sua simplicidade, cumprem a função de proporcionar a “visualização” dos fenômenos de eletrização, atração e repulsão elétrica, o que facilita o entendimento por parte dos alunos.

É importante enfatizar que a sequência didática e os experimentos propostos tem a intenção de introduzir o assunto e o trabalhar de forma superficial, uma vez que as aulas são direcionadas a alunos do nono ano do ensino fundamental. Os conteúdos de eletrostática e eletrodinâmica voltarão a ser trabalhados na segunda série do ensino médio, desta vez com mais profundidade. Desta forma, a presença desse conteúdo no ensino fundamental tem propósito meramente introdutório.

A narrativa-investigativa, embora tenha sido apresentada dentro da sequência didática descrita, pode ser aplicada outros momentos e, também, em outras séries da educação básica. Por fim, espera-se que esse trabalho possa contribuir com outros professores no futuro.

REFERÊNCIAS

ALLCHIN, D. Historical inquiry cases for nature of Science learning. *Cadernos de História da Ciência*, v. 13, n. 2, 2017.

ALLCHIN, D. Teaching the nature of science: perspectives and resources. St. Paul, MN: SHIPS Education Press, 2013. 310 p.

ARAÚJO, M. S. T., ABIB, M. L. V. S. Atividades Experimentais no Ensino de Física: Diferentes Enfoques, Diferentes Finalidades. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, vol. 25, n. 2, junho, 2003.

BRASIL. Ministério da Educação. Base Nacional Comum Curricular. Brasília, 2018.

CARVALHO, A. M. P. As práticas experimentais no ensino de Física. In: _____. (org.). *Ensino de Física. Coleção Ideias em Ação*. São Paulo: Cengage Learning, 2010.

CARVALHO, A. M. P., SASSERON, L. H. Abordagens histórico-filosóficas em sala de aula: questões e propostas. In: CARVALHO, A. M. P. (org.). *Ensino de Física. Coleção Ideias em Ação*. São Paulo: Cengage Learning, 2010.

FRANKLIN, B. Experiments and observations on electricity, made at Philadelphia in America. 4th ed. London: [s.n.], 1769.

HEILBRON, J.L. Electricity in the 17th and 18th centuries – a study of early modern physics. University of California Press: Berkeley/ Los Angeles/ London, 1979.

MOURA, B. A. 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.

MOURA, B. A. BONFIM, T; Benjamin Franklin e a formação de temporais com raios e trovões: tradução comentada de uma carta a John Mitchel. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física, Florianópolis*, v. 34, n. 2, p. 460-478, ago. 2017.

SASSERON, L. H. Alfabetização científica, ensino por investigação e argumentação: relações entre ciências da natureza e escola. *Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências*, v. 17, p. 49-67, 2015.

SILVA, C. C.; PIMENTEL, A.C. Uma análise da história da eletricidade presente em livros didáticos: o caso de Benjamin Franklin. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 25, n. 1: p.141-159, abr. 2008.

SILVA, C. C.; PIMENTEL, A.C. As atmosferas elétricas de Benjamin Franklin e as interações elétricas no século XVIII. In: MARTINS, R.A.; SILVA, C.C.; FERREIRA, J.M.H.; MARTINS, L.A’C.P. (eds.). *Filosofia e história da ciência no cone sul – seleção de trabalhos do 5º encontro*. Campinas: Associação de Filosofia e História da Ciência do Cone Sul, 2008a.