

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”

FACULDADE DE CIÊNCIAS - CAMPUS BAURU

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
EDUCAÇÃO PARA A CIÊNCIA

SERGIO LUIZ BRAGATTO BOSS

Tradução Comentada de Artigos de Stephen  
Gray (1666-1736) e Reprodução de  
Experimentos Históricos com Materiais  
Acessíveis - subsídios para o ensino de  
eletricidade.

Bauru - SP

2011

SERGIO LUIZ BRAGATTO BOSS

**Tradução Comentada de Artigos de Stephen  
Gray (1666-1736) e Reprodução de  
Experimentos Históricos com Materiais  
Acessíveis - subsídios para o ensino de  
eletricidade.**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Educação para a Ciência, Área de Concentração em Ensino de Ciências, Faculdade de Ciências, UNESP - Universidade Estadual Paulista - Campus de Bauru, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor.

Orientador: Prof. Dr. André Koch Torres de Assis

Co-orientador: Prof. Dr. João José Caluzi

Bauru - SP

2011

SERGIO LUIZ BRAGATTO BOSS

Tradução Comentada de Artigos de Stephen Gray (1666-1736) e  
Reprodução de Experimentos Históricos com Materiais  
Acessíveis - subsídios para o ensino de eletricidade.

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. André Koch Torres de Assis  
Orientador - UNICAMP/IFGW

---

Prof. Dr. Marcos Cesar Danhoni Neves  
UEM/DFI

---

Profa. Dra. Lizete Maria Orquiza de  
Carvalho  
UNESP Ilha Solteira/DFQ

---

Profa. Dra. Shirley Takeco Gobara  
UFMS/DFI

---

Prof. Dr. Moacir Pereira de Souza Filho  
UNESP Presidente Prudente/DFQB

Bauru, 05 de dezembro de 2011.

# Dedicatória

Dedico este trabalho aos Meus Pais, Meus Irmãos e a Minha Querida Vanessa.

# Agradecimentos

- Agradeço aos meus pais pela vida, pelos ensinamentos e por todo incentivo;
- À Vanessa, um Anjo que Deus designou para me guardar nesta vida;
- Aos meus irmãos, por todo companheirismo, incentivo e carinho;
- À D. Abigail, sogra querida, que desde sempre me tratou como um filho;
- Ao orientador deste trabalho, Professor Doutor André Koch Torres de Assis, por todos os ensinamentos, pelo conhecimento que tem me proporcionado, pela paciência e por todo critério, rigor e minúcia com os quais sempre tratou este trabalho;
- Ao co-orientador deste trabalho, Professor Doutor João José Caluzi, por ter co-orientado esta tese, pelo inestimável conhecimento que tem me proporcionado desde a minha Iniciação Científica, por sempre ter acreditado e investido em mim, por toda a paciência que teve para comigo ao longo de todos esses anos. Aproveito para registrar aqui a minha admiração e o meu respeito, não só pela sua indiscutível competência profissional, mas também pelo exemplo de ser humano;
- Ao amigo Moacir Pereira de Souza Filho, grande companheiro de trabalho, por todos os momentos que trabalhamos juntos, pelo conhecimento que esta amizade e parceria tem me trazido, por todo o incentivo e auxílio durante esta caminhada;
- Ao amigo João Paulo Martins de Castro Chaib, por todas as discussões sobre História da Ciência, pelos trabalhos que fizemos juntos e pelo aprendizado que essa interação tem me proporcionado;
- Ao amigo Diogo Roversi, pelo companheirismo, torcida e incentivo de longa data;
- Ao Professor Doutor Paulo Noronha Lisboa Filho, por todo incentivo, ensinamentos e pelo apoio de sempre;
- Ao Professor Doutor Marcelo Carbone Carneiro, pelos preciosos ensinamentos;
- À Professora Doutora Ana Maria de Andrade Caldeira, por todo incentivo e apoio que tem me dado desde a Iniciação Científica;

- Aos Professores Doutores Edson Sardella, Francisco Carlos Lavarda, Renato Tonin Ghiotto, Denise Fernandes de Mello, Rosa Scalvi e Elizabete Rubo, do Departamento de Física da UNESP/Bauru, pela forma gentil com que sempre me trataram, pelo incentivo e pela torcida de sempre;
- À Ana Grijo, Andressa Talon, Denise Felipe e Gethiely Gasparini, funcionárias da Seção de Pós-Graduação da Faculdade de Ciências da UNESP-Bauru, por toda atenção e presteza para com os alunos;
- Aos funcionários da Biblioteca da UNESP/Bauru, em especial ao pessoal do serviço de “Empréstimo Entre Bibliotecas” (EEB) e COMUT;
- À Minervina e à Fátima, funcionárias da Biblioteca da UNESP-Bauru por toda presteza e atenção que têm para comigo desde a minha graduação;
- Ao Professor Paulo Tondin, Coordenador Pedagógico da “E. E. Gabriel Monteiro da Silva” (Marília/SP) durante o período em que fui professor lá, agradeço por todo esforço que fez para que eu pudesse conciliar as disciplinas do doutorado com as aulas na Escola, por todas as conversas sempre muito esclarecedoras que tivemos, por todo carinho com que me tratou desde a nossa primeira conversa e por toda torcida e incentivo;
- À Professora Dra. Lizete Maria Orquiza de Carvalho e ao Professor Dr. Marcos Cesar Danhoni Neves pelas valiosas sugestões apresentadas no exame geral de qualificação e na defesa desta tese. À Professora Dra. Shirley Takeco Gobara e ao Professor Dr. Moacir Pereira de Souza Filho pelas valiosas sugestões apresentadas na defesa desta tese. À Professora Lizete agradeço também por toda a contribuição que deu a este trabalho desde o seu início;
- Ao Professor Dr. Mário Noboru Tamashiro pela leitura criteriosa desta tese e pelas valiosas sugestões apresentadas ao final do trabalho;
- À Arlete Guimarães e Gerlan Sampaio, funcionários dos Laboratórios Didáticos do Centro de Formação de Professores da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, por toda a gentileza e auxílio em todas as vezes que utilizei os Laboratórios para fazer experimentos desta tese.

# Resumo

A literatura específica da área de Ensino de Ciências tem apresentado importantes discussões sobre dificuldades de aprendizagem e compreensão de conceitos científicos pelos alunos. Diante disso, já há algum tempo a História da Ciência tem sido defendida enquanto elemento que pode auxiliar no processo de ensino-aprendizagem dos conceitos científicos. Apesar do potencial educacional que é atribuído à História da Ciência e do esforço que tem sido feito para aproximá-la da educação científica, existem algumas barreiras que podem inviabilizar o sucesso desta aproximação, impedindo que ela cumpra, efetivamente, o seu papel frente ao Ensino de Ciências. Dentre as barreiras que a literatura aponta, destacamos a falta de material histórico de qualidade e acessível a alunos e professores que possa subsidiar práticas metodológicas em sala de aula. No bojo dessa escassez está a falta de traduções de fontes primárias para o português. Tendo em vista tal contexto, este trabalho de doutorado tem como objetivo geral fazer a tradução comentada dos dez artigos de Stephen Gray (1666-1736) relacionados à eletricidade. Dos dez textos traduzidos, nove foram publicados no periódico *Philosophical Transactions of The Royal Society* e uma carta foi publicada por Chipman (1954). Como objetivo específico propomos elaborar um conjunto de elementos, os quais denominamos de *recursos didáticos*, que possam ampliar o acesso de professores e alunos ao conteúdo das traduções: comentários em forma de notas; figuras; experimentos históricos com material de baixo custo; breve biografia do autor do texto traduzido; linha do tempo do período em questão; introdução geral ao texto. Stephen Gray foi um importante, porém pouco mencionado, pesquisador do início do Século XVIII. Seu trabalho trouxe importantes contribuições para a área da eletricidade. Dentre seus feitos encontram-se: a verificação da transmissão da eletricidade e da eletrização por indução, a proposição da existência de materiais condutores e não-condutores de eletricidade, assim como as principais características destes materiais, entre outros. Este trabalho se justifica na medida em que contribui para a diminuição da escassez de material histórico adequado para a educação em ciências, um problema sério que pode colocar em xeque a aproximação entre a História da Ciência e o Ensino de Ciências. Além disso, colabora com a discussão sobre a acessibilidade do conteúdo de material histórico para a educação científica, ponto que entendemos como essencial quando se pensa no sucesso daquela aproximação.

Palavras-chave: Traduções Comentadas. Experimentos Históricos com material de baixo custo. História da Ciência. Ensino de Ciências.

# Abstract

The specific literature related to Science Education has presented important discussions on the difficulties faced by students in the learning and understanding of scientific concepts. In this context, some time ago the History of Science has been advocated as an element that can facilitate the process of teaching scientific concepts. Despite the educational potential that is assigned to the History of Science and the effort that has been done to bring it closer to Science Education, there are some barriers that can hinder the success of this approach, preventing it to fulfill effectively its role with the teaching of science. Among the barriers pointed out by the literature, we emphasize the lack of historical material with quality and accessible to students and teachers that can subsidize methodological practices in the classroom. Among this shortage of historical material, there is a lack of Portuguese translations of primary sources. Given this context, the main goal of this PhD work is the translation into Portuguese of the ten articles of Stephen Gray (1666-1736) related to electricity. Of the ten translated texts, nine were published in the *Philosophical Transactions of The Royal Society* and a letter was published by Chipman (1954). The specific goal of this thesis is to prepare a set of elements, which we will call *teaching resources*, that can expand the access of the content of the translations to teachers and students: comments as notes; figures; historical experiments with low-cost material; brief biography of the author of the translated text; timeline of the period; and a general introduction to the text. Stephen Gray was an important, though rarely mentioned, researcher at the beginning of the Eighteenth Century. His work has brought important contributions to the field of electricity. Some of his accomplishments: verification of the transmission of electricity and of the electrification by induction, the proposition of the existence of conducting and non-conducting materials of electricity, the main properties of these materials, among others. The justification of this work is that it contributes to reducing the shortage of historical material suitable for science education, a serious problem that can threaten the close connection between History of Science and Science Education. Moreover, it contributes with the discussion on the accessibility of the content of historical material for Science Education, an aspect that we consider as a crucial point related to the success of that approach.

Keywords: Commented Translations. Historical Experiments made with low cost material. History of Science. Science Teaching.



# Sumário

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	p. 14
1.1	Considerações Iniciais . . . . .	p. 14
1.2	A História da Ciência e o Ensino de Ciências . . . . .	p. 16
1.2.1	Traduções de Fontes Primárias e o Ensino de Ciências . . . . .	p. 24
1.2.2	Os Experimentos Históricos e o Ensino de Física . . . . .	p. 27
1.3	O Problema de Pesquisa, Objetivos e Justificativas . . . . .	p. 29
1.3.1	O Problema de Pesquisa . . . . .	p. 29
1.3.2	Objetivos do Trabalho . . . . .	p. 30
1.3.3	As Justificativas . . . . .	p. 30
1.4	Considerações sobre os Recursos Didáticos . . . . .	p. 34
1.4.1	Comentários em Forma de Notas . . . . .	p. 34
1.4.2	Figuras . . . . .	p. 35
1.4.3	Experimentos Históricos . . . . .	p. 36
1.4.4	Breve Biografia, Linha do Tempo e Informações Introdutórias . . . . .	p. 37
1.5	A Estrutura da Tese . . . . .	p. 38
1.5.1	Metodologia . . . . .	p. 38
<b>2</b>	<b>Informações Introdutórias sobre o Trabalho</b>	p. 40
2.1	Considerações Gerais . . . . .	p. 40
2.2	O Versório, o Eletroscópio e o Pêndulo Elétrico . . . . .	p. 41
2.2.1	O Versório de Gilbert . . . . .	p. 41
2.2.2	O Eletroscópio e os Materiais Condutores e Isolantes . . . . .	p. 45

2.2.3	O Pêndulo Elétrico . . . . .	p. 49
2.3	Testes Iniciais . . . . .	p. 51
2.3.1	Eletrização dos Materiais . . . . .	p. 51
2.3.2	Quais Materiais são Condutores ou Isolantes? . . . . .	p. 57
2.4	Sobre a “Linha Pendular” e a “Linha Branca” . . . . .	p. 60
2.4.1	A Linha Pendular . . . . .	p. 60
2.4.2	A Linha Branca . . . . .	p. 62
2.5	Diferenças entre os Vidros da Época de Gray e os Vidros Atuais . . . . .	p. 63
2.5.1	Comportamento Isolante ou Condutor . . . . .	p. 63
2.5.2	Densidade Superficial das Cargas Geradas pelo Atrito . . . . .	p. 65
2.5.3	Tipo de Carga Adquirida por Atrito . . . . .	p. 66
<b>3</b>	<b>Uma Breve Biografia de Stephen Gray e uma Linha do Tempo</b> . . . . .	<b>p. 69</b>
3.1	Uma Breve Biografia de Stephen Gray (1666-1736) . . . . .	p. 69
3.1.1	Introdução . . . . .	p. 69
3.1.2	Algumas Dificuldades para a Elaboração de uma Biografia . . . . .	p. 71
3.1.3	Dados Biográficos de Stephen Gray . . . . .	p. 72
3.1.3.1	Alguns Dados sobre Sua Vida . . . . .	p. 72
3.1.3.2	Os Trabalhos de Gray e Seu Relacionamento com a Comunidade Científica . . . . .	p. 75
3.1.4	Considerações sobre a Carreira de Stephen Gray . . . . .	p. 80
3.1.5	Comentários Finais . . . . .	p. 82
3.1.6	Lista de Publicações de Stephen Gray . . . . .	p. 82
3.2	Linha do Tempo . . . . .	p. 86
3.2.1	Relação de Gray com a <i>Royal Society</i> . . . . .	p. 86
3.2.2	Fatos e Publicações Importantes Contemporâneos à Gray . . . . .	p. 87
3.2.3	Fatos Importantes da Vida de Gray . . . . .	p. 88

<b>4</b>	<b>Tradução 1</b>	p. 89
4.1	Tradução 1 - Carta de Stephen Gray para Hans Sloane de 3 de Janeiro de 1707/8 . . . . .	p. 89
4.1.1	Introdução . . . . .	p. 89
4.1.2	Tradução . . . . .	p. 90
4.2	Experimentos . . . . .	p. 100
4.2.1	Introdução . . . . .	p. 100
4.2.2	Experimentos com Materiais Acessíveis . . . . .	p. 100
4.2.2.1	1º Experimento . . . . .	p. 100
4.2.2.2	2º Experimento . . . . .	p. 105
4.2.2.3	4º Experimento . . . . .	p. 109
4.2.2.4	5º Experimento . . . . .	p. 111
4.2.2.5	9º Experimento . . . . .	p. 116
4.2.2.6	10º Experimento . . . . .	p. 122
4.2.2.7	10º Experimento [ <i>sic</i> ] . . . . .	p. 124
<b>5</b>	<b>Tradução 2</b>	p. 126
5.1	Tradução 2 - Uma Descrição de Alguns Experimentos Elétricos Novos .	p. 126
5.2	Experimentos . . . . .	p. 131
5.2.1	Introdução . . . . .	p. 131
5.2.2	Experimentos com Materiais Acessíveis . . . . .	p. 131
<b>6</b>	<b>Tradução 3</b>	p. 141
6.1	Tradução 3 - Uma Carta para Cromwell Mortimer, M. D. Secr. R. S. Contendo Vários Experimentos a Respeito da Eletricidade . . . . .	p. 141
6.2	Experimentos . . . . .	p. 173
6.2.1	Introdução . . . . .	p. 173
6.2.2	Experimentos com Materiais Acessíveis . . . . .	p. 173

<b>7 Tradução 4</b>	p. 211
7.1 Tradução 4 - Uma Carta a Respeito da Eletricidade da Água, do Sr. Stephen Gray para Cromwell Mortimer, M. D. Secr. R. S. . . . . .	p. 211
7.2 Experimentos . . . . .	p. 217
7.2.1 Introdução . . . . .	p. 217
7.2.2 Experimentos com Materiais Acessíveis . . . . .	p. 217
<b>8 Tradução 5</b>	p. 226
8.1 Tradução 5 - Uma Carta do Sr. Stephen Gray para o Dr. Cromwell Mortimer, Secr. R. S. Contendo Descrições Adicionais de seus Experimentos a Respeito da Eletricidade . . . . .	p. 226
8.2 Experimentos . . . . .	p. 234
8.2.1 Introdução - Os Eletretos . . . . .	p. 234
8.2.2 Os Materiais Utilizados . . . . .	p. 236
8.2.3 Confecção das Peças de Cada Substância . . . . .	p. 239
<b>9 Tradução 6</b>	p. 249
9.1 Tradução 6 - Duas Cartas do Sr. Stephen Gray F. R. S. para C. Mortimer, M. D. Secr. R. S. Contendo Descrições Adicionais de seus Experimentos a Respeito da Eletricidade . . . . .	p. 249
9.1.1 Carta I . . . . .	p. 249
9.1.2 Carta II . . . . .	p. 266
9.2 Experimentos . . . . .	p. 271
9.2.1 Introdução . . . . .	p. 271
9.2.2 Experimentos com Materiais Acessíveis . . . . .	p. 271
<b>10 Tradução 7</b>	p. 284

10.1	Tradução 7 - Experimentos e Observações sobre a Luz que é Produzida pela Comunicação da Atração Elétrica para Corpos Animados ou Inanimados, Juntamente com Alguns dos seus mais Surpreendentes Efeitos; Comunicado em uma Carta do Sr. Stephen Gray, F. R. S. para Cromwell Mortimer, M. D. Secr. R. S. . . . . .	p. 284
10.2	Experimentos . . . . .	p. 297
10.2.1	Introdução . . . . .	p. 297
10.2.2	Experimentos com Materiais Acessíveis . . . . .	p. 300
<b>11</b>	<b>Tradução 8</b>	p. 308
11.1	Tradução 8 - Uma Carta de Stephen Gray, F. R. S. para o Dr. Mortimer, Secr. R. S. Contendo Alguns Experimentos Relacionados à Eletricidade . . . . .	p. 308
11.2	Experimentos . . . . .	p. 315
11.2.1	Introdução . . . . .	p. 315
11.2.2	Experimentos com Materiais Acessíveis . . . . .	p. 316
<b>12</b>	<b>Tradução 9</b>	p. 320
12.1	Tradução 9 - Sr. Stephen Gray, F. R. S. sua Última Carta para Granville Wheler, Esq.; F. R. S. a Respeito das Revoluções que Pequenos Corpos Pendulares, pela Eletricidade, Fazem em torno de Grandes Corpos de Oeste para Leste como Fazem os Planetas ao Redor do Sol . . . . .	p. 320
<b>13</b>	<b>Tradução 10</b>	p. 322
13.1	Tradução 10 - Um Relato de Alguns Experimentos Elétricos Planejados para serem Comunicados à <i>Royal Society</i> pelo Sr. Stephen Gray, F. R. S. Tomado de sua Boca por Cromwell Mortimer, M. D. Secr. R. S. em 14 de Fevereiro de 173 <sup>5</sup> /6. Sendo o Dia Anterior a Sua Morte . . . . .	p. 322
13.2	Experimentos . . . . .	p. 328
13.2.1	Introdução . . . . .	p. 328
13.2.2	Experimentos com Materiais Acessíveis . . . . .	p. 328

**14 Considerações Finais**

p. 332

**Referências**

p. 338

# 1 Introdução

## 1.1 Considerações Iniciais

Dificuldades sobre a aquisição e compreensão de conceitos científicos, bem como questões referentes ao processo de ensino-aprendizagem destes conceitos, têm sido objetos de estudo em diversas pesquisas na área de Ensino de Ciências. Algumas destas dificuldades são descritas por vários trabalhos (FURIO; GUIASOLA, 1998a, 1998b, 1999; SOUZA FILHO, 2009). É visível a discrepância que há entre o conteúdo “ensinado” pelo professor e o que é aprendido pelo aluno. Os exemplos de persistência de esquemas alternativos após os alunos terem passado por processos formais de ensino-aprendizagem, em qualquer nível de ensino, apontam para um distanciamento da educação científica com o processo de construção do conhecimento, e uma parte significativa das dificuldades enfrentadas para se ensinar Física advém da falta de consciência sobre aquele distanciamento (ROBILOTTA, 1988, p. 15);(DANHONI NEVES, 1998, p. 78). Nas últimas décadas a ciência tem sido abordada e ensinada como um dado, raramente se considera a possibilidade da sua construção e integração com outras áreas e com as necessidades diárias do cidadão. Com a insistência na perpetuação de uma ciência dogmatizada, descontextualizada, a-histórica e individualizada, o conhecimento dos estudantes “tende a manter inalterada suas estruturas em esquemas alternativos que respondem melhor à cotidianidade do mundo” (DANHONI NEVES, 1998, p. 74 e 78).

Cotidianamente, em nossas escolas, e por que não dizer, também, em nossas universidades, os alunos “aprendem” o mínimo necessário para serem aprovados e o conteúdo aprendido muitas vezes não ultrapassa o mero significado instrumental. Vários fatores concorrem para que esta situação permaneça estabelecida em nossas salas de aula, dentre os quais destacamos quatro: i) apesar das pesquisas realizadas sobre concepções alternativas, estas são pouco consideradas na organização educacional, seja em nível de currículo ou de aula, e o aluno ainda é considerado uma “*tábula rasa*”, desprovido de qualquer conhecimento; ii) utiliza-se um formalismo matemático complicado e opressor, as questões e

problemas são meras aplicações de “fórmulas” e expressões matemáticas; iii) os exemplos não se aproximam de situações familiares para os alunos e se afastam de seu universo significante; iv) o ensino de ciências não preza pela *abordagem contextual*, isto é, abordagem da educação científica que considera a História e Filosofia da Ciência. (VILLANI, 1984, p. 77 e 79);(FREIRE JR., 2002, p. 13);(TEIXEIRA; FREIRE JR.; EL-HANI, 2009). Embora o texto escrito por Villani (1984) tenha mais de vinte e cinco anos, ele é bastante atual no que tange à crítica ao Ensino de Ciências que é praticado em nossas salas de aula. Documentos oficiais, como os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN's), corroboram a referida crítica ao evidenciar que o ensino de Física em nível Médio é realizado, comumente, por meio da apresentação de conceitos, leis e “fórmulas”, de maneira desarticulada e vazios de significados; expressões matemáticas são utilizadas em situações artificiais, separando a linguagem matemática de seu significado físico; insiste-se na solução de questões e problemas repetitivos, gerando apenas aprendizagem por memorização (BRASIL, 2000, p. 22). Desta forma, o ensino não preza pela compreensão conceitual e carece de sentido e significado.

Frente a este cenário educacional, em que a educação científica não tem conseguido atingir seus objetivos, destacamos um equívoco cometido por muitos de nós, os Professores, durante o processo de ensino da Física: a *banalização* dos conceitos científicos. Acreditamos que isso colabora de forma contundente para o insucesso do processo de ensino-aprendizagem dos conceitos em todos os níveis de ensino. (BOSS; SOUZA FILHO; CALUZI, 2009, p. 202). Segundo Dias (2001, p. 226-7), a Física não é trivial. No entanto, a utilização dos seus conceitos ao longo do tempo tende a torná-los triviais e simples, trazendo-nos a falsa sensação de que são “óbvios”, “mágicos”, fáceis de serem apreendidos e compreendidos. Na medida em que a Física é tratada como uma disciplina de fácil compreensão, que este corpo de conhecimentos que é, sim, bastante complicado e repleto de sutilezas é tratado de modo simplificado e simplista, desprezam-se não apenas as dificuldades de compreensão intrínsecas a ela, mas desprezam-se muitas dificuldades conceituais que os alunos têm para entendê-la. O conhecimento que a Física traz em seu bojo forma um todo articulado e complexo, e parte da dificuldade de se ensinar esse conhecimento advém do fato de que pouco reconhecemos ou consideramos essa complexidade em toda a sua extensão. Isso tudo acaba tornando os conceitos físicos ininteligíveis aos estudantes, e seu ensino tende a ficar cada vez mais propedêutico e menos significativo. A apreensão dos conceitos físicos é bastante laboriosa e não pode ser tratada como algo corriqueiro ou banal. (DIAS, 2001, p. 226-7);(ROBILOTTA, 1988, p. 9).

Estas críticas ao ensino de Física aplicam-se tanto ao ensino em nível Médio quanto



Superior. Neste contexto e diante dos pontos que destacamos anteriormente, há algum tempo tem se discutido sobre a validade e sobre a importância da abordagem histórica nos currículos escolares. Busca-se com isso contribuições importantes para que o Ensino de Ciências consiga vencer a crise pela qual passa.

## 1.2 A História da Ciência e o Ensino de Ciências

A aproximação entre a História da Ciência (de agora em diante HC) e o Ensino de Ciências tem sido discutida já há algum tempo na área de Educação em Ciências e tem sido apontada como um elemento importante para uma educação científica de qualidade (EL-HANI, 2007, p. 294). Neste cenário, muitas pesquisas têm sido desenvolvidas e “a inclusão de componentes de história e filosofia da ciência em vários currículos nacionais” é destacada como um fator importante daquela aproximação (MATTHEWS, 1995, p. 165). Um estudo publicado em meados da década de 1990 mostrou que “a inclusão da História e Filosofia da Ciência nos currículos escolares” era apontada como uma das prioridades em eventos nacionais e internacionais, da área de ensino de física, realizados nos quatro primeiros anos daquela década. Segundo as autoras da pesquisa, que propuseram certa categorização para a análise dos dados, a categoria História e Filosofia da Ciência foi aquela cuja inclusão curricular apresentou maior consenso (CARVALHO; VANNUCCHI, 1996, p. 14).

No caso do Brasil, temos um reflexo daquela aproximação tanto no currículo do ensino básico quanto do superior. Na educação básica isso pode ser observado nos Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio (PCN's), os quais preconizam que o ensino de Física, em nível médio, deve contribuir para a formação de uma cultura científica efetiva, permitindo ao cidadão a interpretação de fatos, fenômenos e processos naturais. Entretanto, para que isto se torne realidade, é essencial, entre outras coisas, “que o conhecimento físico seja explicitado como um processo histórico, objeto de contínua transformação e associado às outras formas de expressão e produção humanas”. (BRASIL, 2000, p. 22). No entanto, não é possível dizer que os PCN's comprometam-se, de fato, com a proposta de uma abordagem consistente da História da Ciência no Ensino, uma vez que o documento apresenta apenas comentários pontuais sobre a questão e não faz um tratamento mais sistemático sobre aspectos históricos e filosóficos na educação científica (EL-HANI, 2007, p. 294-5). Neste mesmo sentido, vários trabalhos têm apresentado discussões sobre a inserção dos aspectos históricos nos currículos do ensino superior brasileiro (EL-HANI, 2006);(PEDUZZI, 2007);(EL-HANI, 2007);(ROSA; MARTINS, 2007);(MOREIRA; MASSONI; OS-

TERMANN, 2007);(PEREIRA, 2009). Sem qualquer pretensão de promovermos uma discussão pormenorizada acerca de currículo, é possível dizer que a História da Ciência tem estado presente nos currículos da educação básica e superior, tanto do Brasil quanto de outros países (MATTHEWS, 1994). Isso evidencia a importância de se realizar pesquisas que possam subsidiar as alterações, modificações e reestruturações curriculares com relação à abordagem histórica.

Esse destaque que a História da Ciência tem ganhado frente aos currículos vem atrelado a um conjunto de justificativas, possibilidades e discussões sobre a relevância da aproximação entre a História da Ciência e o Ensino de Ciências. Apresentaremos a seguir três excertos extraídos de trabalhos que, sob nosso ponto de vista, exemplificam e sistematizam tais argumentos. Michael Matthews (1995) afirma que:

A tradição contextualista assevera que a história da ciência contribui para o seu ensino porque: (1) motiva e atrai os alunos; (2) humaniza a matéria; (3) promove uma compreensão melhor dos conceitos científicos por traçar seu desenvolvimento e aperfeiçoamento; (4) há um valor intrínseco em se compreender certos episódios fundamentais na história da ciência - a Revolução Científica, o darwinismo, etc.; (5) demonstra que a ciência é mutável e instável e que, por isso, o pensamento científico atual está sujeito a transformações que (6) se opõem a ideologia cientificista; e, finalmente, (7) a história permite uma compreensão mais profícua do método científico e apresenta os padrões de mudança na metodologia vigente. (MATTHEWS, 1995, p. 172-3).

Segundo Carvalho e Vannucchi (1996), discutiu-se na V Reunião Latino-Americana sobre Educação em Física - (RELAEF) sobre a importância dos estudos em História e Filosofia da Ciência para a formação de professores, tendo em vista proporcionar:

1 - uma maior compreensão da natureza do conhecimento científico; 2 - um melhor entendimento dos conceitos e teorias da Física; 3 - uma compreensão dos obstáculos e possíveis dificuldades dos alunos e 4 - uma concepção das ciências como empresa coletiva e histórica e o entendimento das relações com a tecnologia, a cultura e a sociedade (CARVALHO; VANNUCCHI, 1996, p. 7).

Também encontramos na tese defendida por Bastos (1998, p. 36-7) uma síntese de argumentos por meio dos quais se procura defender e ressaltar a relevância dos aspectos históricos para a educação científica:

(a) evidenciar o caráter provisório dos conhecimentos científicos; (b) preparar indivíduos adaptados a uma realidade em contínua transformação (isto resultaria em parte de 'a'); (c) evidenciar os processos básicos por

meio dos quais os conhecimentos são produzidos e reproduzidos; (d) evidenciar as relações mútuas que vinculam ciência, tecnologia e sociedade; (e) evidenciar as características fundamentais da atividade científica e, assim, promover a alfabetização científica dos indivíduos (isto resultaria em parte de ‘a’, ‘c’ e ‘d’); (f) preparar indivíduos para uma cidadania crítica e atuante (isto resultaria em parte de ‘a’, ‘b’, ‘c’, ‘d’ e ‘e’); (g) estimular o interesse dos alunos pelas disciplinas científicas, ao quebrar a monotonia dos programas de ensino estritamente direcionados para aspectos técnicos; (h) oportunizar o contato dos alunos com indagações, evidências, argumentos, teorias e interpretações que estimulem a mudança conceitual ou a aquisição de concepções mais aceitáveis do ponto de vista científico; (i) melhorar a aprendizagem de conceitos, hipóteses, teorias, modelos e leis propostos pela ciência (isto resultaria em parte de ‘g’ e ‘h’); (j) suscitar a admiração pelas realizações da ciência e incentivar o aluno se tornar um futuro cientista; (k) caracterizar a ciência como parte integrante da herança cultural das sociedades contemporâneas; (l) promover a alfabetização cultural dos indivíduos (isto resultaria em parte de ‘e’ e ‘k’).

Segundo Freire Jr. (2002), esses argumentos sistematizados por Matthews (1995), Carvalho e Vannucchi (1996) e Bastos (1998) ganham destaque diante da questão de *“por que ensinar ciências na educação básica”*. A alfabetização científica constitui-se um desafio de primeira grandeza diante de uma sociedade tão transformada e influenciada pela ciência e tecnologia. Entende-se que o grande desafio, neste contexto, é formar um cidadão crítico frente a ciência, cuja função e papel devem se tornar parte das preocupações de qualquer ser humano. O problema a ser enfrentado não é apenas o de como ensinar conteúdos específicos de ciências, mas como a educação científica pode contribuir para a formação do cidadão crítico e atuante. (FREIRE JR., 2002, p. 20-1). Ou seja, uma pessoa que não domine apenas os conceitos, mas que saiba refletir sobre a própria ciência, suas implicações e consequências para a sociedade (EL-HANI, 2007, p. 296).

Tendo em vista a adesão crescente que a abordagem histórica tem recebido na educação em ciências e a relevância, que a ela vem sendo atribuída, para a formação do cidadão crítico, Freire Jr. (2002, p. 24-7) aponta três desafios que devem ser enfrentados pelos educadores e pesquisadores da área de Ensino de Ciências: i) a eficácia da abordagem contextual no ensino de ciências; ii) a assimetria que existe entre as proposições e as práticas em sala de aula com esta abordagem; iii) qual é a história da ciência que interessa à educação científica.

No que tange ao primeiro desafio, partindo das conclusões de uma pesquisa que buscava investigar, “de modo comparativo, o estado da difusão do recurso à história da ciência em cerca de 40 países”, Freire Jr. (2002, p. 24-5) ressalta duas lições com relação à eficácia da abordagem contextual: i) não basta apenas o ensino de história, filosofia e sociologia

da ciência, é preciso dar destaque, também, ao conteúdo da ciência, pois sem isso o ensino a partir de uma abordagem contextual pode mais confundir os alunos do que qualquer outra coisa e, por outro lado, se transformar em aulas de estudos sociais; ii) a formação de professores é a chave para que o ensino de ciências consiga atingir seu objetivo quanto à alfabetização científica. Concordamos com a ideia de que o conteúdo específico de ciências é fundamental em qualquer cenário em que se objetive alfabetizar cientificamente o cidadão, uma vez que para que este tenha condições de se tornar crítico e atuante é condição necessária que ele tenha domínio dos conceitos científicos.

Neste sentido, se retomarmos as sínteses feitas por Matthews (1995), Carvalho e Vannucchi (1996) e Bastos (1998) quanto às justificativas, possibilidades e importância da História da Ciência para o Ensino de Ciências, perceberemos que é comum o argumento de que a partir daquela aproximação é possível uma melhor compreensão dos conceitos científicos no processo de ensino-aprendizagem. Subjacente a este argumento, está a convicção de que um entendimento bem fundamentado é necessariamente histórico, que a melhor forma de se entender um conceito é por meio de sua construção histórica (MATTHEWS, 1994, p. 50-1). Segundo Teixeira, Greca e Freire Jr. (2009, p. 20-1), algumas pesquisas têm reportado “conclusões positivas em termos de aprendizagem como um efeito do uso didático da História e Filosofia da Ciência”. Ou seja, propostas metodológicas fundamentadas em aspectos históricos, quando implementadas em sala de aula, têm trazido bons resultados no que tange à apreensão dos conceitos pelos alunos. O estudo histórico permite a análise conceitual, pois é o foro onde esta análise pode ser feita, permite rever conceitos, criticá-los e recuperar significados (DIAS, 2001, p. 226). Segundo Dias (2001):

A História da proposição de um conceito mostra não somente *como* o conceito foi criado, mas, sobretudo, seu *porquê*; a História mostra as questões para cujas soluções o conceito foi introduzido, revela o *quê* o conceito faz na teoria, sua função e seu significado. A História revive os elementos do pensar de uma época, revelando, pois, os ingredientes com que o pensamento poderia ter contado na época em que determinada conquista foi feita. Ela desvenda a *lógica* da construção conceitual; nesse esforço, ela revela, também, os “buracos lógicos” que o conceito preenche, revivendo o próprio ato intelectual da criação científica. (DIAS, 2001, p. 227).

O segundo desafio destacado por Freire Jr. (2002, p. 25-6), isto é, a assimetria que existe entre as proposições e as práticas em sala de aula, tem como subsídio a pesquisa realizada por Carvalho e Vannucchi (1996, p. 14), que advertia que a tendência de inclusão da história e filosofia da ciência nos currículos escolares não se refletia na sala de aula, pois a ênfase observada nas proposições não era observada nos trabalhos e análises de

experiências práticas. Chamando, desta forma, a atenção para “uma grande discrepância entre o que se propõe e o que se faz em termos de ensino de Física no Brasil” (CARVALHO; VANNUCCHI, 1996). Outros estudos têm dado destaque a esta discrepância. Uma pesquisa publicada no XIII Encontro de Pesquisa em Ensino de Física - (EPEF - 2011) analisou os trabalhos publicados em todos os EPEF’s realizados na primeira década deste século que versavam sobre História da Ciência e Ensino de Física, e concluiu que há uma “discrepância entre a quantidade de trabalhos voltados para a sala de aula e a quantidade de trabalhos que apresentam contribuições e subsídios para a inserção/consolidação da HFC no Ensino de Física”, sendo que o segundo tipo aparece em número bem maior que o primeiro. Por outro lado, o estudo mostra que há uma tendência crescente de propostas implementadas em sala de aula. No entanto, a pesquisa identificou apenas quatro trabalhos com esta característica no EPEF de 2010. (SCHIRMER; SAUERWEIN, 2011). Ou seja, o estudo evidencia que, apesar de crescente, ainda é tímida a realização de investigações empíricas sobre a temática em discussão.

No que tange ao terceiro desafio, isto é, “*qual a história da ciência interessa à educação científica*”, Freire Jr. (2002, p. 26-7) destaca o fato de as pesquisas em História da Ciência se apresentarem praticamente polarizadas entre dois extremos, um enfatizando o caráter social da ciência e o outro o caráter conceitual.<sup>1</sup> Neste contexto, o autor lança mão da ideia expressa por Matthews (1995) de que a educação científica deve objetivar, simultaneamente, um aprendizado “*em*” ciências e “*sobre*” ciências<sup>2</sup>, para ressaltar a importância de a abordagem histórica no ensino de ciências prezar, também, pela reflexão sobre a ciência, tendo em vista a alfabetização científica. Este ponto de vista traz para o debate a reflexão sobre qual dos dois enfoques das pesquisas em História da Ciência deve ser incorporado à educação científica. Adicionamos a esta discussão sobre “*qual a história da ciência interessa à educação científica*”, a preocupação quanto à maneira como os aspectos históricos têm sido veiculados e divulgados em materiais voltados para o ensino, independente do enfoque historiográfico.

<sup>1</sup>Segundo a Professora Lilian Martins (2005), na História da Ciência há subáreas e enfoques distintos. Destacamos duas possíveis abordagens. i) A *abordagem conceitual*, também chamada de interna ou internalista, na qual se “discute os fatores científicos (evidências, fatos de natureza científica) relacionados a determinado assunto ou problema. Procura responder a perguntas tais como, se determinada teoria estava bem fundamentada, considerando o contexto científico de sua época”. ii) A abordagem *não-conceitual*, também denominada de externa ou externalista, “lida com os fatores extracientíficos (influências sociais, políticas, econômicas, luta pelo poder, propaganda, fatores psicológicos). Por exemplo: se uma teoria estava bem fundamentada para sua época e foi rejeitada, o porquê da rejeição da mesma diz respeito a fatores não-conceituais”. (MARTINS, 2005, p. 306). Sobre esta questão também é interessante consultar Martins (2000b).

<sup>2</sup>Ou seja, “os alunos de primeiro e segundo grau devem aprender não somente o conteúdo das ciências atuais mas também algo acerca da *natureza da ciência*” (MATTHEWS, 1995, p. 166).

Em geral, a história da ciência que está disponível para os professores, seja em livros didáticos ou paradidáticos, materiais de divulgação ou qualquer outro material que não seja proveniente de estudos acadêmicos, é caricata e distorcida. Os aspectos históricos, que deveriam contribuir para um ensino contextual, levam a visões distorcidas sobre a natureza da ciência, geram e sedimentam concepções empírico-indutivistas da ciência, reforçam os mitos e anedotas populares (*e.g.*, a maçã de Newton (MARTINS, 2006b) e o episódio de Arquimedes e a coroa do rei (MARTINS, 2000a)), apresentam uma ciência constituída de verdades irrefutáveis e por “grandes gênios”, apresentam discussões anacrônicas que em nada contribuem para a análise conceitual. O conteúdo histórico é reduzido e apresentado sob a forma de datas, nomes, eventos isolados e linhas do tempo, em geral, em caixas desconectadas do texto onde o conteúdo científico é apresentado. Muitas vezes, a narrativa anedótica é a preferida. (HOTTECKE; SILVA, 2011, p. 304-5).

A Professora Lilian Martins (2005, p. 314-5) coloca que “a História da Ciência é feita por seres humanos e se constitui em uma reconstrução de fatos e contribuições científicas”, porém é comum encontrar alguns problemas nessas reconstruções “que devemos procurar evitar ao máximo”. Neste sentido, a pesquisadora discute quatro problemas. O primeiro deles é a História da Ciência puramente descritiva, repleta de datas e informações irrelevantes para o que está sendo estudado. “Este tipo de História da Ciência apresenta, muitas vezes, alguns indivíduos como gênios que tiraram suas ideias e contribuições do nada e outros como verdadeiros imbecis que faziam tudo errado. Passa ao leitor uma visão completamente distorcida do processo de construção do pensamento científico”. (MARTINS, 2005, p. 314).

Um segundo problema é a interpretação *anacrônica* da História, “que consiste em estudar o passado com os olhos do presente” (MARTINS, 2005). Busca-se no passado apenas o que é aceito atualmente e ignora-se o contexto da época. Por exemplo, buscar em textos e pesquisadores antigos por conceitos desenvolvidos posteriormente àquela época, ou valorizar no passado apenas aquilo que é atualmente aceito. “O ideal seria que o historiador da ciência procurasse se familiarizar com a atmosfera da época que está estudando sem perder de vista o que veio depois (História da Ciência diacrônica)” (MARTINS, 2005, p. 314-5). “Em cada época e em cada autor o estilo de pensamento é diferente, e é preciso conhecer bem essas diferenças em vez de procurar encontrar a identidade entre autores e épocas distintos. Não se pode também criticar autores antigos utilizando argumentos e fatos muito posteriores”. (MARTINS, 2005, p. 314-5).

Um terceiro problema “é a utilização ideológica da História da Ciência (de forma

nacionalista, política ou religiosa)” (MARTINS, 2005). Um quarto problema é denominado de “apudismo”. O *apud* é uma expressão geralmente utilizada para indicar a fonte de uma citação. Emprega-se o termo “apudismo” aos trabalhos historiográficos em que seus autores utilizam com frequência o termo *apud*, pois basearam-se apenas em informações provenientes de fontes secundárias e sem consultar as fontes primárias. (MARTINS, 2005, p. 315). Os problemas referentes à História da Ciência não se resumem a esses quatro, no entanto, esta síntese feita pela Professora Lilian Martins (2005, p. 314-5) ilustra bem alguns problemas importantes e bastante comuns em materiais históricos disponíveis para a educação em ciências.

A distorção dos aspectos históricos presentes nos materiais voltados para o ensino tem sido apontada como uma dificuldade bastante importante com relação à aproximação HC e Ensino de Ciências, que pode, inclusive, colocá-la em xeque. Segundo Martins (2006a), há certa quantidade de material sobre HC, mas o problema é a sua qualidade. Em geral, são feitos por escritores improvisados, que são pessoas sem treino na área, que se baseiam em obras não especializadas, utilizam informações de jornais, enciclopédias e da internet, misturam tudo e publicam. Isso acaba gerando obras com informações históricas equivocadas, que deturpam a própria natureza da ciência. (MARTINS, 2006a, p. XXIV). A literatura específica da área tem apresentado nos últimos anos inúmeros problemas com relação à história da ciência presente nos materiais disponíveis aos educadores, apenas para citar alguns exemplos (MARTINS, 2001);(MEDEIROS; MONTEIRO, 2002);(OSTERMANN; RICCI, 2004);(CALUZI; SOUZA FILHO; BOSS, 2007);(GUÇÃO et al., 2008).

Diante desta reflexão, Hottecke e Silva (2011, p. 304) afirmam que “o efeito da inclusão da História da Ciência no Ensino de Ciências depende principalmente de qual História da Ciência é usada e como ela é usada”. Ou seja, entendemos que o sucesso da abordagem histórica na educação científica está diretamente relacionada ao tipo de história da ciência disponível aos educadores e pesquisadores. Se for uma história da ciência distorcida, caricata e anedótica, em nada poderá contribuir com a alfabetização científica. Por outro lado, por mais criteriosa que seja a história da ciência disponível, se os professores não estiverem preparados para trabalhar com a abordagem contextual, ela pouco poderá contribuir com a educação científica.

A partir desta breve discussão a respeito da aproximação entre a História da Ciência e educação científica, é possível dizer que, apesar da relevância desta aproximação não ser um consenso (RUFATTO; CARNEIRO, 2011, p. 30), ela tem ganhado adesão crescente de educadores e pesquisadores da área de Ensino de Ciências. Um fator bastante importante

a ser destacado neste processo é a abordagem histórica ser contemplada por diversos currículos nacionais. A partir dos argumentos expostos anteriormente sobre as justificativas, possibilidades e relevância da referida aproximação, fica evidente que tanto a abordagem internalista quanto a externalista da História da Ciência devem fazer parte da educação em ciências, pois ambas trazem contribuições importantes para a alfabetização científica. No entanto, a comunidade acadêmica tem apontado alguns problemas que precisam ser enfrentados se quisermos que, de fato, a abordagem histórica contribua com o ensino de ciências, tendo em vista a formação do cidadão crítico e alfabetizado cientificamente. O não enfrentamento de alguns desses problemas colocará, sem dúvida alguma, a História da Ciência em uma posição nociva para a educação científica.

Um obstáculo bastante importante que a literatura específica da área tem apontado é a ausência de material histórico em português, de bom nível, que possa subsidiar as práticas metodológicas em sala de aula (MARTINS, 2006a, p. XXIV), bem como a falta de conteúdo adequado de História da Ciência em livros texto (HOTTECKE; SILVA, 2011, p. 295);(HOTTECKE; HENKE; RIESS, 2010). Segundo Schirmer e Sauerwein (2011), após uma análise dos trabalhos publicados nos EPEF's de 2002 a 2010, concluiu-se que “a produção de materiais para implementação no ensino parece ser preterida, o que culmina na escassez destes materiais” (SCHIRMER; SAUERWEIN, 2011). A escassez evidenciada nesta pesquisa é notória para qualquer docente de disciplinas científicas, de nível básico ou superior, que tem ou já teve interesse pela abordagem histórica.

Além da falta de material, destacamos um outro problema, que é a acessibilidade do material histórico de qualidade para professores e alunos. Nos referimos à acessibilidade ao conteúdo em si, pois este, muitas vezes, não é acessível para estudantes ou professores que não trabalham com História da Ciência. Segundo Bastos (2009, p. 52), “os textos de História da Ciência disponíveis para consulta dificilmente se adaptam às necessidades específicas do Ensino de Ciências na escola fundamental e média, talvez porque não reúnam simultaneamente, de modo sintético e numa linguagem acessível, os diferentes aspectos que o professor pretende discutir em sala de aula”.

No caso das traduções de fontes primárias, sobre cuja relevância para o ensino de ciência discorreremos na subseção seguinte, entendemos que essa dificuldade de acesso pode estar relacionada à linguagem das traduções, que em alguns momentos acaba sendo atípica e pode implicar certa dificuldade de leitura e entendimento para os leitores não acostumados (BOSS, 2009). Algumas palavras presentes nos textos históricos são um problema sério para o estudo dos mesmos, pois em muitas ocasiões a mesma palavra presente



em um texto do Século XVIII é utilizada atualmente com um significado completamente diferente. Se o leitor não for alertado sobre isso, existe uma possibilidade bastante grande de ele não entender o material lido. Outra dificuldade é a interpretação e o entendimento dos experimentos e dos fenômenos descritos. Muitos alunos nos reportam que não conseguem, sequer, imaginar o aparato descrito no texto. Tarefa que, de fato, muitas vezes não é simples, pois vários textos não trazem elementos que auxiliem o leitor, como por exemplo figuras. Ou seja, o trabalho com traduções de fontes primárias em sala de aula tem nos mostrado que é preciso começar a pensar não só em fazer materiais históricos de qualidade, mas também pensar em maneiras de torná-los acessíveis para docentes e discentes.

### 1.2.1 Traduções de Fontes Primárias e o Ensino de Ciências

Neste contexto, em que a abordagem histórica tem sido aproximada do Ensino de Ciências, alguns trabalhos têm apontado o potencial educacional de se trabalhar com traduções de *fontes primárias*<sup>3</sup> (GALDABINI; ROSSI, 1993);(MONTENEGRO, 2005b);(MONTENEGRO, 2005a);(COLONESE, 2009);(BOSS, 2009);(BUENO, 2009);(BUENO; PACCA, 2009);(FRANÇA SILVA, 2010);(BOSS; SOUZA FILHO; CALUZI, 2010). Atuando nesta linha de pesquisa, já há algum tempo temos trabalhado com a inserção da História da Ciência no Ensino de Física, discutindo possíveis contribuições que este consórcio pode trazer para o ensino dos conceitos científicos, especificamente no que tange à utilização de traduções de fontes primárias em sala de aula em nível Superior (BOSS; SOUZA FILHO; CALUZI, 2009b, 2009a; GUÇÃO et al., 2009; SOUZA FILHO; BOSS; CALUZI, 2009; BOSS et al., 2008; BOSS, 2009). Nossos trabalhos evidenciam que a inserção e discussão de traduções de fontes primárias em sala de aula, quando aliadas a metodologias específicas para esta abordagem e sob a perspectiva da Teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel (AUSUBEL, 1968; AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980; AUSUBEL, 2003), podem trazer importantes

<sup>3</sup>No que tange à definição de *fontes primárias*, nos parece haver alguma diferença de significado entre os textos que citamos. Acerca da definição do termo temos: i) “bibliografia secundária (ou seja, aquilo que outros historiadores da ciência já fizeram antes) [...] bibliografia primária (ou seja, as obras científicas e filosóficas antigas do período estudado)” (MARTINS, 2001, p. 116); ii) “fontes primárias (material da época estudada escrito pelos pesquisadores estudados) e fontes secundárias (estudos historiográficos e obras de apoio (estas obras podem ser trabalhos de filósofos e biógrafos) a respeito do período e dos autores investigados)” (MARTINS, 2005, p. 310). Portanto, nesta tese entende-se como fonte primária os textos escritos e publicados por Gray e por seus contemporâneos (*i.e.*, Hauksbee, Du Fay, etc.). Qualquer outro texto que apresente estudos realizados sobre essas fontes primárias e seus autores será considerado como fonte secundária. Algumas vezes nos referimos às fontes primárias como “textos originais”. Apesar disso, a expressão remete a materiais específicos: “Os ‘originais’ são documentos diretamente produzidos por um autor, geralmente únicos. São comumente chamados de ‘manuscritos’, mesmo quando são datilografados ou digitados. Algumas vezes, a partir do original pode ter sido feita uma ‘cópia’ manuscrita (por um secretário ou copista, por exemplo)” (MARTINS, 2005, p. 310).

elementos para o processo educacional e contribuir para a aprendizagem significativa dos conceitos científicos.

Segundo Langevin (1992, p. 8-11), voltar às fontes clarifica as ideias, a abordagem histórica torna os conceitos e as teorias menos dogmáticos. Villani et al. (1997) argumentam que a partir do estudo histórico é possível tornar algumas teorias mais inteligíveis para alunos de graduação, complementando e enriquecendo os processos de ensino que têm sido praticados, indo além dos aspectos experimentais e matemáticos. Sugerem, desta forma, que se deve analisar historicamente a gênese e o desenvolvimento de teorias e conceitos, inserindo e privilegiando discussões detalhadas sobre os princípios científicos. (VILLANI et al., 1997, p. 44). Pesquisas em Ensino de Ciências têm abordado questões sobre leitura, uso e funcionamento de textos. Algumas delas destacam a leitura dentro da perspectiva da formação de sujeitos-leitores, buscando gerar hábitos de leitura. Os autores sugerem a leitura de textos alternativos ao livro didático, tais como textos de divulgação científica, *originais de cientistas*, textos literários e paradidáticos. A utilização em sala de aula é realizada como uma prática cultural, e espera-se que possa ser estendida para além dos portões da escola e do período da vida escolar. (ZIMMERMANN; SILVA, 2007, p. 1).

Zanetic (1998), ao discutir sobre literatura e cultura científica, sugere, por exemplo, que a argumentação desenvolvida por Galileu em seu “*Diálogo*”<sup>4</sup> e no “*Discurso*”<sup>5</sup> poderia ser utilizada em sala de aula para se discutir de forma mais significativa alguns dos conceitos fundamentais da mecânica. Ao mesmo tempo, permite ao professor apresentar aos estudantes a forma como tais ideias surgiram e os meandros dessa construção por meio da fala de um dos seus criadores mais importantes. Argumenta, ainda, que a inserção daqueles textos em sala de aula é uma ótima maneira para que os nossos estudantes, leitores contemporâneos que começam a ingressar no estudo da Física Clássica, possam “compreender a essência galileana do movimento de queda dos corpos, ou seja, a temporalização do movimento que representou o início da construção das equações da cinemática” (ZANETIC, 1998, p. 25).

Neste mesmo sentido, Assis (1998), quando discute um possível caminho para uma aproximação no ensino entre a Física e a Literatura, sugere que os professores indiquem a seus estudantes a leitura das obras de grandes autores já traduzidas para o português, como Galileu, Huygens, Newton, etc. O estudo sistematizado dessas obras permite ao aluno conhecer “como alguns dos principais cientistas que moldaram a nossa visão de mundo encaravam a ciência e quais procedimentos adotavam em seus trabalhos”, auxili-

<sup>4</sup>Livro: *Diálogo sobre os Dois Máximos Sistemas do Mundo Ptolomaico e Copernicano*.

<sup>5</sup>Livro: *Discurso e Demonstrações Matemáticas em Torno de Duas Novas Ciências*.

ando na formação do espírito crítico dos aprendizes. (ASSIS, 1998, p. 33). O autor assinala, por exemplo, a possibilidade da utilização de obras como o “*Óptica*” de Newton (1996) e o “*Tratado Sobre a Luz*” de Huygens (1986), ambos já traduzidos para o português, para implementar a discussão em sala de aula da “visão corpuscular sobre a luz de Newton e a visão ondulatória de Huygens” (ASSIS, 1998, p. 39).

Em um texto em que discute sobre a utilização da abordagem histórica no Ensino de Física, Pessoa Jr. (1996) comenta sobre ensinar História da Ciência a partir da leitura de traduções de originais. “Em um curso de Física o professor daria traduções de textos originais de Copérnico, Huygens ou Faraday para os alunos lerem. Esta atividade em geral reserva boas surpresas para o leitor, nos detalhes dos relatos estudados, mas existe uma falta de traduções para o português.” (PESSOA JR., 1996, p. 5).

No âmbito da formação de professores, o trabalho com traduções de fontes primárias pode auxiliar pesquisadores, professores e licenciandos na árdua missão de compreender as dificuldades, obstáculos e conhecimentos prévios dos aprendizes e a entender e respeitar as dúvidas deles. Nos auxilia a perceber que os conceitos físicos não são triviais ou banais e nem fáceis de serem entendidos, chamando a nossa atenção para tentarmos abordá-los com mais cuidado no processo de ensino-aprendizagem, tendo em vista as dificuldades enfrentadas na construção e desenvolvimento do conhecimento científico. (CARVALHO; VANNUCCHI, 1996, p. 7). Segundo Villani et al. (1997, p. 51), determinadas dificuldades da comunidade científica ao longo da história chamam a atenção para dificuldades não-desprezíveis dos estudantes ao aprenderem uma nova teoria. Entretanto, não estamos dizendo que a ontogênese repete a filogênese, ou que exista uma correspondência estrita entre o curso histórico e o desenvolvimento da inteligência. O estudo dos originais pode dar “indicativos” sobre o desenvolvimento individual, apontando possíveis dificuldades e auxiliando professores e pesquisadores no ensino e nas pesquisas sobre ensino de conceitos científicos. Segundo Monk e Osborne (1997, p. 412-3), a noção de que a ontogênese recapitula a filogênese não é corroborada por resultados de pesquisas sobre a evolução histórica de conceitos científicos.

No que tange ao ensino dos conceitos científicos, seja na escola em nível básico ou na universidade, as pesquisas têm mostrado que traduções de fontes primárias possuem um potencial importante enquanto ferramenta para o processo de ensino-aprendizagem. Os textos traduzidos podem contribuir de forma bastante relevante para a aprendizagem conceitual. Implícita a isto está a convicção de que um entendimento conceitual bem-fundamentado ocorre, necessariamente, por meio da abordagem histórica dos conteúdos

(MATTHEWS, 1994, p. 50-1).

A discussão apresentada até aqui nos parece fornecer subsídios para argumentarmos que o trabalho com traduções de fontes primárias no processo de educação científica pode, entre várias outras possibilidades, auxiliar na compreensão conceitual e, portanto, contribuir com o processo de ensino-aprendizagem dos conceitos físicos. Entretanto, é nítida a escassez de traduções de fontes primárias para o português, como bem destacou Pessoa Jr. (1996, p. 5). Isso é evidente para qualquer pesquisador que se propõe a trabalhar com HC e Ensino de Ciências e para os professores que se dispõem a utilizar traduções de originais em suas aulas de Física. Sendo assim, este é um problema que precisa ser enfrentado para que este tipo de material passe a existir e seja acessível para os professores e alunos.

## 1.2.2 Os Experimentos Históricos e o Ensino de Física

Um outro elemento que é apontado como relevante para a abordagem histórica na educação científica é o *experimento histórico*<sup>6</sup>. Nos últimos anos têm sido publicados vários trabalhos sobre o potencial e a relevância da construção e utilização de *experimentos históricos* no Ensino de Ciências (MEDEIROS; MONTEIRO JR., 2001);(PAULA, 2006);(KOPONEN; MANTYLA, 2006);(CAVICCHI, 2008);(HEERING; WITTJE, 2011);(CAVICCHI, 2011). Destacam-se duas tendências no que tange às formas como um aparato experimental histórico pode ser construído. A primeira delas é praticada por um grupo da Universidade de Oldenburg e “se caracteriza pela reprodução fiel dos mínimos detalhes dos instrumentos” (MEDEIROS; MONTEIRO JR., 2001). Esta forma de construir um aparato histórico é chamada de *replicação* ou *reprodução*. Nesta vertente:

reconstruir o aparelho significa construir um dispositivo que corresponda o mais próximo possível a todas as informações dadas pelas fontes. Fontes não são apenas as publicações originais, mas também poderiam ser cadernos de laboratório, manuscritos, cartas e instrumentos que têm sobrevivido, por exemplo, em museus ou em coleções universitárias. Com base em todas as informações a reconstrução do dispositivo (“*set-up*”) é realizada. (HEERING, 2005, p. 319).

A segunda tendência é praticada por um grupo da *Bakken Library and Science Museum* e “os instrumentos não são reproduzidos tão meticulosamente quanto aqueles construídos em Oldenburg. Entretanto, os artefatos históricos produzidos [...] guardam, ainda

<sup>6</sup>A literatura traz algumas definições para *experimentos históricos*. Nesta tese trabalhamos com a definição dada por Chang (2011, p. 317): são “experimentos que surgem a partir do estudo da ciência do passado, e não a partir da ciência atual e na sua preparação pedagógica”.

assim, os princípios físicos fundamentais contidos em suas fontes inspiradoras” (MEDEIROS; MONTEIRO JR., 2001). Este segundo tipo de construção de um aparato histórico é chamado de *replicação física* (“*physical replication*”) por Chang (2011, p. 320), que defende que:

o principal objetivo é reproduzir os fenômenos físicos que foram criados e observados em experimentos do passado. [...] Na replicação física usam-se instrumentos convenientes e procedimentos que ajudarão a criar o fenômeno de interesse, e a fidelidade aos detalhes do experimento original é de interesse secundário. O desafio filosófico na replicação física não é a verificação da exatidão de repetição, mas a caracterização do fenômeno a ser replicado. (CHANG, 2011, p. 320).

Neste mesmo sentido, Metz e Stinner (2006) apresentam uma forma de construção de aparatos históricos chamada de *representações históricas*, que seria uma resposta à “lacuna deixada pela falta de recursos e métodos que impedem a integração da história da ciência no ensino de ciências regular” (METZ; STINNER, 2006). Segundo os autores, é uma adaptação do processo de replicação descrito por Heering (2005) que implica no desenvolvimento de atividades históricas para serem utilizadas nas aulas de ciências, uma vez que se reconhece o acesso limitado que os professores têm aos métodos e recursos historiográficos. A representação histórica recomenda um método de construção de experimentos históricos em que as características fundamentais daqueles experimentos sejam preservadas. Os “materiais alternativos e adaptações inovadoras não são apenas permitidos, eles são incentivados. [...] A acessibilidade e a natureza de baixo custo dos materiais são atraentes para os professores, cujos recursos são limitados. Além disso, nós preferimos que os alunos construam seu próprio aparelho”. Do ponto de vista da metodologia de aplicação dos experimentos em sala de aula, são utilizados numa abordagem diferente da tradicional, não há verificação de princípios ou leis, a experimentação “destina-se a fornecer pistas para um modelo explicativo que leva a um pensamento científico mais formal” (METZ; STINNER, 2006, p. 6).

Os trabalhos publicados apresentam alguns objetivos e justificativas para a utilização educacional dos experimentos históricos. Segundo Hottecke (2000), textos de fonte primária, muitas vezes, não trazem detalhes da descrição de processos experimentais, e técnicas podem não ser completamente registradas em escritos ou figuras. A reprodução de experimentos históricos pode, assim, auxiliar no acesso ao conhecimento tácito, tornando compreensíveis detalhes não-compreensíveis da descrição de um experimento. A replicação pode auxiliar a atingir e enriquecer o entendimento de textos históricos originais. (HOTTECKE, 2000, p. 346). Segundo Chang (2011, p. 322-3), experimentos históricos

podem ser utilizados para aprimorar o nosso entendimento sobre a natureza da ciência, ou para refinar nossa Filosofia da Ciência; também podem ser úteis para “melhorar o conhecimento científico em si, ou seja, para ganhar mais conhecimento, melhor ou diferente da natureza que a ciência atual oferece” (CHANG, 2011, p. 322-3). Por outro lado, podem auxiliar a avaliar as intenções que há por trás dos textos deixados pelos cientistas do passado, e “se a replicação falha, apesar dos esforços sérios, nos dá motivo para re-examinar as intenções e até mesmo a honestidade dos cientistas do passado” (CHANG, 2011, p. 322).

## 1.3 O Problema de Pesquisa, Objetivos e Justificativas

### 1.3.1 O Problema de Pesquisa

Apesar do potencial educacional que é atribuído à História da Ciência e do esforço que tem sido feito para aproximá-la da educação científica, fica evidente que existem barreiras que podem inviabilizar o sucesso desta aproximação, impedindo que ela cumpra efetivamente o seu papel frente ao ensino de ciências. Na exposição anterior destacamos o obstáculo referente à falta de material histórico adequado para o processo educacional. No bojo dessa escassez está a falta de traduções de fontes primárias para o português. Entendemos que esse é um problema bem caracterizado na literatura específica da área de Educação em Ciências e que precisa ser enfrentado. Porém, não basta que materiais históricos de qualidade sejam produzidos para a educação científica, é preciso pensar na acessibilidade desse material para professores e alunos. Diante disso é possível levantar as seguintes questões. i) Quais elementos podem ser inseridos em uma tradução de fonte primária a fim de ampliar o seu acesso para professores e alunos? ii) Como tais elementos podem ampliar o acesso às traduções de fontes primárias?

Entendemos que traduções de fontes primárias podem ter seu acesso ampliado se fizerem parte de um material mais amplo que contenha elementos como: comentários em forma de notas; figuras; sugestões de experimentos históricos com material de baixo custo; uma breve biografia do autor do texto traduzido; uma linha do tempo; e algumas informações introdutórias. Esses elementos são *recursos* que podem dar ao leitor da tradução maior condição de compreender aquilo que está lendo. Na próxima seção (1.4 *Considerações sobre os recursos didáticos*) discorreremos sobre como tais elementos podem ampliar o acesso aos textos traduzidos por nós neste trabalho.

### 1.3.2 Objetivos do Trabalho

Este trabalho de doutorado tem como objetivo geral, para fins didáticos, fazer a tradução comentada dos dez artigos de Stephen Gray (1666-1736) relacionados à eletricidade. Dos dez textos traduzidos, nove foram publicados no periódico *Philosophical Transactions of The Royal Society* e uma carta foi publicada por Chipman (1954). Como objetivo específico propomos elaborar um conjunto de elementos, *i.e.*, recursos, que possam ampliar o acesso de professores e alunos às traduções.

Desta maneira, em todos os textos traduzidos foram inseridos comentários em forma de notas de rodapé e figuras ao longo do texto; antes dos capítulos que trazem as traduções apresentamos um capítulo com algumas informações introdutórias e outro com uma breve biografia de Stephen Gray e uma linha do tempo da sua época; após cada tradução apresentamos, em subseções específicas, alguns experimentos de Gray que realizamos com material de baixo custo.

### 1.3.3 As Justificativas

Uma vez reconhecida a escassez de traduções de fontes primárias para o português, em meio a falta de material histórico de qualidade para subsidiar práticas metodológicas no Ensino de Física em qualquer nível, nos parece que essa escassez se agrava no caso da eletrostática. Por exemplo, encontramos apenas uma tradução publicada sobre as pesquisas em eletricidade do início do Século XVIII, trata-se de um artigo de Du Fay publicado por Boss e Caluzi (2007). No estudo apresentado por Martins (2007, p. 127), os sujeitos da pesquisa, quando questionados sobre quais conteúdos da Física do Ensino Médio seriam considerados mais difíceis de serem trabalhados na escola incorporando elementos da História e Filosofia da Ciência, colocaram os de eletromagnetismo em segundo lugar, sendo os de óptica apontados como os mais difíceis e os de mecânica colocados como mais fáceis. Frente a estas respostas, o pesquisador cogita a possibilidade de que isso pode “refletir a maior ou menor existência de textos e materiais didáticos acessíveis acerca de cada um desses conteúdos” (MARTINS, 2007, p. 127). Ou seja, a falta de material histórico adequado para a educação científica pode ser associada à dificuldade de elaborar propostas metodológicas para sala de aula, com conteúdos de Física, numa abordagem histórica. Tendo em vista este contexto, entendemos que nosso trabalho se justifica enquanto contribuição para o Ensino de Ciências.

Optamos pelos artigos de Stephen Gray pelo fato de que em trabalhos anteriores

verificamos que este pesquisador ocupa uma posição importante nas pesquisas sobre eletricidade do início do Século XVIII, apesar de ser bastante desconhecido. Dentre suas contribuições para os estudos em eletricidade podemos citar a observação da condução elétrica e da eletrização por indução, a diferenciação entre materiais condutores e isolantes, entre outros feitos significativos para o desenvolvimento do eletromagnetismo (HEILBRON, 1979). A quantidade de fenômenos, experimentos e conceitos sobre eletricidade presente em seus artigos, bem como a minúcia e a riqueza de sua pesquisa, nos leva a acreditar que suas publicações são importantes para subsidiar a elaboração de propostas metodológicas para conteúdos de eletricidade no ensino de Física, principalmente os de eletrostática, numa abordagem histórica.

Cabe destacar que optamos por trabalhar com um problema específico que tem sido discutido nas pesquisas quanto à inserção de aspectos históricos no ensino de ciências, que é a escassez de material histórico de qualidade e acessível. Esta, com certeza, não é a única dificuldade apontada e discutida pela literatura específica, bem como não é o único problema a ser enfrentado, como bem destacam Martins (2007, p. 127) e Forato, Martins e Pietrocola (2009, p. 2). Apesar de existirem outras dificuldades, neste trabalho de doutorado nos debruçaremos sobre a questão específica da produção de material histórico, *i.e.*, traduções comentadas de fontes primárias, que possam subsidiar práticas metodológicas em sala de aula visando a aprendizagem dos conceitos científicos.

Também se faz necessário ressaltar que no início deste trabalho de doutorado optamos por empregar esforços em elaborar um material que priorizasse a discussão conceitual, e isso delimita nosso campo de atuação. Dentre as possíveis contribuições que a abordagem histórica pode trazer para a educação científica, as quais foram elencadas anteriormente nesta Introdução, destacamos que a partir dela é possível uma melhor compreensão dos conceitos no processo de ensino-aprendizagem de ciências (MATTHEWS, 1995);(CARVALHO; VANNUCCHI, 1996);(BASTOS, 1998). Pontuamos, ainda, que não basta apenas o ensino de história, filosofia e sociologia da ciência, é preciso dar destaque, também, ao conteúdo da ciência, pois sem ele o ensino a partir de uma abordagem contextual pode não atingir seu objetivo quanto à alfabetização científica (FREIRE JR., 2002, p. 25). Portanto, é possível afirmar que trabalhos sobre história da ciência que prezam pela abordagem conceitual têm relevância para a educação científica.

Na medida em que optamos por atuar em uma linha de trabalho específica que visa a discussão conceitual, nos é pertinente trabalhar com a História da Ciência dentro da *abordagem internalista*, na qual se “discute os fatores científicos (evidências, fatos de



natureza científica) relacionados a determinado assunto ou problema” (MARTINS, 2005, p. 306). Isto significa que as discussões que promovemos ao longo deste trabalho são voltadas para a análise dos experimentos, fenômenos e conceitos presentes nos artigos de Gray. Sendo assim, não abordamos questões referentes às influências externas (*i.e.*, sociais, políticas, culturais, etc.) que estiveram envolvidas nas pesquisas de Gray. Isto não significa que desprezamos a *abordagem externalista* ou que não a julgamos importante para o processo educacional, pelo contrário, mas neste momento optamos por uma discussão apenas conceitual.

Anteriormente, discutimos quatro problemas com relação à pesquisa em História da Ciência: i) História da Ciência puramente descritiva; ii) interpretação *anacrônica* da História; iii) a utilização ideológica da História; e iv) o “apudismo” (MARTINS, 2005, p. 314-5). Dentre eles, o anacronismo é bastante comum, o qual consiste em estudar o passado com os olhos do presente e ignorando o contexto da época (MARTINS, 2005, p. 314). Configura-se como uma análise descontextualizada e traz sérias distorções na interpretação dos fatos. Muitas vezes, o passado é avaliado “de modo preconceituoso, selecionando e enaltecendo conceitos e teorias ‘similares’ aos aceitos no presente”. Esta análise acaba criando os “grandes gênios” da ciência, ou promove uma reconstrução linear do desenvolvimento científico. “Olhar para o passado com os olhos do presente decorre tanto de ações ingênuas devidas ao desconhecimento historiográfico ou de ações que buscam atingir determinados propósitos”. (FORATO; MARTINS; PIETROCOLA, 2009). Sem dúvida alguma este tipo de análise não traz contribuições para a educação científica.

Por outro lado, existe a *análise diacrônica* dos fatos históricos. Segundo Kragh (2001, p. 100), esta consiste em analisar os fatos e a ciência do passado à luz da situação e das opiniões do passado. Não se consideram ocorrências posteriores que não tiveram influência no período em questão. Da mesma forma, acontecimentos anteriores que eram desconhecidos naquela determinada época em análise devem ser encarados como inexistentes. “Por conseguinte, idealmente, na perspectiva diacrônica imaginamo-nos como observadores no passado, e não simplesmente do passado” (KRAGH, 2001, p. 100). Essas definições de análise *anacrônica* e *diacrônica* são as que, geralmente, encontramos na literatura. No entanto, Kragh (2001) apresenta uma outra definição de *análise anacrônica* bastante peculiar e que nos parece condizente com uma das nossas propostas para este trabalho. Para o referido pesquisador, na visão anacrônica:

a ciência do passado deveria ser estudada à luz do conhecimento que temos hoje, e na intenção de compreendermos este último desenvolvimento, particularmente quanto ao modo como conduz ao presente. Considera-se

legítimo, senão mesmo necessário, que o historiador “intervenha” no passado com o conhecimento que possui em virtude da sua localização posterior no tempo. A historiografia anacrônica, **no sentido aqui usado, implica um certo tipo de anacronismo, mas não é anacrônica no seu sentido depreciativo habitual.** [...] A crermos que é tarefa do historiador da ciência compreender o conteúdo da ciência mais antiga e transmitir essa compreensão aos cientistas de hoje, então uma forma de apresentação tendencialmente anacrônica será natural. (KRAGH, 2001, p. 99, grifo nosso).

Em um outro ponto do texto o autor argumenta:

Não há forçosamente algo anti-histórico quer em traduções modernizadas, quer em conversões para formas matemáticas, desde que os conteúdos conceituais não sejam significativamente alterados relativamente ao original. Ao fim e ao cabo, é tarefa do historiador da ciência transformar e apresentar a antiga ciência a um público de hoje, o que significa que pode ser necessário formular postulados históricos em termos modernos a fim de tornar o passado minimamente compreensível. A modernização pode, contudo, redundar facilmente em sérios anacronismos que distorcem a realidade histórica ao ponto de a tornarem irreconhecível. (KRAGH, 2001, p. 106).

Sendo assim, na medida em que argumentamos e defendemos que textos originais e suas traduções podem ser ferramentas importantes no processo de ensino-aprendizagem de conceitos científicos, se faz necessário que esta *análise anacrônica definida por Kragh (2001)* seja feita. Pois, em última medida, as traduções serão utilizadas por professores, seja da Educação Básica ou Superior, e a compreensão dos fenômenos e das ideias do passado, a partir do presente, se faz condição *sine qua non* para que o docente possa explorar as traduções enquanto ferramenta no processo educacional e possa, desta forma, propor metodologias de ensino cujo objetivo final seja a aprendizagem dos conceitos físicos. É importante que fique claro que não pretendemos fazer análises conceituais descontextualizadas e que distorcem os fatos e conceitos do texto original, mas sim fazer uma reflexão sobre aqueles experimentos e fenômenos descritos por Gray a partir da “física atual”, buscando, assim, entendê-los, também, a partir dos conceitos que estão colocados em nossos livros texto. Cabe destacar que a expressão “física atual” utilizada por nós nesta tese é empregada com uma conotação específica, referindo-se aos conceitos físicos que estão presentes em nossos livros texto de hoje e que são objeto de ensino na educação científica.

## 1.4 Considerações sobre os Recursos Didáticos

Entendemos que traduções de fontes primárias podem ter seu acesso ampliado se fizerem parte de um material mais amplo que reúna um conjunto de elementos que funcionem como um suporte para o leitor, auxiliando-o na compreensão do conteúdo do texto. Neste trabalho, denominaremos cada um desses elementos como *recurso didático*, sendo eles: comentários em forma de notas; figuras; experimentos históricos com material de baixo custo; biografia do autor do texto traduzido; linha do tempo do período em questão; introdução geral ao texto. Agora, discorreremos sobre cada um desses elementos e sua importância para o entendimento dos textos que traduzimos nesta tese.

### 1.4.1 Comentários em Forma de Notas

Elaboramos dois tipos diferentes de *comentários em forma de notas*. Um deles versa sobre aspectos conceituais e factuais relacionados à época dos originais traduzidos, cujo objetivo é fornecer subsídios ao leitor para o entendimento dos conceitos, fenômenos e experimentos descritos nos textos a partir dos elementos do período histórico em questão. O leitor passa a ter acesso a informações referentes à época em que o texto foi escrito e que são fundamentais para o entendimento da obra, mas que não estão disponíveis nos originais. Por exemplo, na nota de rodapé 14, citada à página 75 desta tese, discutimos sobre o significado dos termos *elétrico* e *não-elétrico*, que foram propostos por William Gilbert (1540-1603). Àquela época, os materiais *elétricos* eram aqueles que apresentavam a mesma propriedade do âmbar de atrair pequenos objetos quando atritado, e os *não-elétricos* eram os materiais que não apresentavam tal característica. Esses termos estão presentes em vários pontos dos originais e conhecer os seus significados é fundamental para a compreensão de muitos experimentos e fenômenos descritos por Gray. Um segundo exemplo é a nota 19, citada à página 254 desta tese, na qual apresentamos a composição das bombas de ar de Hauksbee e de Boyle. Para isso fizemos um estudo em fontes primárias e secundárias, o que nos permitiu não só apresentar a descrição das bombas de ar, mas também entender a substituição de uma peça que Gray sugeriu para Wheler fazer na bomba de ar que utilizava. Essa nota fornece subsídios importantes para o entendimento tanto do aparato quanto do experimento descrito no texto, pois sem tais informações seria bastante difícil compreendê-los. Mostramos aqui dois exemplos da importância que as informações trazidas por algumas notas têm para que o leitor possa entender os experimentos e os fenômenos descritos nos textos a partir do ponto de vista do próprio texto e da sua época, ou seja, para uma *análise diacrônica*.

Um segundo tipo de comentários são aqueles que discutem alguns fenômenos descritos nos originais a partir do ponto de vista da “física atual”. Desta forma, nesses comentários utilizamos termos contemporâneos, como potencial elétrico, carga elétrica, eletrização, isolante, condutor, que não eram usados por Gray. Cabe ressaltar que nosso objetivo com esse tipo de análise não é tecer qualquer crítica ou fazer julgamentos descontextualizados, mas sim fazer um exercício de reflexão sobre aqueles fenômenos a partir da “física atual”, buscando com isso, uma melhor compreensão dos próprios conceitos que estão nos nossos livros texto. E na medida em que este exercício nos permite refletir sobre os conceitos físicos que são objeto de ensino na escola, ele se torna uma ferramenta importante no processo de construção dos significados pelo aprendiz. Por exemplo, à nota 11, citada à página 129 desta tese, discutimos o comportamento das fibras de uma pena que, presa a uma linha amarrada a um suporte, foi suspensa ao ar por meio da ação de um objeto eletrizado. Então, o experimentador aproximava o dedo da mão que não segura o objeto eletrizado às fibras e percebia que aquelas mais próximas ao objeto tinham um comportamento diferente daquelas que estavam mais distantes. Na explicação, discuti-se sobre a reorganização de cargas na pena sob ação do objeto eletrizado, bem como no dedo aproximado às fibras. Isso permite uma reflexão sobre um dos processos de eletrização, que é a indução elétrica. Esta reflexão pode ser feita a partir de várias situações distintas ao longo dos textos. Apresentamos várias notas com este caráter, tendo como objetivo uma reflexão conceitual a partir da “física atual”.

### 1.4.2 Figuras

Um outro recurso didático que inserimos nas traduções é a *figura*. Esta é uma ferramenta importante para o entendimento do texto, principalmente dos experimentos e fenômenos descritos. Elaboramos figuras com o intuito de fornecer para o leitor uma representação de vários experimentos. Como exemplo podemos citar o *9º Experimento* da primeira tradução, à página 96 desta tese. Nele, Gray descreve que uma pena foi colocada à extremidade de uma vareta e, ao aproximar o tubo eletrizado, as fibras estenderam-se formando uma espécie de estrela. A partir do estudo e da interpretação do excerto original que descreve o experimento, elaboramos a Figura 1, a qual ilustra uma possível conformação para o aparato e como poderia ser observada a pena em forma de estrela.<sup>7</sup>

A maioria das figuras foram construídas por nós em software apropriado, mas também buscamos por figuras da época na literatura. Como exemplo vamos retomar o caso

---

<sup>7</sup>Esta figura também encontra-se à página 97 desta tese com o título de Figura 24.

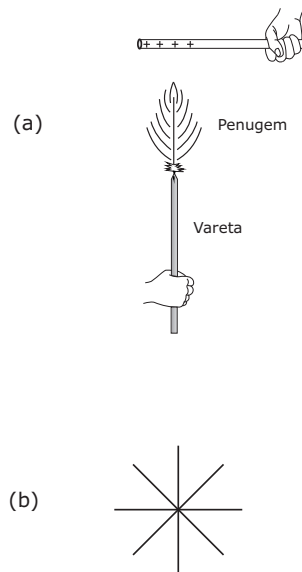


Figura 1: (a) Tubo eletrizado sobre a pena fixada na vareta. (b) Um observador que olhe a pena de cima, da posição do tubo de vidro, veria as cerdas dispostas de forma a lembrar uma estrela.

da nota de rodapé 19, citada à página 254 desta tese, que versa sobre as bombas de ar de Hauksbee e Boyle. Para ilustrar a descrição das bombas e auxiliar no entendimento daquilo que estava sendo realizado por Gray e Wheeler, disponibilizamos na tradução uma ilustração das bombas de ar de Hauksbee e Boyle, as quais podem ser vistas, respectivamente, na Figura 132 (à página 252) e na Figura 142 (à página 256).

### 1.4.3 Experimentos Históricos

Nesta tese, apresentamos um conjunto de *experimentos históricos*, que construímos com material acessível (*i.e.*, de baixo custo), junto às traduções comentadas. A construção dos aparatos experimentais se aproxima da segunda tendência discutida anteriormente (METZ; STINNER, 2006; CHANG, 2011), uma vez que propomos a construção de experimentos com materiais acessíveis. A ideia é que eles guardem importantes características e os princípios físicos fundamentais contidos nos aparatos descritos nos textos originais. Entendemos que a reprodução dos experimentos é uma importante ferramenta para auxiliar na compreensão e interpretação dos fenômenos e do próprio trabalho histórico traduzido, tanto para o pesquisador que faz a tradução, quanto para professores e alunos que trabalharão com as traduções comentadas. Os experimentos também são ferramentas importantes para a compreensão dos conceitos físicos que as fontes primárias trazem. Desta forma, os experimentos não devem ser utilizados como elementos isolados ou como instrumento de motivação, os propomos como elemento fundamental no processo de leitura e compreensão das traduções comentadas e dos conceitos científicos discutidos. O leitor

verá, ao longo da leitura desta tese, que os textos escritos por Stephen Gray são carregados de descrições de aparatos e de práticas experimentais. Sendo assim, a construção dos aparatos, concomitantemente à leitura e estudo das traduções, é fundamental em vários momentos para a compreensão daquilo que os textos apresentam. Segundo Heering (2000, p. 369), “não é suficiente discutir experimentos históricos simplesmente com textos, deve ser obrigatório o uso de réplicas de dispositivos de experimentos históricos”. Optamos pela reprodução dos aparatos experimentais com material acessível devido à maior facilidade de construí-los e de trabalhar com eles em sala de aula, tal como defende Metz e Stinner (2006, p. 5).

Os experimentos históricos feitos com materiais de baixo custo são apresentados em uma seção específica após cada tradução comentada. É importante que o leitor faça os experimentos, pois este exercício o auxiliará no entendimento dos próprios experimentos descritos e dos fenômenos. Entender os experimentos e conhecer os fenômenos é fundamental para que se possa pensar e refletir sobre eles a partir dos elementos conceituais, seja da época de Gray ou da “física atual”. Se o nosso objetivo é a análise conceitual, esta só poderá ser feita de forma profícua se os experimentos forem bem compreendidos. Cabe destacar que não foram feitos todos os experimentos descritos nas traduções porque a reprodução dos experimentos com material de baixo custo não permitiu chegarmos aos fenômenos descritos. Isso não coloca em xeque as descrições e os relatos feitos por Gray, apenas evidencia algumas limitações da utilização do material acessível. Por exemplo, os canudos de refresco e os tubos de PVC utilizados em nossos experimentos não eletrizam tanto quanto os tubos de vidro utilizados por Gray e seus contemporâneos.

#### **1.4.4 Breve Biografia, Linha do Tempo e Informações Introdutórias**

Outros três recursos didáticos que elaboramos foram: um capítulo com algumas *informações introdutórias* aos textos traduzidos; uma *breve biografia* de Stephen Gray; e uma *linha do tempo* do período em que ele viveu. Acreditamos que um capítulo ou seção que antecede aos textos traduzidos deve disponibilizar para o leitor breves discussões sobre opções do tradutor quanto à tradução em si; informações sobre instrumentos e materiais que serão utilizados nos experimentos; informações sobre a diferença ou igualdade de significados de alguns termos, que, se não observados com atenção, podem confundir quem faz a leitura do material e impedir a compreensão do texto. Um exemplo disso é a discussão que fizemos sobre a expressão “linha pendular” e a “linha branca”, seção 2.4 à

página 60 desta tese. Se o leitor não estiver ciente das sutilezas quanto aos significados dessas duas expressões, poderá se confundir durante a leitura de alguns trechos e não entendê-los. Apresentamos todas essas discussões em um capítulo específico denominado “Informações Introdutórias sobre o trabalho”. Além disso, entendemos que a partir de uma *breve biografia* e de uma *linha do tempo* é possível disponibilizar para o leitor informações gerais sobre a vida do autor e do período em que viveu, informando-o sobre o contexto científico e dos elementos conceituais que estavam postos à época.

## 1.5 A Estrutura da Tese

Esta tese é composta por um capítulo inicial que traz algumas considerações iniciais, uma discussão sobre a abordagem histórica na educação científica, o problema de pesquisa, os objetivos e as justificativas do trabalho. O segundo capítulo traz *informações introdutórias* sobre os textos traduzidos. O terceiro capítulo apresenta uma *breve biografia* e uma *linha do tempo* da época de Gray. Os dez capítulos seguintes apresentam as dez *traduções comentadas* acrescidas das *figuras* e os *experimentos históricos com material de baixo custo*. No último capítulo, de encerramento, estão colocadas as *considerações finais*. Os Capítulos referentes às traduções estão divididos em duas partes, a primeira apresenta uma tradução comentada com as figuras, e a segunda apresenta alguns experimentos históricos construídos com material de baixo custo.

### 1.5.1 Metodologia

Este trabalho contém uma *pesquisa bibliográfica*, a qual se realiza a partir de registros, já tornados públicos, decorrentes de outras análises. Os textos são as fontes do tema a ser pesquisado. (SEVERINO, 2007, p. 122);(MARCONI; LAKATOS, 2009, p. 185). “A pesquisa bibliográfica tem como principal característica o fato de que o campo onde será feita a coleta dos dados é a própria *bibliografia* sobre o tema ou o objeto que se pretende investigar” (TOZONI-REIS, 2007, p. 25-6).

Num primeiro momento, fizemos a leitura cuidadosa e a análise dos dez textos de Gray na língua original, *i.e.*, o inglês, bem como de textos de fonte primária de contemporâneos de Gray e de fontes secundárias. Após este estudo inicial, fizemos a tradução de cada um dos textos, do inglês para o português. Concomitantemente às traduções, fizemos os comentários em forma de notas de rodapé, os quais foram subsidiados pelas leituras feitas inicialmente. Para a elaboração dos comentários sobre aspectos conceitu-

ais e factuais relacionados à época dos originais traduzidos, foi feito um mapeamento de informações na literatura secundária e em textos originais contemporâneos aos de Gray. Para a elaboração dos comentários que discutem alguns fenômenos descritos nos originais a partir do ponto de vista da “física atual”, foi realizado um estudo detalhado dos experimentos e dos fenômenos descritos, tendo em vista entendê-los a partir dos conceitos que temos atualmente. Ao término de cada tradução, elaboramos as suas figuras, que foram feitas em software específico, tendo em vista as descrições presentes no texto. Cabe destacar que a construção das figuras exigiu um estudo minucioso dos originais, buscando o entendimento das descrições dos aparatos e dos fenômenos. Depois de terminada a fase de tradução e elaboração dos comentários e das figuras, procedemos à construção dos experimentos históricos com material de baixo custo. Finalmente, elaboramos o *Capítulo 2* desta tese (*“Informações Introdutórias sobre o trabalho”*), com base nos vários elementos que apreendemos nas etapas anteriores.



## 2 Informações Introdutórias sobre o Trabalho

### 2.1 Considerações Gerais

Neste momento, faremos algumas considerações que julgamos serem pertinentes para o leitor desta tese. O objetivo é esclarecer alguns pontos e chamar a atenção para elementos importantes na leitura das traduções e na realização dos experimentos.

Todos os experimentos descritos nesta tese versam sobre eletrostática. Este tipo de experimento é bastante sensível à umidade, a qual não inviabiliza a realização dos experimentos, mas pode dificultar e diminuir os efeitos, a depender de quão úmido está o ar. Em muitas situações os efeitos e os fenômenos não são atingidos e nem visualizados na primeira tentativa. É preciso insistir e conferir os aparatos, pois uma inocente toalha que serve como forro de mesa pode impedir o funcionamento do experimento.<sup>1</sup> Tenha cuidado ao manusear os aparatos, pois pequenas modificações, que parecem ser bobas, implicam em alterações significativas para o experimento. Em experimentos de eletrostática as sutilezas são muitas e fundamentais para o bom andamento das atividades. Nas descrições que fizemos dos experimentos, em alguns casos mencionamos distâncias aferidas para ilustrar o fenômeno. No entanto, estas distâncias são ilustrativas, pois dependem de vários fatores (*e.g.*, o quão eletrizado está o material, do peso do objeto atraído, da umidade relativa do ar, etc.). Sendo assim, o leitor não deve se prender às distâncias mencionadas, deve sim estar atento para os fenômenos descritos.

Todas as figuras e notas de rodapé apresentadas nas traduções foram inseridas pelos tradutores, os textos originais não tinham qualquer ilustração ou comentário. A maioria das figuras desta tese foram feitas pelos autores, aquelas que foram extraídas de outros textos terão a fonte indicada junto à figura. As figuras estão fora de escala. Em algumas delas exageramos o tamanho do tubo de vidro, ou de outros elementos da ilustração,

---

<sup>1</sup>Isto pode acontecer, por exemplo, se o experimento necessitar que o aparato esteja aterrado e a toalha da mesa o isolar.

para facilitar a visualização. As figuras que têm os sinais de “+” e/ou “-” indicando cargas elétricas mostram apenas uma representação *qualitativa* das cargas. Além disso, as cargas elétricas representadas nas figuras remetem à “teoria atual” da Física, pois tais entes físicos foram idealizados posteriormente aos trabalhos de Gray. Sendo assim, as figuras são sempre representações dos experimentos e dos fenômenos descritos nos textos, mas as cargas ilustradas são sempre um auxílio para as discussões dos fenômenos feitas a partir da “teoria atual” da Física. Algumas figuras e notas de rodapé foram repetidas em traduções diferentes. Optamos por fazer isso para que o texto traduzido quando destacado da tese, por exemplo para um trabalho em sala de aula, tenha todos os elementos inerentes a ele. Tanto as figuras quanto as notas de rodapé foram inseridas nas traduções com o objetivo de auxiliar o leitor no entendimento e análise dos textos de Gray. Vale ressaltar que as figuras representam nossas interpretações dos experimentos descritos nos textos.

## 2.2 O Versório, o Eletroscópio e o Pêndulo Elétrico

Inicialmente, descreveremos dois instrumentos que serão utilizados na reprodução de alguns dos experimentos de Stephen Gray feitos com material acessível. Discorreremos, primeiro, sobre como montar um *versório*, depois falaremos sobre o *eletroscópio*.

### 2.2.1 O Versório de Gilbert

William Gilbert (1544-1603) propôs um dos primeiros instrumentos elétricos utilizados para a detecção de eletricidade, o qual foi chamado de *versório*, ver a Figura 2. É possível que Gilbert tenha se inspirado em um dispositivo elétrico inventado pelo italiano Girolamo Fracastoro (1478-1553), chamado de *perpendicular*, cuja função era detectar objetos e materiais que apresentavam a mesma propriedade do âmbar atritado de atrair corpos leves, *e.g.*, palha, semente, pedaços de âmbar, metais, etc. (HEILBRON, 1979, p. 175). Provavelmente o perpendicular seja o instrumento elétrico mais antigo inventado pela humanidade. É possível que sua conformação seja algo semelhante a um pêndulo ou um fio de prumo, sendo composto por uma linha vertical que é presa a um suporte fixo pela sua extremidade superior, e tem um objeto qualquer preso a sua extremidade inferior, ver a Figura 3. Desta forma, a linha teria liberdade para se movimentar livremente em torno do ponto de fixação, na extremidade superior. O termo “perpendicular” pode estar relacionado à palavra “perpendicular”. Fracastoro prenderia na extremidade inferior do instrumento um pequeno pedaço de âmbar ou de prata, e na medida em que um segundo pedaço de

âmbar atritado, por exemplo, fosse aproximado do perpendicular, a linha e o objeto preso a ela se afastariam da vertical, aproximando-se ao objeto eletrizado. A vantagem deste instrumento é que ele é mais sensível para verificação de forças de natureza elétrica, ou seja, para verificar se um corpo está ou não eletrizado. Isto se dá porque a tração da linha contrabalança o peso do corpo preso a ela, facilitando a sua movimentação. Caso o objeto a ser atraído estivesse sobre qualquer superfície, seria mais difícil verificar a sua movimentação devida à aproximação de um objeto eletrizado. (ASSIS, 2010, p. 35-7).



Figura 2: *Versório* de Gilbert. Extraído de (ROLLER; ROLLER, 1957, p. 550).

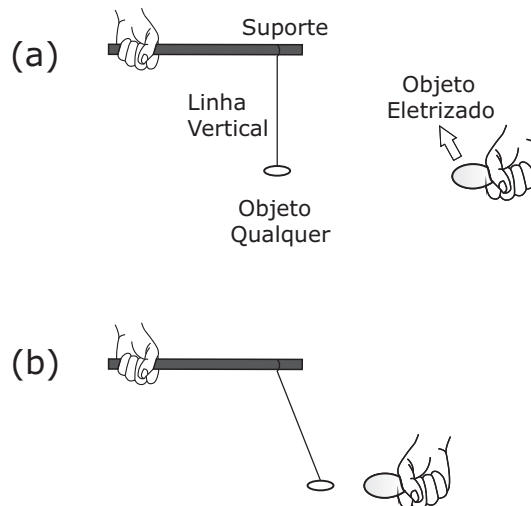


Figura 3: Possível representação de um perpendicular. (a) Linha presa a um suporte pela extremidade superior, na extremidade inferior há um objeto não-eletrizado (pode ser um pedaço leve de metal, por exemplo). Na mão à direita há um objeto eletrizado (um pedaço de âmbar, por exemplo). Não há atração perceptível entre o perpendicular e o âmbar eletrizado devida à grande distância entre eles, sendo assim a linha fica na vertical. (b) Com a aproximação do âmbar eletrizado, o perpendicular passa a ser visivelmente atraído. Figura adaptada de (ASSIS, 2010, p. 37, Figura 3.2).

O termo *versório* provém do latim e pode significar *girar sobre, instrumento girador* ou *aparato girante*. Sua aparência é semelhante a de uma bússola, mas sua agulha não é magnetizada como a da bússola. Para alguns pesquisadores esta semelhança pode ser considerada como algo natural devido à experiência de Gilbert com o estudo do magnetismo. (ROLLER; ROLLER, 1957, p. 549-50);(ASSIS, 2010, p. 37-8). O *versório* é composto de duas partes: “um membro vertical, que age como um suporte fixo em relação à Terra, e um

membro horizontal capaz de girar livremente sobre o eixo vertical definido pelo suporte” (ASSIS, 2010, p. 38). A agulha do *versório*, que é a sua parte móvel, pode ser feita com diversos materiais, *e.g.*, metal, madeira, papel, plástico duro, etc. A importância deste dispositivo também se deve ao fato de ele ser bastante sensível ao movimento devido a ação de forças de natureza elétrica, sendo um bom instrumento para a detecção de objetos eletrizados. Ele é mais sensível ao movimento do que pequenos objetos leves, como pedacinhos de papel, de palha, lâminas metálicas, etc. colocados sobre uma superfície qualquer. Objetos atritados, muitas vezes, podem movimentar a pequena agulha do *versório*, a qual está posicionada sobre uma ponta fina e tem liberdade para girar livremente, embora não sejam capazes de atrair pequenos objetos leves posicionados sobre uma determinada superfície. Atualmente a denominação genérica dada a ele é *eletroscópio*. (ROLLER; ROLLER, 1957, p. 549-50);(ASSIS, 2010, p. 37-8).

### Montando um versório

Este dispositivo será utilizado para verificar a eletrização dos canudos de plástico, ou outros objetos, após serem atritados. É possível construir um *versório* de várias formas e materiais, como pode ser visto em (CHAIB; ASSIS, 2007, p. 43-4);(ASSIS, 2010, p. 38-46);(RIPE, 1990, “*Versorium de Gilbert*”; “*Versorium de Gilbert 1*”; “*Versorium de Gilbert 2*”). Neste trabalho, vamos descrever apenas um tipo de *versório*. No entanto, sugerimos que o leitor consulte as fontes citadas anteriormente e faça também os outros tipos.

✓ MATERIAIS UTILIZADOS	
⇒ Rolha de cortiça	⇒ Colchete de aço
⇒ Alfinete	⇒ Martelo
⇒ Alicates	⇒ Pregos

Tal como no *versório* de Gilbert, teremos um suporte fixo, em relação à Terra, e uma haste horizontal (também chamada de *agulha*) que fique livre para girar. O suporte fixo é composto por uma base e uma haste vertical, podendo ser feito com: i) uma rolha de cortiça e um prego ou um alfinete preso a ela; ii) massa de modelar e palito de

dente fixado nela; iii) uma pequena tábua de madeira com um prego fixado com a ponta para cima. O importante é que o suporte (base + haste vertical) fique fixo em relação à Terra. A agulha, elemento horizontal livre para girar, pode ser feita de: i) metal, podendo utilizar um colchete de aço tipo bailarina ou uma tirinha recortada de latinhas de alumínio; ii) tirinha de cartolina; iii) tirinha de plástico duro, podendo utilizar potes de margarina, etc. Vamos descrever como fazer um *versório* composto por um suporte feito com rolha de cortiça e alfinete, e uma haste horizontal feita de colchete de aço tipo bailarina. No entanto, o leitor pode fazer com quaisquer outros materiais, ou mesmo outros tipos descritos na literatura já indicada anteriormente.

Inicialmente, corte a cabeça do alfinete com o alicate. Em seguida, segure o alfinete com o alicate e introduza a parte detrás dele na rolha. Desta forma, a ponta do alfinete ficará disponível para cima, ver a Figura 4(a). Para fazer a haste horizontal (agulha) do *versório* utilizamos um colchete de aço do tipo bailarina, o qual será colocado sobre a ponta do alfinete. Utilize o martelo e o prego para fazer uma marca (*i.e.*, uma pequena deformação) no centro da parte circular do colchete, que é o ponto onde ficará apoiada a ponta do alfinete, ver a Figura 4(b).

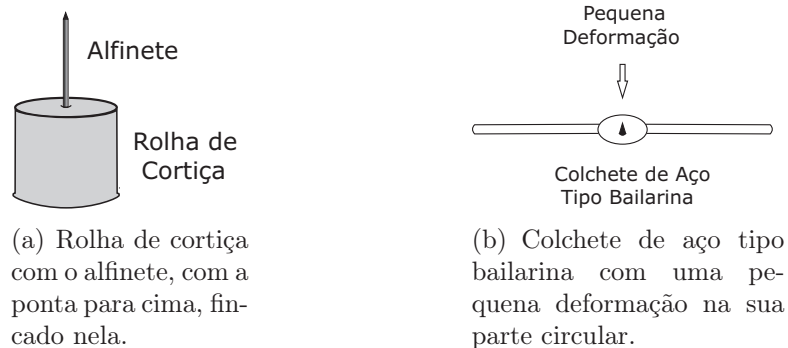


Figura 4: Rolha com alfinete e colchete com pequena deformação. Figura adaptada de (RIPE, 1990, “*versorium*”).

Tome cuidado para não furar o colchete no momento de fazer a marca, pois isso pode dificultar ou até mesmo impedir o seu movimento. O passo seguinte é colocar a agulha sobre a ponta do alfinete. Para que ela não caia ao ser apoiada, é necessário que seu centro de gravidade fique abaixo do ponto de contato com o alfinete.<sup>2</sup> Isto é possível de duas formas: i) dobrando o colchete em forma de “ $\wedge$ ”, ver a Figura 5(a); ou ii) deixando-o plano, mas de forma que a sua parte circular, em contato com o alfinete, fique acima do plano estabelecido pelas hastes do colchete, ver a Figura 5(b).

<sup>2</sup>Uma discussão detalhada sobre o conceito de *centro de gravidade* (CG) e sobre os procedimentos práticos para encontrar este ponto pode ser encontrada no livro “*Arquimedes, o Centro de Gravidade e a Lei da Alavanca*” (ASSIS, 2008).

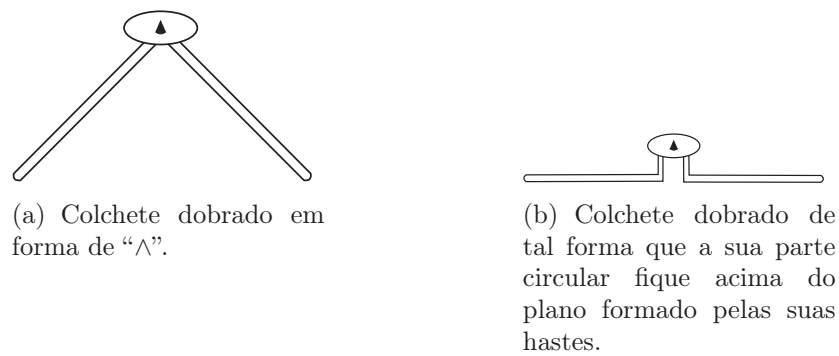


Figura 5: (a) Colchete em forma de “ $\wedge$ ”. (b) Colchete com parte circular acima do plano das hastes. Figuras adaptadas de (RIPE, 1990, “*versorium*”).

Feito isso, está pronto o *versório*, ver a Figura 6. Agora, é importante verificar se a agulha está girando livremente para os dois sentidos, sem tombar ou cair, sem ficar presa ou com dificuldade para girar devido ao atrito com a ponta do alfinete. Se tudo estiver funcionando bem, ele está pronto para ser utilizado. (ASSIS, 2010, p. 38-9);(FERREIRA, 2001);(CHAIB; ASSIS, 2007, p. 43-4);(RIPE, 1990, “*Versorium de Gilbert*”).



Figura 6: (a) *Versório* com a haste horizontal em forma de “ $\wedge$ ”. (b) *Versório* com a haste horizontal dobrada de forma que a parte circular do colchete, em contato com o alfinete, fique acima do plano estabelecido pelas suas hastes. Figuras adaptadas de (RIPE, 1990, “*versorium*”).

## 2.2.2 O Eletroscópio e os Materiais Condutores e Isolantes

### Poste de Sustentação (Suporte com base de gesso)

Antes de montar o eletroscópio, é preciso fazer os postes de sustentação ou suportes. Estes postes serão utilizados em outros experimentos descritos ao longo da tese, por isso, seria interessante o leitor fazer cerca de 5 suportes.

✓ MATERIAIS UTILIZADOS	
⇒ Copo de plástico descartável para café	⇒ Gesso em pó
⇒ Canudinhos de refresco dobráveis de plástico	⇒ Água
	⇒ Palitos de madeira

Inicialmente, prepare um pouco de massa de gesso, misturando gesso em pó e água. Procure deixar a massa bem consistente para facilitar a secagem e o manuseio. Em seguida, encaixe um palito de madeira<sup>3</sup> no centro da base de um copo de plástico descartável e coloque gesso no seu interior até enchê-lo, como indicado na Figura 7(a).<sup>4</sup>

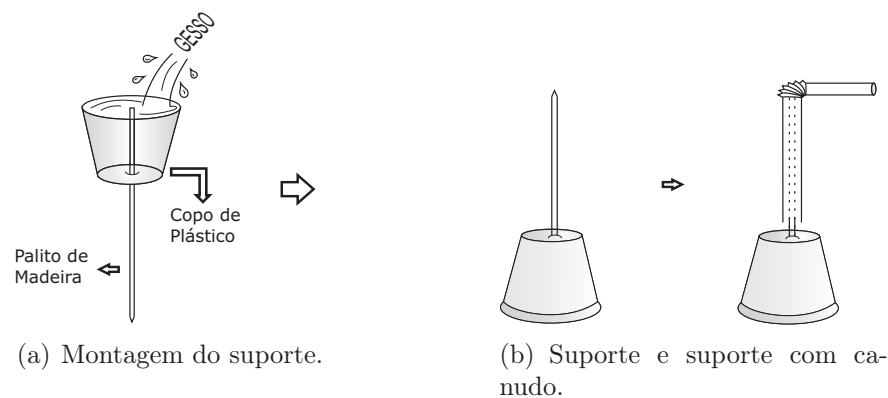


Figura 7: Montagem do suporte.

Dê preferência para copinhos de plástico de 80 ml, pois deixam a base mais estável. Às vezes, precisaremos utilizar canudinhos dobráveis de plástico nos suportes. Nestes casos, encaixe um canudo no palito de madeira, com a parte dobrável para cima, como indicado na Figura 7(b). O inconveniente nesta montagem é que, às vezes, o canudo de refresco é muito mais largo que o palito, e por isso fica solto e livre para girar. Isso é incômodo em alguns experimentos. Uma forma de solucionar o problema é colocar um canudo dentro do outro antes de colocá-los no palito de madeira, isso permite que o canudo fique preso ao suporte. Alguns autores preferem utilizar um colchete de aço tipo bailarina no lugar do palito de madeira (ASSIS, 2010, p. 76);(RIPE, 1990, “*Material Para Experiências em Eletrostática*”). Preferimos o palito porque desta forma o suporte pode ser utilizado em outros experimentos, como veremos posteriormente. O suporte pode ser feito de outras

<sup>3</sup>São palitos utilizados para fazer churrasco ou espetinhos de carne com legumes. Em geral, têm cerca de 25 cm e são encontrados em supermercados ou lojas de variedades.

<sup>4</sup>Esta Figura foi inspirada na ilustração de (CHAIB; ASSIS, 2007, p. 44).

maneiras como, por exemplo, um pedaço de madeira com um furo no centro onde se encaixa o canudo de refresco (GASPAR, 2005, p. 226).

### Montando um eletroscópio

Tal como no caso do *versório*, existem vários tipos e maneiras de montar um *eletroscópio*. O próprio *versório* é, algumas vezes, chamado de eletroscópio, por ser utilizado para indicar a presença de corpos eletrizados em suas proximidades (ASSIS, 2010, p. 137). Nesta tese, utilizamos o nome *eletroscópio* para o instrumento descrito nesta seção.

✓ MATERIAIS UTILIZADOS	
⇒ Canudinhos de plástico	⇒ Poste de sustentação
⇒ Cartolina ou papel cartão	⇒ Variados: Fita adesiva, cola, tesoura, etc.
⇒ Tirinha de papel de seda	

Para construir um eletroscópio, comece recortando um retângulo de cartolina (ou papel cartão) de cerca de 7 cm de largura por 10 cm de altura. Em seguida, recorte uma tirinha de papel de seda de cerca de 2 mm de largura por 6 cm de comprimento.<sup>5</sup> A tira pode ser feita com papel utilizado para fazer papagaio ou com embalagens de bala de coco. Prenda a tirinha no retângulo de cartolina. Para isso, pingue uma gota de cola em uma das pontas da tirinha e cole-a no retângulo (em vez da cola pode ser utilizada fita adesiva). Quanto mais leve for esta tirinha, melhor fica o instrumento, pois ficará mais sensível e os fenômenos ficarão mais visíveis. Agora, prenda a placa (retângulo de cartolina + tirinha de papel de seda) a um canudo de refresco com fita adesiva. Para isso, utilize dois pedaços de fita adesiva e prenda o canudo na parte de trás da placa, mas não deixe a fita adesiva dobrar nas bordas da placa, faça-a em um tamanho que fique apenas na parte de trás. A ponta de cima do canudo não deve ficar acima da borda superior da placa. Para finalizar, encaixe o canudinho no poste de sustentação. A Figura 8 ilustra o

<sup>5</sup>Apesar da palavra “seda” associada ao “papel de seda,” deve-se enfatizar que este papel não é feito de seda. Ele só recebe este nome por ser muito fino, quase transparente. O importante a enfatizar é que o papel de seda comporta-se como condutor para as experiências usuais de eletrostática (ASSIS, 2010, p. 138 e 151). Já a linha de seda vendida em lojas de materiais de corte e costura, comporta-se como isolante nestas experiências.



instrumento e seus elementos. (GASPAR, 2005, p. 229-33);(ASSIS, 2010, p. 137-40);(RIPE, 1990, “*Material Para Experiências em Eletrostática*”).

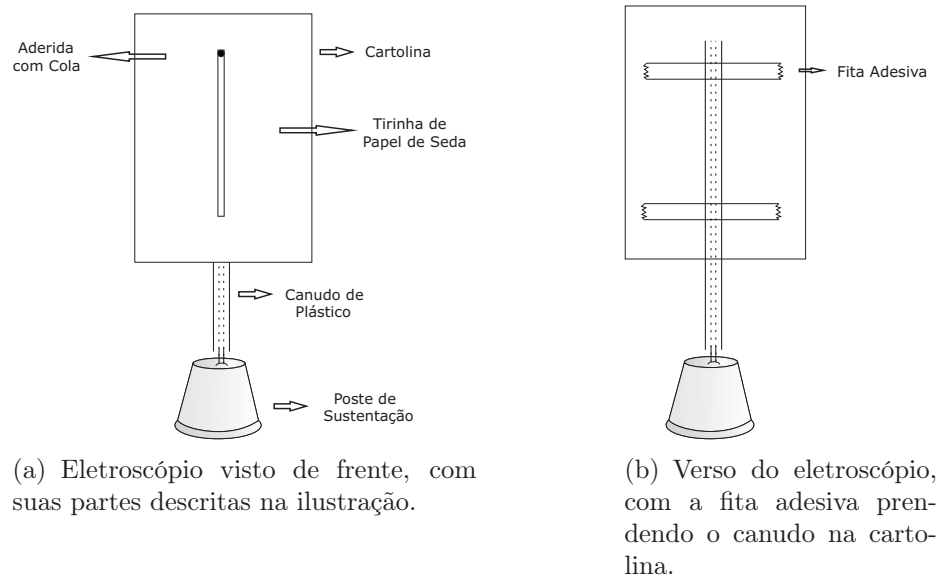


Figura 8: Eletroscópio: Frente e verso.

Ao terminar a montagem, faça um teste para verificar a mobilidade da tirinha. Segure o eletroscópio na horizontal com a tira de papel para baixo. A sua extremidade livre deve cair facilmente, caso contrário o eletroscópio poderá não funcionar bem. É importante para o bom funcionamento do instrumento que a tirinha não esteja amassada ou dobrada. Ela deve ser feita com papel bem leve, como o papel de seda, pois é fundamental que ela se mova com facilidade para cima. Além disso, suas extremidades não devem ultrapassar as bordas superior e inferior da placa. Um segundo fator fundamental neste instrumento é o isolamento elétrico da placa, que neste caso está sendo feito pelo canudinho de plástico. Caso queira melhorar o isolamento, coloque um canudo dentro do outro. Além de melhorar o isolamento, isto dará mais fixidez ao instrumento. Se a placa não estiver bem isolada, o instrumento não funcionará bem, pois ela estará aterrada e as cargas elétricas do sistema escoarão para a Terra. Por isso, não se pode colar ou prender a placa diretamente no palito de madeira, pois o sistema ficará aterrado (GASPAR, 2005, p. 229-33);(ASSIS, 2010, p. 137-40).<sup>6</sup>

## Condutores e Isolantes

<sup>6</sup>Estes livros trazem alguns experimentos que podem ser realizados com o eletroscópio, recomendamos ao leitor que tente fazê-los. Os leitores interessados na história do eletroscópio podem consultar (MEDEIROS, 2002);(ASSIS, 2010, p. 170, Seção 6.11: Uma Breve História do Eletroscópio e do Eletrômetro).

Podemos definir materiais *condutores* como aqueles que, estando seguros pela mão, descarregam um eletroscópio eletrizado quando tocam na placa de cartolina deste eletroscópio, *i.e.*, abaixam a tirinha que estava levantada devido ao eletroscópio estar carregado. (GASPAR, 2005, p. 234); (ASSIS, 2010, p. 147); (RIPE, 1990, “*Condutores e Isolantes*”). Para carregar o eletroscópio, eletrize um canudo de plástico atritando-o em um pedaço de papel, por exemplo. Em seguida, passe o canudo eletrizado nas bordas da cartolina do eletroscópio. Esfregue o canudo eletrizado uma ou mais vezes sobre a borda da cartolina, até que a tirinha se levante. Este é o indicativo de que o instrumento está carregado. Então, encoste qualquer material na cartolina do eletroscópio, segurando este material pela mão. Se a tirinha abaixar, isto significa que o instrumento descarregou. Este material é chamado de um *condutor elétrico* para as diferenças de potencial elétrico envolvidas no experimento. Se a tira não abaixar, o instrumento continua carregado. Este segundo material é chamado de um *isolante elétrico* para as diferenças de potencial elétrico envolvidas no experimento.

Este experimento nos permite verificar que muitos materiais que se comportam como isolantes elétricos para as diferenças de potencial elétrico das tomadas de nossas casas (110 V e 220 V), se comportam como condutores para nossos experimentos de eletrostática. O motivo para esta diferença de comportamento é que o canudo eletrizado pode chegar a potenciais elétricos da ordem de  $10^3$  V (GASPAR, 2005, p. 234-5), considerando a Terra como estando a um potencial nulo. Um corpo que se comporta como isolante elétrico para pequenas diferenças de potencial (de 0 V até uns 300 V, por exemplo), pode se comportar como um condutor elétrico para grandes diferenças de potencial (de uns 1.000 V ou mais, por exemplo). Bons isolantes elétricos no caso das experiências usuais de eletrostática são o ar seco, os plásticos, tubos de PVC, as linhas de seda e o isopor. A maior parte dos outros materiais tais como os metais, papéis (inclusive o papel de seda), madeiras, água, etc. se comportam como condutores nestas experiências de eletrostática.

### 2.2.3 O Pêndulo Elétrico

#### ✓ MATERIAIS UTILIZADOS

- |                         |                              |
|-------------------------|------------------------------|
| ⇒ Canudinho de plástico | ⇒ Papel alumínio             |
| ⇒ Poste de sustentação  | ⇒ Linha de poliamida ou seda |

Um outro instrumento bastante importante para os experimentos de eletrostática que realizamos é o *pêndulo elétrico*, também conhecido como *pêndulo eletrostático*. Para construí-lo, fixe um disco de papel alumínio, de no máximo 2 cm de diâmetro, a um pedaço de linha de seda (ou poliamida bem fina). Para isso, utilize uma gotinha de cola ou fure o disquinho com uma agulha próximo à borda e amarre a linha. Não utilize fita adesiva, pois esta pode atrapalhar a movimentação do pêndulo e a observação de alguns fenômenos. O papel alumínio pode ser substituído por papel comum ou papel de seda, mas o papel alumínio apresenta melhores resultados. As linhas de seda e de poliamida podem ser compradas em lojas de material de costura. Também é possível obter a linha de poliamida desfiando uma meia calça feminina de poliamida (*i.e.*, de náilon). É fundamental que a linha seja de material isolante elétrico. Portanto, não utilize materiais como linha de algodão ou de linho.<sup>7</sup> Suspenda a extremidade livre da linha com o disquinho em um canudo de refresco dobrável colocado em forma de “Γ” no poste de sustentação com base de gesso. Para aumentar a distância entre a linha e a vareta do poste de sustentação, é possível colocar um segundo canudo à extremidade do canudo em forma de “Γ”. Neste caso a linha será presa na extremidade do segundo canudo. A Figura 9 ilustra o pêndulo elétrico. (ASSIS, 2010, p. 75);(GASPAR, 2005, p. 225);(RIPE, 1990, “*Eletrização por Contato*” e “*Material Para Experiências em Eletrostática*”).



Figura 9: Ilustração de um pêndulo completo. Neste caso, feito com um disco de papel alumínio.

<sup>7</sup>A definição de condutores e isolantes e a classificação dos materiais nestas duas categorias é discutida nas subseções 2.2.2 e 2.3.2, às páginas 45 e 57 desta tese.

## 2.3 Testes Iniciais

### 2.3.1 Eletrização dos Materiais

Primeiramente, fizemos alguns testes de eletrização com vários materiais, objetivando verificar se aqueles que tínhamos disponíveis apresentariam diferença na eletrização e quais ficariam mais eletrizados. Nas Figuras 10 e 11 apresentamos os materiais utilizados.



Figura 10: Materiais utilizados para teste de eletrização: 7 tipos diferentes de canudo de refresco; 9 réguas escolares diferentes; cano (tubo) de PVC (50 cm de comprimento e 25 mm de diâmetro); pente de plástico; tubo de plástico (brinquedo); cabide de plástico; pote de sal de plástico duro; porta papel de plástico; regulador de cortina persiana de plástico; bastão de resina de cola quente; mangueirinha de plástico; colher de plástico; duas canetas com tubinhos de plástico de marcas diferentes.

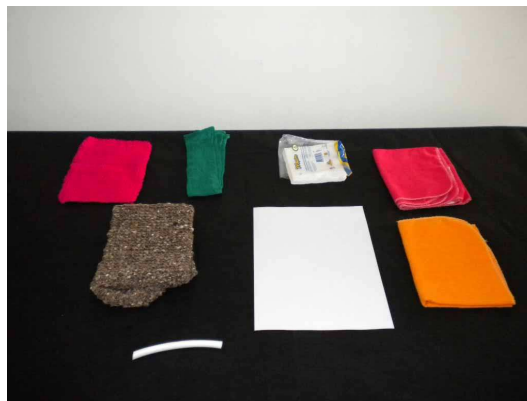
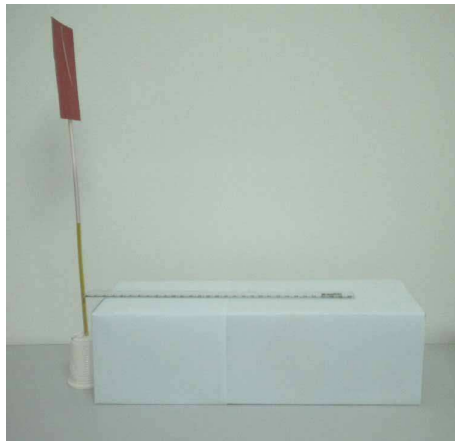


Figura 11: Materiais utilizados para teste de eletrização: lã comercial (pano de plástico); “meia de seda” (85% poliamida); papel (toalha e sulfite); flanela; mangueirinha de plástico.

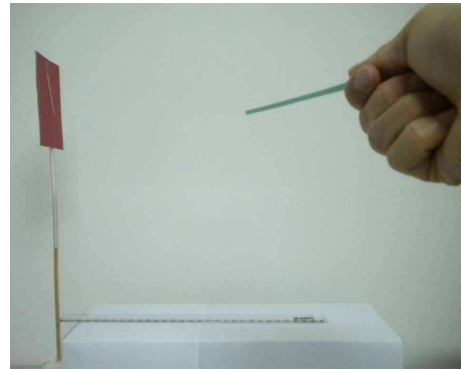
### Experimento 2.1

A verificação da diferença de eletrização dos materiais pode ser feita de duas formas distintas, por meio de dois instrumentos elétricos diferentes. i) Uma maneira é utilizando um eletroscópio (ver a seção 2.2.2), uma régua de 30 cm e um apoio para a régua, tal como mostra a Figura 12(a). Neste aparato, o zero da régua deve ficar encostado no

palito de madeira do poste de sustentação do eletroscópio. Portanto, o zero da régua e a tirinha de papel de seda devem estar posicionados sobre a mesma vertical. Para verificar a eletrização, o objeto eletrizado segurado pela mão é colocado sobre o marco de 30 cm da régua, na altura da ponta inferior da tirinha de papel de seda, como mostra a Figura 12(b). Então, movimentam-se a mão que segura o objeto, lentamente, em direção ao eletroscópio, tal que se aproximem. Desta forma, em um determinado momento a tirinha deve se levantar. Neste momento o movimento da mão com o objeto deve cessar. Em seguida, verifica-se a distância que o objeto está do eletroscópio observando a sua posição sobre a régua. Como o zero da régua e a tirinha estão sobre a mesma vertical, a distância é obtida a partir da leitura direta da régua.



(a) À esquerda temos um eletroscópio, ao centro há um apoio para a régua (neste caso utilizamos uma caixa de sapato) e uma régua de 30 cm apoiada sobre a caixa.



(b) Ilustração da medida sendo realizada. À direita o canudo segurado pela mão é aproximado do eletroscópio.

Figura 12: Aparato para verificar a eletrização dos objetos.

ii) A segunda maneira de verificar a eletrização dos materiais é utilizando um instrumento que tem o mesmo princípio de funcionamento daquele que Gray chamou de *linha pendular*.<sup>8</sup> O aparato que montamos consiste em um poste de sustentação (base de gesso + palito de madeira na vertical), um segundo palito de madeira horizontal preso à haste

<sup>8</sup>Dispositivo feito com uma linha vertical presa a uma vareta de madeira. Em algumas situações o instrumento era utilizado para testar se os corpos estavam eletrizados, ver a Figura 13. Quando feito com esta finalidade, a linha do dispositivo deve ser de material *condutor elétrico*, por exemplo, de linho ou algodão. O teste era feito aproximando-se um corpo da linha. Se ela fosse atraída pelo corpo, este estava eletrizado.\* (ASSIS, 2010, p. 90). Gray mencionou explicitamente que este instrumento é mais sensível para se verificar se um corpo está eletrizado, do que o teste em que o corpo atrai pequenos objetos colocados sobre uma superfície: “A melhor maneira de observar estas atrações é segurando o corpo que atrai em uma mão e, uma fina linha branca amarrada à extremidade de uma vareta na outra [mão]. Desta forma, graus muito menores de atração serão percebidos, do que utilizando de lâminas de latão” (GRAY, 1731-2b, p. 289).

\* A “*linha pendular*” parece ter sido mencionada por Gray pela primeira vez à página 228 do artigo (GRAY, 1731-2a) como uma “*pendulous Thread*”. A tradução deste artigo pode ser encontrada na seção 7.1

vertical, com os dois palitos formando a letra “Γ”, uma linha de material condutor (*i.e.*, de algodão) presa na ponta do palito horizontal, e uma régua de 30 cm apoiada sobre a base de dois postes de sustentação (o segundo poste de sustentação serve tanto como apoio para a régua quanto de referência para a movimentação da linha de algodão), ver a Figura 14.<sup>9</sup>

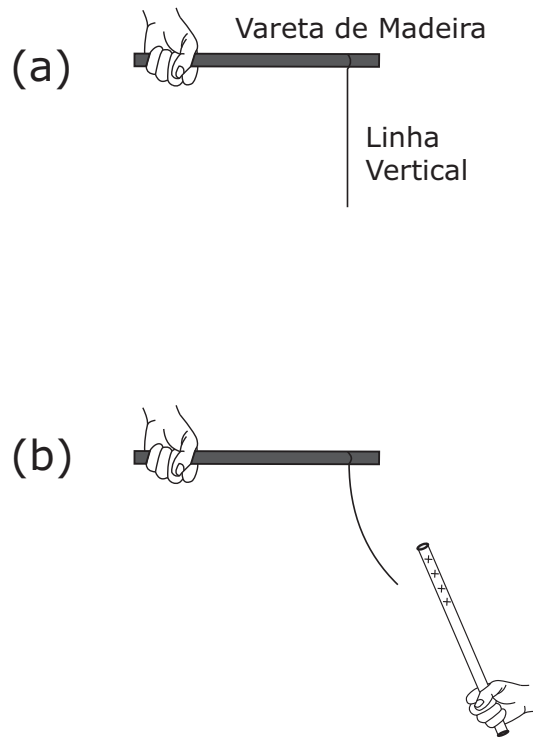


Figura 13: (a) Linha pendular de Gray sendo composta por uma linha condutora presa a uma vareta de madeira. (b) Linha pendular sendo atraída por um tubo eletrizado. Figura adaptada de (ASSIS, 2010, p. 91).

Para fazer as medidas, o objeto eletrizado deve ser colocado sobre a extremidade direita da régua, na altura da extremidade inferior da linha de algodão. Então, movimentar-se lentamente o objeto em direção a linha, de forma que se aproximem, até que a linha se mova devido à atração elétrica. Neste momento, cesse o movimento do objeto e verifique a distância entre a linha e o objeto por meio da régua. Para facilitar as medidas, deixe a marca de 10 cm da régua junto ao palito de sustentação do centro (poste de referência), ou seja, sobre a vertical da linha de algodão. Neste experimento, supomos que quanto mais eletrizado um objeto esteja, maior a distância com que ele fará a tirinha ou a linha se movimentar.

à página 211 desta tese. Uma discussão sobre a utilização da expressão “linha pendular” nesta tese foi apresentada na seção 2.4 do capítulo 2.

<sup>9</sup>É fundamental que os dois palitos de madeira do suporte (palitos na vertical e na horizontal) estejam em contato, para que o sistema fique aterrado. Para prender os dois palitos pode-se utilizar fita adesiva. Certifique-se de que o instrumento *não* esteja sobre uma superfície isolante.

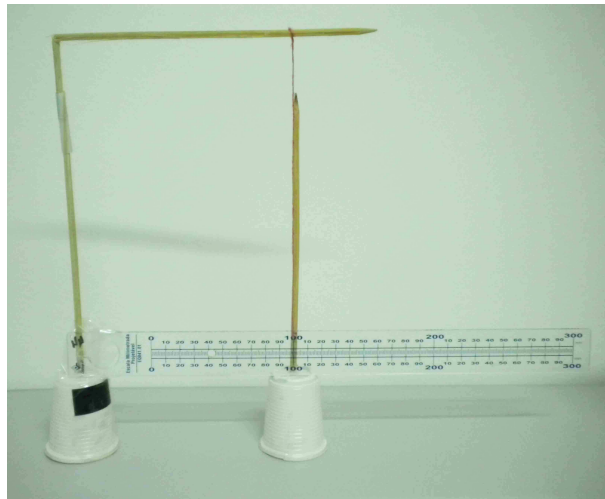


Figura 14: Instrumento para verificação de eletrização. À esquerda temos um palito de sustentação vertical com um segundo palito de madeira horizontal preso na sua ponta, com os dois palitos formando a letra “Γ”. Na ponta do palito horizontal está presa uma linha de algodão de cerca de 20 cm. Ao centro da figura, há um segundo palito de sustentação vertical, que serve tanto como apoio para a régua quanto de referência para a movimentação da linha de algodão. Apoiada sobre a base dos postes de sustentação há uma régua de 30 cm. A linha de algodão está afastada do segundo palito de sustentação vertical em cerca de 2 cm, tal que eles não se toquem. Na figura, a linha de algodão fica evidente apenas na sua parte superior, pois na parte inferior ela não está visível devido ao palito de referência na sua frente.

Sendo assim, realizando um desses procedimentos com vários objetos, é possível ter uma estimativa de qual está mais eletrizado. Estas são maneiras que encontramos de tentar ter algo quantitativo para comparar a eletrização dos objetos a partir de materiais de baixo custo. Também estamos cientes que muitos fatores podem influir na eletrização dos materiais e, portanto, essas medidas são bastante imprecisas. Uma forma de tentar obter resultados que pelo menos permitam ter uma ideia de qual dos materiais teria melhor eletrização é refazer os testes várias vezes, em dias diferentes. Para os objetivos deste experimento, que é a comparação entre a eletrização dos objetos, é possível utilizar qualquer um dos instrumentos, *i.e.*, um eletroscópio ou uma linha pendular, o importante é que todos os testes sejam feitos com apenas um deles. Não se pode fazer parte dos testes com um instrumento e parte com o outro, pois a linha é mais sensível e as distâncias aferidas serão diferentes. O leitor interessado pode construir um eletroscópio eletrônico que permite detectar o tipo de carga que um objeto eletrizado apresenta, para isso consulte Sousa et al. (1996).

Para a realização dos testes, cada material da Figura 10 foi atritado com cada material da Figura 11. Foram feitos vários testes em dias diferentes, as distâncias foram anotadas em um caderno de notas. Nosso objetivo com estas medidas era verificar, de forma simples, se alguns materiais apresentariam diferença na eletrização por atrito e qual ficaria mais

eletrizado. Apesar das medidas realizadas, vamos expor aqui apenas as nossas conclusões com relação aos objetos que, em nossos experimentos, se mostraram mais profícuos para eletrização. Não será apresentado qualquer tratamento com os dados, pois entendemos que isso não seria razoável e nem possível tendo em vista os procedimentos experimentais utilizados aqui. As conclusões foram feitas a partir da comparação da média aritmética das medidas, ou seja, fizemos a média para cada material da Figura 10 atritado com cada material da Figura 11 e as comparamos. Vale ressaltar que as distâncias medidas apresentaram variações durante os testes, o que pode estar relacionado à umidade, à manipulação dos objetos, entre outros motivos.

Com relação aos materiais da Figura 11, concluímos que a “*meia de seda*”<sup>10</sup> é a melhor opção para promover a eletrização dos objetos por atrito. No entanto, em dias secos o atrito com papel também apresenta bons resultados, e pode ser utilizado nos experimentos de eletrostática sem problema.<sup>11</sup> A maior diferença entre a poliamida e o papel, no que tange à eletrização dos objetos, parece ocorrer em dias de chuva, ou muito úmidos. Nestas condições a poliamida apresentou melhor resultado para promover a eletrização.

No que tange à eletrização dos objetos da Figura 10, destacaram-se o tubo de PVC, os canudos e as régua. Dentre os vários canudinhos testados (sete tipos diferentes) a maioria apresentou resultados semelhantes, mas um deles teve um desempenho melhor que os outros, ou seja, apresentou maior eletrização quando atritado com os materiais da Figura 11. Este canudo com melhor desempenho é mais rígido que os outros. Aconselhamos o leitor a testar mais de um tipo de canudo e verificar qual dentre eles apresenta maior eletrização. O mesmo ocorreu com as régua, pois a maioria apresentou pouca variação na eletrização, mas duas delas tiveram um resultado melhor que as outras. Estas duas régua são de acrílico transparente. O tubo de PVC atritado teve a melhor eletrização dentre todos os materiais, isto é, foi o objeto eletrizado que moveu a tirinha de papel de seda do eletroscópio e a “linha pendular” à maior distância. Entretanto, é preciso levar em conta que a superfície de contato do tubo de PVC é bem maior que a do canudo e a da régua, portanto, pode haver maior acúmulo de carga e, por isso, melhor resultado para aquele tipo de aferição que fizemos. O interessante é que tanto o PVC quanto o canudo (aquele mais rígido) atritados com poliamida têm resultados razoáveis até em dia de chuva. Algumas vezes, a dificuldade que tivemos para fazer os experimentos em

<sup>10</sup>São meias para artesanato e popularmente chamadas de “*meia de seda*”, sua composição tem 85% de poliamida. A *meia calça feminina* também tem uma composição semelhante, algumas com até 100% de poliamida. Nesta tese vamos nos referir a estas meias como *poliamida*.

<sup>11</sup>Quando falamos em “*bom resultado*” ou “*resultado razoável*” queremos dizer que o objeto apresenta uma eletrização que permite que os experimentos de eletrostática sejam realizados de forma satisfatória, por exemplo, que eletrize um eletroscópio.



dias chuvosos foi a eletrização do eletroscópio, que pode descarregar rapidamente nestas condições de umidade. Ao carregar o eletroscópio com canudinho ou tubo de PVC atritados (*i.e.*, esfregando o objeto eletrizado na cartolina do eletroscópio) a tirinha de papel de seda levanta, mas, por vezes, imediatamente começa a baixar, indicando a perda de eletrização. Ela não permanece levantada por tanto tempo quanto em dias secos, como também aponta (ASSIS, 2010, p. 161). O mesmo pode ocorrer com o pêndulo elétrico, que perde a eletrização rapidamente e pode dificultar a realização de experimentos que precisam que ele fique carregado por mais tempo. No entanto, como aponta Gaspar (2005, p. 224), “a umidade do ar prejudica mas não invalida as experiências de eletrostática. É possível fazer qualquer experiência mesmo em locais úmidos e dias chuvosos: as dificuldades poderão ser maiores e os efeitos menos notáveis que em dias mais secos, mas mesmo assim é possível obter resultados satisfatórios”.

Tentamos verificar se atritar os objetos com mais força, ou seja, apertando-os entre os dedos com mais intensidade, ou com maior velocidade mudaria a eletrização. Mas não foi possível concluir nada a respeito disso. O que nos parece é que o tubo de PVC fica mais eletrizado com um número maior de fricções com a poliamida. Já para os canudos, tem momentos que com um ou dois puxões (entre os dedos, com papel ou poliamida) já obtém-se um efeito bom, mas há momentos que é preciso puxar (atritar) várias vezes. Não foi possível perceber nenhum padrão com relação a isso. A literatura traz algumas sugestões quanto ao processo de atritar: para Assis (2010, p. 15) a dica é “*esfregar rapidamente*”; para Ferreira (2001, p. 20) o canudo deve ser atritado “*fortemente contra o papel toalha*”; no site do *Projeto Ciência à Mão* (RIPE, 1990, “*Eletrização por Atrito: Canudo de Fresco*”) a instrução para eletrização do canudinho é “*pressionar firmemente o papel contra o canudo e puxar rapidamente*”; já Gaspar (2005, p. 224) recomenda que “*é preciso ensaiar, testar e ser persistente, pois de início nem sempre se obtém os resultados esperados nesse experimento*”. Em geral, quando atritamos o tubo de PVC ou uma régua fazemos movimentos repetidos para frente e para trás, no entanto esse procedimento não é muito aconselhável com o canudinho de fresco. Ele não é suficientemente rígido e, portanto, pode dobrar devido aos movimentos para frente e para trás, o que dificulta o atrito. Por isso, é preferível atritá-lo puxando-o repetidas vezes entre a mão fechada segurando o papel ou a poliamida.

É importante destacar que, em geral, é preciso atritar os objetos (*i.e.*, tubo de PVC, canudo de plástico, régua, etc.) constantemente, ou seja, de tempo em tempo, durante a realização dos experimentos, pois há uma tendência de o material perder a eletrização naturalmente. O tempo para a perda da eletrização depende de vários fatores como, por

exemplo, as condições de umidade do ambiente, de quão eletrizado o objeto ficou após o atrito, o tipo de material que é atritado, entre outros. Além disso, o manuseio constante dos materiais deixa-os impregnados com suor e gordura das mãos, sendo assim, é importante ter disponível uma certa quantidade de canudos para que possam ser substituídos (GASPAR, 2005, p. 224). No caso de cano de PVC, réguas e outros corpos não descartáveis, é interessante limpá-los após certo período de uso. Assim, é importante sempre ter um *versório* ao lado, para verificar se o objeto atritado se encontra bem eletrizado.

Tendo em vista a discussão anterior, as formas de atritar e alguns empecilhos mencionados, cabe ao leitor fazer seus próprios testes e verificar qual o par de materiais mais profícuos para eletrização e a melhor maneira de eletrizá-los.

Com a realização dos experimentos, percebemos que para fazer alguns deles, apesar de o tubo de PVC atritado com poliamida apresentar maior eletrização, o canudo de refresco atritado com poliamida ou papel é melhor. Por exemplo, experimentos em que é preciso carregar o eletroscópio, o canudinho nos parece ser melhor, pois eletriza o instrumento tanto quanto o tubo de PVC e é muito mais fácil de manusear, tendo em vista que há uma possibilidade maior de se derrubar o eletroscópio ao eletrizá-lo com o tubo. Em experimentos com pêndulos elétricos, o canudinho também tem manuseio mais fácil e apresenta efeitos muito semelhantes aos do tubo de PVC. Mas, em outros experimentos o tubo de PVC apresenta melhor resultado que o canudo. Como, por exemplo, em um experimento em que a penugem (ou semente de dente-de-leão) fica oscilando entre a mão e o objeto eletrizado, como será descrito no Experimento 4.5 à página 106 desta tese. Sendo assim, em determinados momentos utilizamos o tubo de PVC e em outros utilizamos um canudo, ou seja, aquele que se adapta melhor ao experimento em questão. Novamente, a sugestão ao leitor é para realizar os testes e averiguar qual é a melhor opção dentre os materiais que se tem disponível.

### 2.3.2 Quais Materiais são Condutores ou Isolantes?

O objetivo deste teste é verificar quais materiais são condutores e quais são isolantes elétricos, dentre aqueles que utilizamos para fazer os experimentos descritos aqui. A característica de condutor ou isolante elétrico de um material é fundamental para a realização dos experimentos e para o entendimento dos fenômenos apresentados, isso ficará claro para o leitor ao longo da tese.

## Experimento 2.2

Para fazer o teste, o eletroscópio da Figura 12 foi carregado eletricamente por contato com um canudinho eletrizado (atrito com papel ou poliamida). Cabe ressaltar que a tirinha de papel de seda do eletroscópio fica levantada quando ele está carregado. Em seguida, o objeto a ser testado era segurado pelos dedos da mão e encostado em um dos cantos da cartolina do eletroscópio. Na medida em que o objeto toca a cartolina a tirinha de papel de seda pode apresentar dois comportamentos distintos: i) se abaixar, demonstrando que o instrumento descarregou, neste caso o objeto é chamado de *condutor elétrico*; ou ii) permanecer levantada, demonstrando que o instrumento não descarregou, neste caso o objeto é chamado de *isolante elétrico*. Sendo assim, nesta tese definimos materiais condutores como aqueles que ao tocarem um eletroscópio carregado o descarregam, *i.e.*, abaixam a tirinha que estava levantada devido ao instrumento estar carregado (GASPAR, 2005, p. 234);(ASSIS, 2010, p. 147);(RIPE, 1990, “*Condutores e Isolantes*”). Podemos, ainda, especificar um pouco melhor esta definição. Segundo Assis (2010), para experimentos de eletrostática, como os que descrevemos aqui, e para os objetivos a que se propõe o seu livro é possível definir:

os *bons condutores* como sendo as substâncias que, ao entrarem em contato com um eletroscópio eletrizado, o descarregam em um intervalo de tempo menor do que 5 segundos. Os *maus condutores* ou *maus isolantes* são as substâncias que o descarregam durante um intervalo de tempo que vai de uns 5 segundos até uns 30 segundos. Estes corpos também são chamados de *condutores imperfeitos* ou de *isolantes imperfeitos*. Já os *bons isolantes* são as substâncias que necessitam de um intervalo de tempo maior do que 30 segundos para descarregar um eletroscópio eletrizado. Neste livro vamos em geral nos referir aos bons condutores simplesmente como condutores, enquanto que os bons isolantes serão chamados normalmente de isolantes. (ASSIS, 2010, p. 161-2, grifo do autor).

Como os objetivos desta tese, no que tange à construção e utilização dos experimentos históricos no Ensino de Física, não são diferentes dos objetivos daquele livro, vamos utilizar a referida definição de condutores e isolantes. O autor também discute o fato de “que o comprimento de um corpo influencia em seu comportamento como condutor ou isolante”, sendo que “quanto maior for o comprimento do corpo entre a mão que o segura e o eletroscópio eletrizado, [...] maior será o tempo necessário para descarregar o eletroscópio” (ASSIS, 2010, p. 161-2). Desta forma, uma tirinha de papel com 2 cm de largura pode ser tanto um bom condutor quanto um bom isolante elétrico, a depender do seu comprimento. Uma tirinha de 2 cm de largura por 10 cm de comprimento, quando segurada com os dedos e encostada na cartolina de um eletroscópio eletrizado, o descarrega rapidamente, de tal sorte que se enquadra na definição de *bom condutor* dada anteriormente. Por outro lado, se a tirinha de papel com 2 cm de largura tiver 30 cm de comprimento, ao ser segurada

com a mão e encostada no eletroscópio eletrizado, o mesmo leva alguns segundos para descarregar, sendo que a tirinha pode ser considerada como *mau condutor* (ou, também, *mau isolante*). Mas, se o comprimento da tira de 2 cm de largura for de 1 m, ao ser encostada na cartolina o eletroscópio permanece eletrizado por alguns segundos, podendo a tirinha ser considerada como um *bom isolante elétrico*. (ASSIS, 2010, p. 162).

Utilizando o procedimento e a definição dada anteriormente, testamos materiais como o palito de madeira do poste de sustentação, o gesso da base do poste, as tiras de papel de seda utilizadas como tirinhas do eletroscópio, cartolina, papel sulfite, papel alumínio, linha de algodão, sementes de dente-de-leão, rolha de cortiça, pedaços de metal (*e.g.*, clipe, pedaço de arame, etc.) e o corpo humano. Todos estes materiais comportaram-se como *condutores elétricos*. Também testamos a cola que utilizamos para colar os experimentos. Para fazer o teste, colocamos um filete de cola (cerca de 5 cm de comprimento) sobre uma régua de acrílico. Após a secagem, retiramos o filete de cola seca da régua (ver a Figura 15) e fizemos o procedimento utilizado para testar a condutividade dos materiais. Concluimos que ela também é um *condutor elétrico*, pois ao tocar no eletroscópio carregado a tirinha se abaixou imediatamente.

Testamos, ainda, uma *pena*. Tanto a *haste* quanto as *cerdas* e a *pena inteira* comportaram-se como *condutores elétricos*. Utilizamos a haste e as cerdas separadamente, bem como a pena inteira (ver a Figura 15). Para qualquer uma das partes da pena, ou ela inteira, a tirinha do eletroscópio se abaixava após o contato. Entretanto, tanto a haste quanto as cerdas e a pena inteira não descarregavam o eletroscópio imediatamente, como faz um metal ou madeira, por exemplo. No caso da pena, a tirinha de papel de seda demora aproximadamente de 3 a 5 segundos para abaixar totalmente. Mesmo assim, tomando como base a definição de *bons condutores* dada por Assis (2010) a pena é um *bom condutor* de eletricidade. Vale ressaltar que a pena é um *bom condutor* para aqueles comprimentos que utilizamos, isto é: haste de cerca de 9 cm, cerda de aproximadamente 3 cm, e pena inteira de cerca de 10 cm. Para comprimentos maiores o comportamento referente a condutividade elétrica pode mudar.

Por outro lado, materiais como canudos de refresco, plástico, tubo de PVC, régua de acrílico, linha de seda, poliamida, poliéster, isopor, comportaram-se como *isolantes elétricos*.<sup>12</sup>

---

<sup>12</sup>Há uma lista de “Corpos que se Comportam como Condutores e Isolantes nas Experiências Usuais de Eletrostática” em Assis (2010, p. 151).



Figura 15: No alto da figura temos um exemplo da haste de pena (à esquerda) e três conjuntos de cerdas. No meio há uma pena, e na parte inferior da figura temos uma tirinha de cola seca.

## 2.4 Sobre a “Linha Pendular” e a “Linha Branca”

### 2.4.1 A Linha Pendular

Um ponto que vale a pena o leitor ficar atento é para as possíveis definições do objeto chamado por Gray de “linha pendular” (“*pendulous thread*” nos originais em inglês). Dependendo da situação em que é utilizada, a linha pendular assume propriedades diferentes, podendo ser feita de linha isolante ou condutora, o que implica em comportamentos bastante distintos. Em algumas situações o texto não menciona o material de que a linha pendular é feita. Portanto, inferimos se ela é condutora ou isolante a partir do contexto em que é empregada. Vamos ver dois exemplos que ilustram esta questão.

A “*linha pendular*” parece ter sido mencionada por Gray pela primeira vez à página 228 do artigo (GRAY, 1731-2a), que corresponde à página 212 desta tese, como uma “*pendulous Thread*”. Neste caso, ela provavelmente se referia a uma penugem condutora dependurada na ponta inferior de uma linha de seda isolante. O experimento trata de uma linha pendular que é atraída e repelida por um prato eletrizado. Gray não especificou de que material foi feita esta linha pendular. Contudo, neste exemplo em particular, afirma que a linha pendular “será atraída e repelida [pelo prato] muitas vezes seguidas com um movimento muito rápido” (GRAY, 1731-2a). Para que ocorra este movimento repetido de atração e repulsão, o que nos parece mais provável é que esta linha pendular seja similar ao instrumento elétrico que ele descreveu em 1720 (GRAY, 1720-1, p. 107) [ver à página 128 desta tese e a Figura 42 à página 129], o qual atualmente denominamos de *pêndulo elétrico*. Isto é, uma vareta de madeira tinha uma fina linha de seda isolante presa em sua ponta. Na extremidade inferior da linha de seda era presa uma penugem. Gray segurava a vareta, na posição horizontal, com a mão. A linha de seda ficava na vertical, com a penugem na extremidade inferior. Embora a vareta de madeira se comporte como um condutor,

isto não é relevante neste caso. Os aspectos cruciais são que a linha de seda se comporta como um isolante, enquanto que a penugem se comporta como um condutor. Pode ser obtida uma sequência de atrações e repulsões com um pêndulo elétrico ao colocá-lo entre um corpo eletrizado e um condutor aterrado (ASSIS, 2010, p. 88-89, experiência 4.15). No caso específico desta experiência de Gray, a penugem de seu pêndulo elétrico seria mantida na mesma altura do prato eletrizado pela linha de seda. A penugem ficaria entre o prato eletrizado e um corpo aterrado, que vamos supor que seja um dedo de uma das mãos de Gray. Ao aproximar o pêndulo do prato eletrizado, a penugem é atraída pelo prato, toca nele, adquire uma carga de mesmo sinal que o prato, passa a ser repelida por ele, toca no dedo de Gray que está do outro lado da penugem, sendo então descarregada neste aterramento. Ela então volta a ser atraída pelo prato eletrizado e todo o procedimento se repete. Este movimento vibratório de atração e repulsão continuará até que o prato tenha sido descarregado, quando então deixará de atrair a penugem. Utilizaremos, nos textos escritos por nós, a nomenclatura de *pêndulo elétrico* para o instrumento que Gray reporta oscilar entre um corpo eletrizado e outro neutro, o qual ele denomina de *linha pendular*.

No entanto, Gray também chama de linha pendular um outro instrumento, que descrevemos em seguida. Utilizaremos, nos textos escritos por nós, o termo *linha pendular* apenas para o instrumento descrito a seguir. Contudo, o leitor deve ficar atento porque nas traduções em si, ou seja, nos textos de Gray vertidos para o português, a expressão *linha pendular* pode significar qualquer um dos dois instrumentos, a depender do contexto.

No texto (GRAY, 1731-2d, p. 403) (página 261 desta tese) a *linha pendular* provavelmente era um condutor elétrico. O experimento trata de uma linha utilizada para verificar se uma bola de cortiça está eletrizada, ou seja, é utilizada como um detector de eletrização. Neste caso, a linha deve ser um condutor elétrico, *e.g.*, feita de algodão ou de linho, para que possa ser visivelmente atraída pelo objeto eletrizado. Caso a linha fosse feita de seda, um material isolante, a atração que ela sofreria pela bola de cortiça eletrizada seria muito pequena, não sendo tão perceptível quanto no caso anterior (ASSIS, 2010, p. 90-2). Algumas experiências propostas por Assis (2010) nos permitem verificar que alguns materiais são bem atraídos por um corpo eletrizado, enquanto que outros materiais ou não são atraídos, ou então a atração sofrida por eles é bem menor do que aquela sofrida pelos primeiros materiais (ASSIS, 2010, p. 22-4). Supondo vários materiais de mesmo peso e formato, mas feito de substâncias diferentes, o que se observa é que a atração sofrida pelos materiais condutores é bem maior do que aquela sofrida pelos materiais isolantes. (ASSIS, 2010, p. 22-4, 90-2, 149 e 198-201).

A partir desses experimentos, o leitor pode fazer uma comparação entre um corpo ser ou não ser atraído por um objeto eletrizado, com o fato deste corpo ser ou não ser condutor. Ou seja, os materiais que são visivelmente atraídos são condutores ou isolantes? Ou, os materiais que quase não são atraídos são condutores ou isolantes? É possível estabelecer alguma relação? Sugerimos ao leitor que faça a leitura da Seção 6.3 (“*Quais Corpos Descarregam um Eletroscópio por Contato?*”) (ASSIS, 2010, p. 147-152, Experiência 6.12), pois há uma discussão bastante interessante e completa sobre os materiais condutores e isolantes.

## 2.4.2 A Linha Branca

O mesmo se aplica para o objeto chamado por Gray de “linha branca” (“*white thread*” nos originais em inglês). Dependendo da situação em que é utilizada, a linha branca assume propriedades diferentes, podendo ser feita de linha isolante ou condutora, o que implica em comportamentos bastante distintos. Em algumas situações o texto não menciona o material de que a linha branca é feita. Portanto, inferimos se ela é condutora ou isolante a partir do contexto em que é empregada. Vamos ver dois exemplos que ilustram esta questão.

No texto (GRAY, 1731-2b, p. 289) (página 229 desta tese) provavelmente a linha branca era um condutor elétrico. Aqui a linha é utilizada para verificar se objetos estão eletrizados, ou seja, é utilizada como um detector de eletrização. Neste caso, a linha branca tem a mesma função da linha pendular citada na subseção 2.4.1, apenas recebendo um nome diferente. Portanto, deve ser um condutor elétrico, *e.g.*, feita de algodão ou de linho, para que possa ser visivelmente atraída pelo objeto eletrizado. Caso a linha branca fosse feita de um material isolante como a seda, ela seria muito menos atraída por um objeto eletrizado do que uma linha condutora de mesma densidade (isto é, de mesmo peso e de mesmo comprimento que a linha condutora) (ASSIS, 2010, p. 90-2). Já no texto (GRAY, 1731-2d, p. 397) (página 250 desta tese) existe a possibilidade de interpretá-la como um material condutor e como um material isolante. Não vamos fazer uma descrição sobre estas duas possibilidades nesta *Introdução*, pois a fazemos de forma detalhada na seção 9.1.1 (“*Carta I*”, à página 249 desta tese). O importante, no momento, é o leitor ficar ciente de que a expressão “linha branca”, tal como a expressão “linha pendular”, não tem significado único nos artigos de Gray. Portanto, é preciso ficar atento às situações e aos comentários para entender os diferentes significados que as expressões assumem.

## 2.5 Diferenças entre os Vidros da Época de Gray e os Vidros Atuais

Os fenômenos elétricos foram descobertos pelos antigos gregos quando observaram que um pedaço de âmbar atritado tinha a capacidade de atrair corpos leves (tais como penugens, cascas de sementes, etc.) ao se aproximar deles. Na época de Gray, era comum utilizar-se um tubo de vidro em vez do âmbar para realizar experiências deste tipo. Existem três diferenças muito importantes entre os vidros utilizados na época de Gray e aqueles encontrados comumente hoje em dia. Estas diferenças discutidas aqui referem-se ao comportamento elétrico destes vidros. Quando nos referimos aos vidros comuns encontrados atualmente, estes podem ser tanto aqueles de nossas residências (*e.g.* copo, garrafa, recipiente para guardar alimentos, janela, etc.), quanto aqueles adquiridos facilmente no comércio (*e.g.* béquer, tubo de ensaio, lente, lâmina de microscópio, etc.).

Estas diferenças podem ser devidas tanto às composições destes vidros, quanto aos processos de fabricação destes materiais. É importante enfatizar estas diferenças tanto pelo aspecto histórico relacionado às experiências originais de Gray, quanto pelos aspectos pedagógicos e didáticos quando se tenta reproduzir algumas destas experiências com vidros atuais, já que elas podem não funcionar da mesma maneira como foram descritas por Gray.

Estas diferenças são discutidas nas próximas três subseções (ASSIS, 2010, p. 13-14, 100, 240-2), começando com a mais relevante.

### 2.5.1 Comportamento Isolante ou Condutor

Gray realizou a maior parte de suas experiências eletrizando um tubo de vidro de *flint-glass*, isto é, um vidro à base de chumbo. Este tubo era eletrizado por atrito contra a mão de Gray. Depois de atritado, o tubo permanecia eletrizado durante suas experiências enquanto era segurado por Gray com uma de suas mãos. Outros pesquisadores daquela época tais como Hauksbee, Du Fay e Nollet também eletrizavam vidros por atrito. Estes vidros podiam tanto ser aqueles comuns daquela época, quanto podiam ser de *flint-glass*. Estes vidros também permaneciam eletrizados enquanto eram manipulados pelos pesquisadores. Isto indica que os tubos de vidro daquela época se comportavam como excelentes isolantes elétricos, já que não eram descarregados pelo contato com a mão do pesquisador, que estava aterrada.

Por outro lado, os vidros encontrados usualmente hoje em dia nas residências e no



comércio comportam-se como bons condutores elétricos nas experiências usuais de eletrostática. Este comportamento é facilmente verificado com um eletroscópio eletrizado, como discutido nas subseções 2.2.2 e 2.3.2. Ou seja, se temos um eletroscópio eletrizado e tocamos sua cartolina com um copo de vidro segurado pela mão, observa-se que o eletroscópio é descarregado rapidamente. Sua tirinha de papel de seda é abaixada em poucos segundos neste contato, permanecendo abaixada após o afastamento do copo.

Isto significa que não conseguimos eletrizar os vidros atuais utilizando o procedimento de Gray. Por exemplo, seguramos um copo de vidro com uma mão e o atritamos contra o cabelo ou contra um pano de seda ou de algodão. Quando aproximamos este vidro atritado de papezinhos colocados sobre uma mesa, não se observa nenhuma atração exercida pelo copo. Mesmo quando ocorre alguma atração, ela tem pouca intensidade, não sendo facilmente perceptível. A explicação desta falta de atração é que, qualquer que seja a quantidade de carga que o copo tenha adquirido pelo atrito, esta carga é logo escoada pelo copo através da mão do pesquisador, fluindo para o solo.

Segundo Bossa e colaboradores (2007), “a condutividade elétrica dos vidros é uma propriedade muito sensível as variações de composição.” (BOSSA et al., 2007). Desta forma, é possível existirem vidros condutores e isolantes, sendo que esta propriedade define se o material eletrizará ou não no processo “mais comum” de eletrização por atrito, *i.e.*, segurar o objeto com uma das mãos e atritá-lo com algum material na outra mão. Materiais isolantes podem ser eletrizados facilmente da maneira como citamos, já os condutores precisam estar isolados eletricamente para que isso ocorra.

Isto significa que antes de tentar reproduzir qualquer experiência de Gray utilizando os vidros atuais, é necessário testar inicialmente se estes vidros se comportam como isolantes ou condutores. Caso eles se comportem como condutores, não será possível reproduzir a experiência da mesma forma em que foi realizada por Gray, a não ser que este vidro seja previamente isolado eletricamente do contato com a Terra e com o corpo do pesquisador.

Um procedimento que auxilia bastante na alteração do comportamento elétrico do vidro é o aquecimento. Um vidro que se comporta como condutor elétrico pode passar a se comportar como isolante ao ser aquecido no fogo ou em um microondas. O suor da mão de quem realiza o experimento ou a umidade acumulada na superfície de um vidro aumentam suas propriedades condutoras, fazendo com que as cargas elétricas fluam mais livremente sobre ele. Ao ser aquecido, parte deste suor e da umidade é evaporado ou eliminado, fazendo com que o vidro passe a se comportar como um isolante elétrico. Outro fator que auxilia neste comportamento isolante do vidro é trabalhar com tubos

longos que são atritados em uma extremidade, enquanto são segurados pela mão na outra extremidade. Quanto mais longo for o tubo, maior será o tempo em que as cargas geradas pelo atrito ficarão sobre sua superfície. Gray, em particular, trabalhava frequentemente com um tubo que tinha 1 metro de comprimento.

Devido à dificuldade de se obter atualmente um vidro que seja um bom isolante elétrico utilizamos, nas experiências descritas nesta tese realizadas com material de baixo custo, canudos plásticos ou tubos de PVC em vez de tubos de vidro. Estes materiais são excelentes isolantes, assim como os vidros da época de Gray, sendo baratos e facilmente encontrados no comércio. Ou seja, o material que será utilizado nesta tese para observar os efeitos elétricos de atração de corpos leves, assim como os outros fenômenos descritos por Gray, será um canudo plástico ou um tubo de PVC. Este material será atritado contra alguma substância (no nosso cabelo, na pele, em algum papel ou tecido). Em seguida, este material eletrizado será seguro pela nossa mão para então exibir os fenômenos elétricos desejados (tais como atrair corpos leves que estejam em suas proximidades, etc.)

### 2.5.2 Densidade Superficial das Cargas Geradas pelo Atrito

Mesmo quando um vidro atual se comporta como isolante elétrico (seja por sua composição intrínseca, ou pelo fato de ter sido previamente aquecido), ainda assim existe uma diferença grande entre os vidros modernos e aqueles da época de Gray.

Gray e outros pesquisadores de sua época conseguiam efeitos muito grandes e perceptíveis com seus tubos de vidro eletrizados. Consequiam, por exemplo, atrair corpos leves que estavam a dezenas de centímetros dos tubos eletrizados. Também conseguiam transmitir a virtude elétrica a mais de 100 metros do tubo, desde que houvesse um condutor entre o tubo eletrizado e o ponto onde era observada a atração de corpos leves. Nestas experiências a extremidade do condutor que estava mais afastada do tubo era capaz de atrair corpos leves, desde que a primeira extremidade do condutor estivesse em contato ou próxima do tubo eletrizado. Além disso, Gray gerava faíscas e descargas elétricas com certa facilidade ao aproximar seu tubo de vidro eletrizado de outros corpos condutores.

É difícil reproduzir alguns destes efeitos descritos por Gray utilizando os materiais comuns de hoje em dia. Para realizar estas experiências temos de eletrizar um isolante por atrito. Este isolante pode ser, por exemplo, um vidro previamente aquecido, um canudo plástico ou um tubo de PVC. Mesmo quando conseguimos reproduzir alguns dos fenômenos descritos por Gray, a ordem de grandeza observada atualmente é em geral menor do que aquela descrita por ele. Por exemplo, a distância mínima a partir da qual

observamos a atração de corpos leves quando aproximamos deles um isolante eletrizado é em geral menor do que aquela descrita por Gray. Podemos também transmitir a eletricidade para a extremidade livre de condutores que estejam ligados ao nosso isolante eletrizado. Também neste caso o comprimento máximo deste condutor para o qual conseguimos observar a atração de corpos leves por sua extremidade livre é menor do que aquele das experiências de Gray. Dificilmente conseguimos faíscas e descargas elétricas visíveis ao eletrizar um isolante por atrito e aproximá-lo de um condutor. Já para Gray a observação deste fenômeno não parecia ser tão difícil.

A explicação desta diferença de comportamento está nas densidades superficiais de carga obtidas pelo atrito. O tubo de Gray era não apenas um excelente isolante, mas tinha a capacidade de adquirir uma grande densidade de carga ao ser atritado. Esta densidade de carga que ele obtinha ao atritar seu tubo era bem maior do que aquela que obtemos hoje em dia, mesmo quando utilizamos bons isolantes elétricos (como é o caso dos canudos de plástico ou um tubo de PVC). Devido a esta pequena densidade superficial de carga obtida hoje em dia, fica difícil reproduzir algumas das experiências de Gray, pelo menos com a intensidade descrita por ele.

### 2.5.3 Tipo de Carga Adquirida por Atrito

A terceira diferença refere-se ao tipo de carga adquirida pelo vidro quando é atritado com a pele humana (ASSIS, 2010, p. 110-128).

A descoberta dos dois tipos de eletricidade é devida a Du Fay. Foi ele também quem propôs a regra segundo a qual dois corpos eletrizados com eletricidade do mesmo tipo se repelem, enquanto que dois corpos eletrizados com eletricidades de tipos diferentes se atraem. Estas descobertas foram publicadas em 1733 (DU FAY, 1733; DU FAY, 1733-4; BOSS; CALUZI, 2007). Ele denominou de *eletricidade vítrea* ao primeiro tipo de eletricidade, e de *eletricidade resinosa* ao segundo tipo de eletricidade. Ele obteve que o vidro e a lã adquiriam eletricidade do primeiro tipo ao serem atritados com a pele e com a seda. Por outro lado, obteve que as resinas e a seda adquiriam eletricidade do segundo tipo ao serem atritadas com a pele e com um outro pedaço de seda.

Uma questão que pode ser levantada aqui é: ao atritarmos dois pedaços de seda haverá eletrização? Segundo um experimento realizado por Du Fay e descrito na sua “*Quarta Memória*” (DU FAY, 1733, p. 472-3), ao atritar dois pedaços de seda houve eletrização de pelo menos um deles,<sup>13</sup> sendo que o pedaço de seda que ele analisou tinha eletricidade

<sup>13</sup>Afirmamos que pelo menos um dos pedaços de seda ficou eletrizado porque nada é dito, no texto, sobre

resinosa. Se tomarmos como base as ideias da “física atual”, podemos dizer que se o pedaço de seda analisado por Du Fay estava eletrizado, o outro também estava. Além disso, se o referido objeto apresentou carga elétrica negativa, o outro apresentaria carga elétrica positiva. Uma possível explicação para este tipo de eletrização entre objetos de mesmo material pode estar na composição química do material, uma vez que qualquer mudança deste tipo pode interferir na eletrização por atrito. Ou seja, embora Du Fay tenha atritado dois pedaços de seda, pode ser que eles tivessem composições diferentes entre si. Mas, caso partamos do princípio que os objetos sejam iguais em composição química, é possível supor que alguma variação na textura do material, ou a presença de contaminantes (*e.g.*, sujeira, poeira, gordura da mão, etc.) pode influenciar na troca de cargas elétricas no momento do atrito, fazendo com que um objeto adquira certo tipo de carga elétrica e o outro adquira carga de natureza oposta.

Vinte anos depois de Du Fay publicar estas descobertas, começaram a surgir algumas anomalias. Em particular, foi observado que um mesmo tipo de vidro áspero podia obter eletricidade do primeiro ou do segundo tipo, dependendo do material com o qual era atritado. O mesmo ocorria com outras substâncias. Isto levou à criação das chamadas séries triboelétricas, sendo as primeiras publicadas em 1757 e 1759. Os termos *vítrea* e *resinosa* deixaram de ter sentido após estas descobertas. Passou-se a chamar a eletricidade do primeiro tipo de *eletricidade positiva*, enquanto que a eletricidade do segundo tipo passou a ser chamada de *eletricidade negativa*. Se atritamos dois corpos entre si,  $C_1$  e  $C_2$ , aquele que estiver mais próximo do sinal + da série triboelétrica vai adquirir eletricidade positiva, enquanto que o outro corpo vai adquirir eletricidade negativa, já que se encontra mais próximo do sinal – da série triboelétrica.

Convencionou-se então chamar de *eletricidade positiva* à eletricidade que era chamada de *vítrea* na época de Du Fay. Também ficou convencionado que a eletricidade chamada de *resinosa* na época de Du Fay passasse a ser chamada de *eletricidade negativa*.

A terceira diferença que ocorre entre os vidros da época de Gray e os atuais está relacionado à carga adquirida por eles ao serem atritados contra a pele humana. Os vidros atuais estão muito próximos da pele nas séries triboelétricas (ASSIS, 2010, p. 127). Isto significa que alguns vidros atuais vão estar mais próximos da carga + do que a pele humana nestas séries triboelétricas. Vamos chamá-los de vidros do tipo *A*. Já outros vidros atuais vão estar mais próximos da carga – do que a pele humana nestas séries triboelétricas. Vamos chamá-los de vidros do tipo *B*, Tabela 1.

---

o outro pedaço de seda. Desta forma, entendemos que apenas um dos pedaços foi analisado por Du Fay.

+
vidro do tipo <i>A</i>
pele humana
vidro do tipo <i>B</i>
-

Tabela 1: Série triboelétrica com vidros atuais.

Ou seja, quando atritamos um vidro do tipo *A* contra a pele, este vidro adquire carga +. Por outro lado, ao atritar um vidro do tipo *B* contra a pele, este vidro adquire carga -. Para saber se um certo vidro é do tipo *A* ou *B*, temos de atritá-lo contra a pele humana e testar a carga adquirida pelo vidro. Somente experiências deste tipo vão permitir classificá-lo como um vidro do tipo *A* ou do tipo *B*.

Isto significa que os vidros atuais podem adquirir carga + ou - ao serem atritados contra a pele, dependendo se são do tipo *A* ou *B*, respectivamente. Por outro lado, os vidros utilizados por Gray e por outros pesquisadores de sua época sempre adquiriam carga + ao serem atritados contra a pele.

Nesta tese sempre que representarmos as cargas adquiridas pelo vidro em alguma experiência original de Gray, estas cargas serão positivas. Como exemplo podemos citar a Figura 17 na página 91 desta tese. Mas é importante ter em mente que se reproduzirmos alguma destas experiências com um vidro atual, este vidro pode ficar eletrizado positiva ou negativamente ao ser atritado contra a pele, dependendo se é do tipo *A* ou *B*.

## 3 Uma Breve Biografia de Stephen Gray e uma Linha do Tempo

### 3.1 Uma Breve Biografia de Stephen Gray (1666-1736)

#### 3.1.1 Introdução

Stephen Gray<sup>1</sup> (1666-1736) foi um importante, porém pouco mencionado, pesquisador do início do Século XVIII. Ele deu importantes contribuições na área da astronomia e da eletricidade. Dentre seus feitos encontram-se observações precisas sobre manchas solares, a verificação da transmissão da eletricidade e da eletrização por indução, bem como a proposição da existência de materiais condutores e não-condutores de eletricidade.

Chamou-nos atenção a pequena ou nenhuma relevância que alguns textos dão a Stephen Gray e ao seu trabalho. Assim, procuramos entender e divulgar um pouco mais sobre a vida deste astrônomo e importante “eletricista”<sup>2</sup> do Século XVIII. Apresentaremos uma breve biografia de Gray, bem como algumas dificuldades enfrentadas pelos pesquisadores<sup>3</sup> na construção de uma biografia deste “eletricista”. Apresentaremos também algumas informações aos leitores sobre como localizar fontes de pesquisa em História da Ciência disponíveis na internet. Este último objetivo deve-se ao fato de os autores terem verificado, ao longo dos anos, certa dificuldade de alunos de graduação e de pós-graduação em localizar fontes quando iniciam pesquisas em História da Ciência.

Um estudo mais detalhado sobre as publicações de Stephen Gray mostra que os seus trabalhos podem ser divididos em três períodos: entre 1696 e 1706; de 1706 a 1731 e de 1731 até sua morte em 1736.<sup>4</sup> As publicações do primeiro período abordam temas

---

<sup>1</sup>O texto desta seção 3.1 é uma versão modificada do artigo publicado na *Revista Brasileira de Ensino de Física* (BOSS; CALUZI, 2010). Foram feitas pequenas modificações no texto para adequá-lo à tese.

<sup>2</sup>Neste trabalho chamamos de “eletricistas” aqueles pesquisadores do Século XVIII que estudavam os fenômenos elétricos e a eletricidade.

<sup>3</sup>O termo “*pesquisadores*” remete aos autores nos quais nos fundamentamos para escrever este trabalho.

<sup>4</sup>Para pesquisar sobre trabalhos produzidos naquela época ou mesmo antes, podemos utilizar as seguintes fontes:

relacionados à astronomia, instrumentação científica e óptica, num total de dez trabalhos. No segundo período, encontram-se apenas quatro trabalhos, sendo três sobre astronomia e um sobre eletricidade.<sup>5</sup> No último período foram publicados oito trabalhos sobre eletricidade e um sobre astronomia, totalizando 9 trabalhos.<sup>6</sup> Portanto, encontramos 23 artigos de Stephen Gray publicados no periódico *Philosophical Transactions of the Royal Society*. Este levantamento apresentou uma característica intrigante, pois as publicações dos artigos se concentram principalmente no primeiro e no último período, ou seja, entre 1696 a 1706 e entre 1731 a 1736. Neste trabalho discorreremos sobre esses períodos e seus caminhos, bem como apresentamos ao final do artigo uma lista com as 23 publicações de Gray.

- 
- O catálogo elaborado por Jeremias David Reuss (1750-1837), formalmente denominado *Repertorium Commentationum a Societatibus Litterariis Editarum*. A obra tem 16 volumes disponíveis no endereço <http://gdz.sub.uni-goettingen.de/en/dms/colbrowse>.
  - Outro catálogo que possui finalidade semelhante é o elaborado por Johann Christian Poggenдорff (1796-1877), formalmente denominado *Biographisch-Literarisches Handwörterbuch der exakten Naturwissenschaften*. O primeiro e segundo volumes estão disponíveis para *download* gratuito no site [www.archive.org](http://www.archive.org).
  - Outro catálogo importante é o produzido pela *Royal Society* de Londres: *Catalogue of Scientific Papers* em 19 volumes. Ele está disponível on-line no endereço <http://gallica.bnf.fr>.
  - Outro endereço bastante útil é: [www.scholarly-societies.org](http://www.scholarly-societies.org). Neste site é possível obter informações sobre Academias de Ciências em todo o mundo com links, abreviações de títulos de jornais e revistas antigas presentes nos catálogos citados anteriormente.
  - Para procurar por informações sobre a produção científica recente é possível utilizar as bases de indexação de informação, *e.g.*, *Web of Science*, disponibilizada pela *Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior* (CAPES). Infelizmente, nem todas as bases estão disponibilizadas para o acesso público. Algumas são de acesso restrito a *algumas universidades* públicas e particulares. Outras bases são de acesso gratuito ao público em geral, *e.g.*, [www.dominiopublico.gov.br](http://www.dominiopublico.gov.br) e [www.scielo.br](http://www.scielo.br).
  - Tivemos acesso aos artigos publicados por Gray no site da *Biblioteca Nacional da França* (<http://gallica.bnf.fr>), que é de acesso livre. Além da revista *Philosophical Transactions*, está disponível um grande número de periódicos nas mais variadas áreas. Os artigos de Stephen Gray também podem ser obtidos no banco de dados *JSTOR* ([www.jstor.org](http://www.jstor.org)), que é de acesso restrito a assinantes.
  - Para levantamento de literatura secundária uma fonte interessante é o *Current Bibliography*, publicado anualmente, desde 1913, pela revista *Isis*. Para mais informações acessar o site [www.ou.edu/cas/hsci/isis/website/index.html](http://www.ou.edu/cas/hsci/isis/website/index.html). Outra referência interessante é o *Catálogo da Comunidade Científica* dos séculos XVI e XVII. Este catálogo foi elaborado por Richard Westfall e pode ser acessado no endereço <http://galileo.rice.edu/lib/catalog.html>.
  - Todos os links desta Nota foram acessados em: 16 ago. 2009.

<sup>5</sup>Os três trabalhos que versam sobre astronomia não foram enviados à *Philosophical Transactions* por Gray, mas são publicações que contêm dados coletados por ele. Ver *Notas 33 e 34*.

<sup>6</sup>Ver a seção “*Lista de Publicações de Stephen Gray*” à página 82 desta tese.

### 3.1.2 Algumas Dificuldades para a Elaboração de uma Biografia

Uma das dificuldades encontradas pelos “*biógrafos*” de Gray diz respeito ao acesso às fontes primárias de seus trabalhos. A avaliação detalhada destes textos permite ao pesquisador levantar fatos que, ao serem organizados cronologicamente e analisados, fornecem alguns parâmetros da vida do biografado. Desta forma, elaborar uma biografia exige que o pesquisador tenha em mãos uma grande quantidade de material de pesquisa de fonte primária, pois o trabalho será tão completo quanto maior for a quantidade de material relevante disponível. No caso de Gray, suas cartas manuscritas encontram-se aos cuidados de instituições como: o *Observatório Real de Greenwich*, o *Museu Britânico* e a *Real Sociedade de Londres*. Os pesquisadores também encontraram informações nos arquivos paroquiais de igrejas e em arquivos pessoais, *e.g.*, na paróquia de Canterbury (provável cidade natal de Gray) e nos arquivos familiares dos Stukeley (ver *Nota 7*). Neste caminho percorrido existem vários pontos de dificuldade, que vai desde a constatação da existência de um determinado documento até a sua obtenção. A análise de documentos não relacionados diretamente ao biografado também pode ser extremamente relevante, visto que pode auxiliar na delimitação dos fatos e esclarecer pontos obscuros da pesquisa – como é o caso dos arquivos dos Stukeley.

Tivemos acesso a duas listas cronológicas das cartas manuscritas de Gray (CHIPMAN, 1958, p. 430);(CLARK; MURDIN, 1979, p. 352). Para obtenção dos textos mencionados nas listas e que foram publicados os pesquisadores recorreram ao periódico *Philosophical Transactions of the Royal Society*. Para conseguir as cartas manuscritas não-publicadas recorreram às coleções da *Sociedade Real* (RS), do *Museu Britânico* (BM) e do *Observatório Real de Greenwich* (RGO). Quase tudo o que é conhecido sobre Gray está compilado em 62 cartas. Destas, 25 estão nos arquivos do RGO, 9 estão na coleção Sloane do BM, 22 estão aos cuidados da RS, e 6 outros manuscritos que não se sabe o destino foram publicados na *Philosophical Transactions* (CLARK; MURDIN, 1979, p. 351). Além destas fontes, Bernard Cohen descobriu nas *Memórias* da família do reverendo e médico William Stukeley<sup>7</sup>, publicada pela *Surtees Society*,<sup>8</sup> informações que iluminaram pontos obscuros

<sup>7</sup> W. Stukeley cursou medicina na Universidade Bennet ou Bene't, hoje Universidade Corpus Christi, em Cambridge. Estudou com um sobrinho de Stephen Gray, John e, por isso, teve contato com Stephen. Em sua autobiografia Stukeley refere-se a Gray: “Naquele momento, o primeiro eminente propagador da eletricidade [...]” (COHEN, 1954, p. 45).

<sup>8</sup> Sociedade fundada em 1834 com o objetivo de publicar manuscritos inéditos, ilustrativos da condição intelectual, moral, religiosa e social daquela parte da Inglaterra e Escócia (situada no norte da Grã-Bretanha), incluídas no Leste, entre Humber e o estuário de Forth, e no Oeste entre Mersey e Clyde, região que constituía o Antigo Reino de Northumberland (Antigo Reino da Northumbria). (FONTE: www.surteessociety.org.uk - acesso em: 29 mar. 2009).



da vida de Gray (CHIPMAN, 1958, p. 414).

Para o estudo da vida de Gray tivemos acesso a quatro artigos bastante relevantes (CHIPMAN, 1958);(CLARK; MURDIN, 1979);(COHEN, 1954);(CHIPMAN, 1954). Além destes artigos, nosso trabalho de pesquisa fundamentou-se também em uma análise detalhada dos nove artigos publicados por Gray sobre eletricidade na *Philosophical Transactions*.

Os artigos de Chipman (1954, 1958), Clark e Murdin (1979) e Cohen (1954) foram fundamentados nos documentos encontrados nas instituições citadas anteriormente (RGO, RS, BM). Apresentaremos a biografia de forma concisa, com o propósito de fornecer ao leitor uma visão geral da vida de Gray. Não é difícil nos depararmos com dúvidas que pairam sobre alguns fatos e questões sem respostas, ou ainda, com respostas contraditórias.

### 3.1.3 Dados Biográficos de Stephen Gray

#### 3.1.3.1 Alguns Dados sobre Sua Vida

No início de uma biografia geralmente são apresentados a data e o local de nascimento. No caso de Gray tais informações não são precisas e por isso merecem atenção, uma vez que não há nenhuma fonte conhecida que informe explicitamente esses dados. Sendo assim, eles foram obtidos de duas formas distintas: a primeira fundamentada em citações do próprio Gray, e a segunda a partir da análise de alguns documentos. Faremos o confronto entre estas duas fontes, o que também ilustra parte da dificuldade que um pesquisador pode enfrentar ao construir uma biografia.

Em um primeiro momento, a data de nascimento de Gray foi estabelecida a partir de uma menção dele em uma carta<sup>9</sup> enviada para Hans Sloane,<sup>10</sup> na qual está escrito: “*agora estou nos meus 45 anos de idade*”. A partir deste comentário, da data em que a carta foi escrita – 31 de julho de 1711 – e supondo que não era seu aniversário, pode-se

<sup>9</sup>Esta carta, escrita em 31 de julho de 1711 em Canterbury, Inglaterra, pertence ao grupo de manuscritos de H. Sloane aos cuidados da Royal Society.

<sup>10</sup>Hans Sloane, nasceu em Killileagh ou White’s Castle, County Down, Irlanda, em 16 de abril de 1660. Faleceu em Chelsea, Londres, em 11 de janeiro de 1753. Foi médico e tinha como campo de pesquisa, além da medicina, a história natural. Estudou em Montpellier, Orange e Oxford. Recebeu o título de Doutor em Medicina em 1683. Foi para a Jamaica como médico pessoal do Duke of Albemarle, onde recolheu mais de 800 espécies botânicas, também foi médico no Christ’s Hospital (1694-1730). Fundou o Jardim Botânico de Chelsea em 1721 e foi o primeiro médico de George II. Foi benfeitor do Christ’s Hospital, da Biblioteca Bodleian e de muitas outras instituições. A coleção de Sloane formou o núcleo do Museu Britânico, com cerca de 200.000 exemplares. Sloane foi o primeiro cirurgião britânico a receber o título de Baronete. Foi membro do *Royal College of Physicians of London* em 1687 e seu presidente entre 1719 e 1735. Foi também membro da *Royal Society*, eleito em 21/01/1685 e secretário de 1693 a 1713. (FONTE: <http://www.royalsoc.ac.uk> (base de dados *Sackler Archive Resource*) - acesso em: 29 mar. 2009).

deduzir que ele nasceu entre 1º de agosto de 1666 e 30 de julho de 1667. (CHIPMAN, 1958, p. 416);(COHEN, 1954, p. 42).

Posteriormente, Clark e Murdin (1979) analisaram os arquivos da Igreja de Canterbury, que permitiram afirmar a data de batismo de Gray. Seu batizado consta no livro de registros paroquiais da Igreja de Todos os Santos (*All Saints Church*) em 26 de dezembro de 1666. Embora a data de nascimento seja desconhecida, para Clark e Murdin é possível presumir que Gray tenha nascido poucas semanas antes de seu batismo, pois a alta incidência de mortalidade infantil da época leva a crer que o batizado logo após o nascimento era uma prática comum. (CLARK; MURDIN, 1979, p. 355). Com este argumento pode-se dizer que Gray nasceu no final do ano de 1666.

A suposição de Clark e Murdin (1979) aparenta ser mais precisa do que a primeira, tendo em vista que Chipman (1958) e Cohen (1954) apontam um intervalo de quase um ano como período provável para o nascimento de Gray. No entanto, fundamentando-se somente na informação da data de batismo, nada assegura que Gray não tenha nascido um ou dois anos antes, e só então fora batizado. Sendo assim, podemos dizer que os dados se complementam. A primeira suposição traz a informação de que Gray não pode ter nascido antes de agosto de 1666, a segunda traz a informação de que ele não pode ter nascido após 26 de dezembro de 1666. A combinação das duas informações estabelece, com relativa certeza, o que atualmente se considera a “data” de nascimento de Gray, *i.e.*, a segunda metade de 1666.

Para Chipman (CHIPMAN, 1958, p. 416) o local de nascimento de Gray, muito provavelmente, foi Canterbury, na Inglaterra. Essa conclusão baseia-se no trecho de uma carta<sup>11</sup> escrita por Gray, em que ele apresentava o Dr. Lane para John Flamsteed.<sup>12</sup> Na

<sup>11</sup>Carta escrita de Canterbury em 10 de dezembro de 1708. Este documento encontra-se no grupo de manuscritos de Flamsteed.

<sup>12</sup>John Flamsteed, nasceu em Denby, Derbyshire, Inglaterra, em 19 de agosto de 1646, e faleceu em Greenwich, Inglaterra, em 31 de dezembro de 1719. Filho único de Stephen Flamsteed e Mary Spateman, perdeu sua mãe ainda criança. John estudava e se preparava para ingressar em uma universidade, porém teve seus planos interrompidos quando foi acometido por uma crise reumática, que fez com que seu pai o impedisse de ir para a universidade em 1662. Flamsteed foi para Irlanda em busca de cura, em 1670 foi para Londres onde se encontrou com Henry Oldenburg (FRS\*) e Jonas Moore (FRS), que se tornaram seus patronos. Foi ordenado em 1675 e foi o primeiro Astrônomo Real (1675-1719), sendo que utilizou seus próprios instrumentos. Considerado um perfeccionista, publicava suas observações apenas se estivessem perfeitas, o que o levou a conflitos com Newton e Halley [ver ref. (CLARK; CLARK, 2000)]\*\*. Também foi clérigo da Igreja da Inglaterra. Suas observações foram publicadas postumamente por sua esposa, Margaret, em seus padrões, em 1725. Em 1729, também foi publicada por sua esposa o seu “Atlas Coelestis”. Flamsteed foi membro da *Oxford Philosophical Society* e da *Royal Society*, eleito em 8/02/1677. (FONTE: <http://www.royalsociety.ac.uk> (base de dados *Sackler Archive Resource*) - acesso em: 29 mar. 2009).

\* *Fellow of Royal Society* - Membro da Sociedade Real.

\*\* O livro “*Newton’s tyranny: the suppressed scientific discoveries of Stephen Gray and John Flamsteed*”

carta Gray diz: “*Eu o conheço desde o nascimento e os pais dele muitos anos antes, sempre moraram em nossa cidade de Canterbury com muito boa reputação [...]*”. Para Clark e Murdin (1979) a cidade natal de Gray também é Canterbury, porém, essa afirmação é fundamentada no histórico da família Gray na cidade, onde foram encontrados vários documentos referentes a ela. Nos arquivos paroquiais da Catedral de Canterbury está registrado o casamento dos pais de Stephen, *Matthias Gray* e *Anne Tilman*, em 1658. Outros documentos informam que a família Gray morou em Canterbury por gerações, trabalhando como comerciantes. Seus bisavôs foram ferreiros, seu pai foi um tintureiro, profissão que ele acabou seguindo. (CLARK; MURDIN, 1979, p. 355).

As atividades de Stephen Gray e seu irmão mais velho, Matthias Gray, que foi prefeito de Canterbury, sugerem que eles receberam boa educação. Não se sabe onde ou como eles foram educados, porém, há duas escolas conhecidas que existiram na época em Canterbury: a *Poor Priests Hospital*, onde é mais provável que eles tenham frequentado, e a *King’s School*, fundada por Henry VIII. O fato de Gray dominar disciplinas como o latim e a matemática intriga os pesquisadores e traz muitas dúvidas quanto ao seu local de instrução, pois é evidente que ele tinha domínio das duas disciplinas, porém, a matemática era ensinada somente no *Priests Hospital* e o latim somente no *King’s School*. Ainda não foram encontradas evidências que indiquem definitivamente aonde ele estudou. (CLARK; MURDIN, 1979, p. 356 e 359).

Segundo Chipman (1958), em seus primeiros artigos publicados Gray demonstra certa familiaridade com a *Dioptrica Nova* de Molyneux (publicada em 1694), com as observações de *Animalcules* de Leeuwenhoek, com o *Meteors* de Descartes, e com vários artigos da *Philosophical Transactions of the Royal Society* sobre microscópios e tópicos relacionados (CHIPMAN, 1958, p. 418). Provavelmente, foi por meio de exemplares da *Philosophical Transactions* que Gray conheceu os estudos sobre eletricidade realizados por Hauksbee.<sup>13</sup> Do nascimento de Gray até o final do século XVII pouco se sabe a respeito de sua vida. De 1696 até a sua morte (1736) seus dados biográficos flutuam entre períodos razoavelmente conhecidos e períodos que muito pouco ou nada se sabe.

---

traz uma interessante discussão a respeito dos problemas que Gray e Flamsteed enfrentaram nas suas carreiras científicas devido à tirania de Newton (CLARK; CLARK, 2000).

<sup>13</sup>Francis Hauksbee, nasceu em 1660, em Colchester, Inglaterra, e faleceu em abril de 1713 em Londres, Inglaterra. Filho de Richard Hauksbee, negociador de tecidos de Colchester, casado com Mary. Trabalhou como negociador de tecidos e na fabricação de instrumentos científicos. Foi aprendiz de seu irmão mais velho, que também trabalhava como negociador de tecidos. Seu campo de pesquisa foi o que atualmente se denomina de *Física Experimental e instrumentação científica*. Na sua carreira profissional foi, possivelmente, assistente de Denis Papin (FRS-1703) e foi curador de experimentos da *Royal Society* (1703-1713). Hauksbee foi membro da *Associação dos Negociadores de Tecido* e membro da *Royal Society* eleito em 30/11/1705. (FONTE: <http://www.royalsociety.ac.uk> (base de dados *Sackler Archive Resource*) - acesso em: 29 mar. 2009).

### 3.1.3.2 Os Trabalhos de Gray e Seu Relacionamento com a Comunidade Científica

Stephen Gray continua sendo uma figura intrigante na história da física do início do século XVIII. Embora seja dado a ele o crédito pela verificação de que os efeitos elétricos podem ser transmitidos a longas distâncias por meio de fios adequados, a extensão, a qualidade e a versatilidade de seu trabalho científico são quase que inteiramente desconhecidas (CHIPMAN, 1958, p. 414). Gray realizou vários experimentos interessantes em eletricidade, demonstrando fenômenos importantes, *e.g.*, a *condução da eletricidade* e a *eletrização por indução*, também chegou à conclusão de que existem *materiais condutores* e *materiais não-condutores* de eletricidade (ELECTRICITY, 1798); (GRAY, 1731-2c).<sup>14</sup>

A primeira área de pesquisa em que Gray trabalhou foi a astronomia. Ele realizou observações de eclipses do Sol e da Lua, de eclipses dos satélites de Júpiter, e de manchas solares (CHIPMAN, 1958, p. 425). Em 4 de maio de 1700, Gray escreveu de Canterbury para a *Royal Society* sobre seu trabalho em astronomia.<sup>15</sup> Nesta carta ele descreve, entre outras coisas, que utilizava um relógio de pêndulo para cronometrar o progresso dos eclipses, e que calibrou este relógio pela passagem meridiana do Sol. A primeira breve menção das manchas solares foi feita em 24 de junho de 1703, de Canterbury, a John Flamsteed, em uma carta não publicada. Entre novembro e dezembro de 1703, Gray escreve para Sloane descrevendo com detalhes a drástica mudança na forma das manchas solares que ocorre em poucas horas, e a mudança da superfície do Sol que ocorre em poucos dias. Em 3 de abril de 1704 e 5 de fevereiro de 1704/<sup>5</sup>,<sup>16</sup> Gray escreveu de Canterbury

<sup>14</sup>Gray utilizava os termos *elétrico* e *não-elétrico* para designar o que, atualmente, são denominados materiais *isolantes* e *condutores*, respectivamente. Os termos *condutores* e *não-condutores* foram introduzidos, posteriormente a ele, por Jean Theophilus Desaguliers (1683-1744). Os termos *elétrico* e *não-elétrico* foram propostos por William Gilbert (1540-1603), sendo que, *elétricos* eram os materiais que apresentavam a mesma propriedade do âmbar (do grego *elektron*) de atrair pequenos objetos quando atritado, e *não-elétricos* eram os materiais que não apresentavam tal característica. Quando Gray chega à conclusão de que existem materiais que podem conduzir a virtude elétrica e que há materiais que não a conduzem, estes termos passam a ter, também, outro significado, passando a designar, ainda, os materiais condutores (não-elétricos) e os não-condutores (elétricos).

<sup>15</sup>O texto de Gray é algo que nos chama atenção. O ponto final é a única pontuação utilizada por ele. O editor da *Philosophical Transactions*, algumas vezes, pontuava seus textos para deixá-los mais claros. Segundo Clark e Murdin (1979), ainda não havia na época uma gramática estabelecida da língua inglesa e a escrita era mais uma questão de gosto pessoal. (CLARK; MURDIN, 1979, p. 359). Robert Chipman publicou em dois artigos (1954, 1958) a transcrição de alguns manuscritos de Gray, em que podemos verificar a forma original de sua escrita.

<sup>16</sup>A Inglaterra utilizou o calendário juliano até 1752, dessa forma até 1752 o *ano novo* inglês começava em 25 de março. Entretanto, grande parte da Europa já havia adotado o calendário gregoriano. Por isso, para citar datas até o dia 25 de março utilizava-se uma indicação de ano que contemplava os dois calendários, na qual colocavam-se dois números para expressar o último dígito, *e.g.*, 170<sup>7</sup>/<sub>8</sub>. O primeiro número indicava o ano no calendário juliano e, o segundo indicava o ano no calendário gregoriano. Após 25 de março utilizava-se somente o ano comum a ambos os calendários (SILVA; MARTINS, 1996, p. 315).

para a *Royal Society* sobre seus cálculos do tempo de rotação do Sol sobre seu próprio eixo e da inclinação do eixo da eclíptica, feitos por meio das observações das manchas solares. (CHIPMAN, 1958, p. 426). Nenhuma dessas cartas foi publicada. As observações astronômicas sobre as manchas solares realizadas entre 1703 e 1705 têm, atualmente, considerável interesse científico (CLARK; MURDIN, 1979, p. 376).

Suas primeiras cartas para a *Royal Society*, no período que antecede a presidência de Isaac Newton (1643-1727)<sup>17</sup>, mostram seu crescente interesse científico, bem como sua vontade de deixar a profissão de tintureiro e estabelecer contato com o centro de atividade científica (CLARK; MURDIN, 1979, p. 360). De 1699 a 1715 Gray se correspondeu com o Rev. John Flamsteed, primeiro Astrônomo Real, diretor do *Observatório Real de Greenwich* e desafeto de Newton.<sup>18</sup> O primeiro contato entre Gray e Flamsteed, ou ainda, como ele se interessou pela astronomia, é um mistério. Ele foi um grande admirador de Flamsteed, sua admiração é declarada e reiterada em várias cartas. Outra pessoa importante em sua vida foi John Godfrey.<sup>19</sup> Eles se conheceram por intermédio de Flamsteed, provavelmente em 1714 (CLARK; MURDIN, 1979, p. 369-71).<sup>20</sup> Esta hipótese também está fundamentada em uma carta enviada a Godfrey por Gray, de Canterbury, em 26 de dezembro de 1714 (CHIPMAN, 1958, p. 417). Godfrey foi uma figura importante na vida de Gray no período mais produtivo da sua pesquisa em eletricidade, *i.e.*, de 1729 a 1736. Gray esteve hospedado algumas vezes na residência de Godfrey, em Norton-Court, Inglaterra, e foi auxiliado por ele em inúmeros experimentos, fato que fica evidente na referência (GRAY, 1731-2c).

Vários documentos (*e.g.*, cartas manuscritas e artigos publicados) evidenciam que, entre 1696 e 1716 Gray residiu em Canterbury (CHIPMAN, 1958, p. 416). Contudo, no período entre 26 de janeiro de 170<sup>6</sup>/<sub>7</sub> e 8 de setembro de 1708, datas de duas cartas manuscritas não publicadas enviadas de Canterbury, não há muitos indícios de sua residência. Há apenas uma carta, também não publicada na época, escrita do Trinity College, em Cambridge, datada de 3 de janeiro de 170<sup>7</sup>/<sub>8</sub>. Esta carta foi publicada em 1954 por

<sup>17</sup>Newton presidiu a *Royal Society* no período de 1703 a 1727.

<sup>18</sup>Os motivos pelos quais as correspondências entre Gray e Flamsteed cessaram ainda são desconhecidos, porém há duas suposições. A primeira está relacionada ao fato de Gray ter morado com Desaguliers, amigo de Newton, em Londres, a partir de 1716. Com isso, ele se aproxima dos colaboradores de Newton e se afasta de Flamsteed. Algo pouco provável quando se analisa o caráter e o comportamento de Gray. Essa atitude contraria o que se conhece da honestidade e franqueza da sua natureza. A segunda hipótese também versa sobre a ida de Gray para Londres em 1716, o que os deixou bem próximos, de forma que deixaram de trocar cartas para se comunicarem pessoalmente. (CLARK; MURDIN, 1979, p. 375).

<sup>19</sup>John Godfrey, membro da *Royal Society*, eleito em 10/11/1715. (FONTE: <http://www.royalsociety.ac.uk> (base de dados *Sackler Archive Resource*) - acesso em: 29 mar. 2009).

<sup>20</sup>Em um manuscrito de 4 de janeiro de 1715/6, Gray afirma que Godfrey é primo de Flamsteed, daí a suposição de que Gray conheceu Godfrey por intermédio de Flamsteed (CLARK; MURDIN, 1979, p. 371).

Robert Chipman (1954).<sup>21</sup> Cohen (1954) levanta a possibilidade de Gray ter permanecido parte daquele período em Cambridge (COHEN, 1954, p. 47).

Sloane foi uma das figuras mais importantes na carreira científica de Stephen Gray. Enquanto ele foi secretário ou vice-presidente da *Royal Society* 12 cartas de Gray foram publicadas, e enquanto Sloane esteve na presidência todas as 10 cartas enviadas por Gray à *Society* foram publicadas (CLARK; MURDIN, 1979, p. 360). Entretanto, Sloane não publicou nenhuma das cinco cartas que Gray enviou depois de 1703, ano em que Newton tornou-se presidente da *Royal Society*. Embora existam outras explicações para alguns casos, o confronto de Flamsteed com Newton e seus seguidores pode ter ocasionado alguma desvantagem no relacionamento de Gray com a *Royal Society*, afinal, Flamsteed era seu amigo e o defendeu diante da comunidade científica em algumas ocasiões<sup>22</sup> (CLARK; MURDIN, 1979, p. 374).

Um exemplo da dificuldade de publicação enfrentada por Gray está relacionado ao seu estudo das manchas solares. Nos trinta primeiros volumes da *Philosophical Transactions* apenas nove trabalhos sobre o tema foram publicados, incluindo o trabalho de Gray de 1703. No período de 1703 a 1705 ele enviou várias cartas para a *Royal Society* discutindo o tema, mas nenhuma foi publicada. Suas observações eram precisas e seriam uma contribuição importante no estudo das manchas solares, tendo em vista que naquele período (1703 a 1705) o Sol estava em grande atividade<sup>23</sup> (CLARK; MURDIN, 1979, p. 378).

Gray participou de alguns estudos não muito convencionais. Em 1705, Flamsteed

<sup>21</sup> Gray enviou esta carta para Hans Sloane, secretário da *Royal Society*. Não é difícil concluir porque Sloane não a publicou. Hauksbee havia, naquele momento, encantado a *Royal Society* com suas demonstrações em eletricidade. É bem provável que Sloane tenha solicitado uma avaliação prévia de Hauksbee. Naquele período ele era curador/demonstrador da *Royal Society*. Hauksbee foi capaz de suprimir a publicação da carta de Gray. Pouco tempo depois, ele sentiu-se à vontade para publicar muitas das descobertas de Gray como sendo dele como, por exemplo, o pairar de uma pluma sobre um bastão de vidro eletrizado. O mais estranho foi Hauksbee publicar\* sobre o “effúvio luminoso da cera e do enxofre” apenas poucos meses após a *Royal Society* ter recebido a carta de Gray anunciando suas descobertas. Em 1711, Hauksbee publicou uma carta na *Philosophical Transactions*\*\* dizendo: “Pode ser lembrado, o sucesso que tive em produzir Luz por meio de Corpos, tal como Lacre, Resina, e Enxofre Comum [...]”, ignorando completamente o fato das descobertas não serem dele (CLARK; MURDIN, 1979, p. 394).

\* *Philosophical Transactions*, v. 25, n. 315, p. 87, 1708.

\*\* *Philosophical Transactions*, v. 27, n. 331, p. 328, 1711.

<sup>22</sup>Há uma hostilidade bem documentada entre Flamsteed e Newton. A hostilidade era tanta que causou o desprezo de Newton pelos amigos e associados de Flamsteed. Durante a permanência de Newton na presidência da *Royal Society* (1703 a 1727) Gray, conhecido por apoiar Flamsteed, quase não teve publicações. Outros fatores poderiam ter contribuído para isso. Gray era um comerciante, com pouco tempo e dinheiro para investigação científica. Sua personalidade também contribuiu para isso, suas cartas demonstram um homem modesto, humilde e reservado. Este conjunto de fatores também pode explicar porque Gray teve seu trabalho ignorado por seus contemporâneos e é pouco conhecido pelas gerações mais recentes. (CLARK; MURDIN, 1979, p. 353).

<sup>23</sup>Para detalhes sobre as atividades solares consultar a referência (EDDY, 1976).

deu a ele a tarefa de investigar a história do surgimento de um fantasma. Na ocasião, Canterbury foi agitada com a aparição de um suposto fantasma de uma mulher para uma das moradoras da cidade. O episódio mostrou uma considerável habilidade de Gray como observador e investigador. Além deste caso, os arquivos do *Observatório Real de Greenwich* guardam documentos sobre várias observações realizadas por Gray e enviadas por Flamsteed à *Royal Society*. (CLARK; MURDIN, 1979, p. 373-4).

Devido à sua condição financeira, Gray não comprava livros e periódicos, dependia da generosidade de pessoas como Hunt<sup>24</sup> e Sloane. Suspeita-se que Hunt começou a enviar exemplares da *Philosophical Transactions* para Gray em 1692. Muitos dos trabalhos de Gray foram inspirados no que ele lia nas revistas que recebia. As cartas enviadas para a *Society* até 1703 mostram uma grande variedade de assuntos. As primeiras cartas já mostram seu interesse pelo “*método científico*” e indicam seu talento para utilizar seus limitados aparatos experimentais. (CLARK; MURDIN, 1979, p. 366-7).

Entre 1715 e 1719 Gray teve autorização para participar de várias reuniões da *Royal Society*. Muitas informações levam a acreditar que durante grande parte desse período, talvez todo, Gray ficou longe de Canterbury. Assíduo visitante de John Godfrey, em Norton Court, provavelmente residiu com Jean Desaguliers<sup>25</sup> em Westminster. (CLARK; MURDIN, 1979, p. 389).<sup>26</sup>

Há uma divergência entre os historiadores quanto às atividades de Gray entre 1716 e 1730. O período que nos parece menos documentado sobre sua vida é entre 1720 e início de 1729. No período “entre 1716 e 1729 somente duas datas da vida de Gray estão bem estabelecidas. A primeira delas é a importante data de admissão para a *Charterhouse*<sup>27</sup>,

<sup>24</sup>Henry Hunt foi um importante amigo de Gray. A primeira carta de Gray para ele mostra que já se conheciam. Funcionário da *Royal Society*, Hunt provavelmente providenciou o primeiro contato de Gray com a instituição. Em Janeiro de 1672/3, começou a trabalhar na *Royal Society* como assistente de Robert Hooke. Desde então, ele conviveu com a *Royal Society*. Em 1696 foi promovido, tornando-se responsável pela biblioteca da *Royal Society*. (CLARK; MURDIN, 1979, p. 356).

<sup>25</sup>“Jean Theophilus Desaguliers foi um dos mestres de demonstração científica no início do século XVIII na Inglaterra e amigo de Newton” (COHEN, 1954, p. 45). Desaguliers (1683-1744), nasceu em La Rochelle, França, indo com seus pais, ainda pequeno, para a Inglaterra. Foi clérigo da Igreja da Inglaterra. Sua área de pesquisa era a Filosofia Natural e Experimental. Foi membro da *Royal Society*, eleito em 29/07/1714. Foi demonstrador e curador desta Sociedade (1714). Introduziu na “*ciência elétrica*” os termos *condutor* e *não-condutor*, tendo em vista que no início do século XVIII estes materiais eram chamados, respectivamente, de *não-elétricos* e *elétricos*. Recebeu três vezes a Medalha Copley: 1734, 1736 e 1741. (FONTE: <http://www.royalsociety.ac.uk> (base de dados *Sackler Archive Resource*) - acesso em: 29 mar. 2009).

<sup>26</sup>Chipman (1958) e Cohen (1954) também apontam a possibilidade de Gray ter morado com Jean Desaguliers em Londres, por algum período entre 1716 e 1719. Esta hipótese é baseada em publicações de William Stukeley (CHIPMAN, 1958, p. 418);(COHEN, 1954, p. 45-6).

<sup>27</sup>A *Charterhouse* foi uma casa de caridade fundada no início do Século XVII para “capitães do mar aposentados” e semelhantes, em Londres, Inglaterra. Também conhecida como um Hospital para Irmãos pobres foi fundada por Thomas Sutton. Aos aristocratas patrocinadores da instituição de caridade era dado o direito de indicar candidatos que eram colocados em uma lista de espera e admitidos quando

que Courtney (1906) descobriu ter sido em 24 de junho de 1719. A outra é a data da única publicação neste longo intervalo” de tempo, que está na *Philosophical Transactions* (v. 31, n. 366 (1720-1721), p. 104-107). (CHIPMAN, 1958, p. 417). A referência (GRAY, 1731-2c) apresenta várias informações sobre os estudos de Gray em 1729 e sobre seu paradeiro neste período.

O último amigo importante na vida de Stephen Gray foi Granville Wheler.<sup>28</sup> A amizade entre eles começou por volta de 1729. (CHIPMAN, 1958, p. 418). Wheler também foi uma figura importante para ele no período de 1729 a 1736, tal como Godfrey. No dia 2 de julho de 1729, Gray e Wheler obtiveram êxito no experimento para “*transmissão*” horizontal da eletricidade.<sup>29</sup> Eles também propuseram a existência de materiais condutores (não-elétricos) e não-condutores (elétricos) (GRAY, 1731-2c).

De 1729 até a sua morte, em 1736, Gray residiu na *Charterhouse*. Porém, em vários momentos desse período ele esteve no interior do país, em Norton Court, na residência de John Godfrey, ou em Otterden Place, na residência de Granville Wheler, realizando experimentos em eletricidade. Esse período foi o mais produtivo na sua pesquisa sobre eletricidade. Ele foi eleito membro da *Royal Society* em 1733 e recebeu em 1731 e 1732 um importante prêmio da *Royal Society*: a Medalha Copley<sup>30</sup> (CHIPMAN, 1958, p. 422). Stephen Gray faleceu, provavelmente, em 15 de fevereiro de 1736, em Londres, na Inglaterra.<sup>31</sup>

---

ocorria uma vaga. Embora a *Charterhouse* habilitasse um homem a viver sem medo de passar fome, ela certamente não proporcionava uma vida luxuosa. Há indícios do baixo nível de conforto proporcionado pela instituição, mas provavelmente um padrão razoável quando comparado a um asilo de pobres. Havia alguns pré-requisitos para o ingresso na instituição, como: não ser casado, ser membro da Igreja da Inglaterra, enquadrar-se em um padrão de bom comportamento, entre outros. Em 1711, Gray recorreu a Hans Sloane, um dos patrocinadores da instituição, para tentar sua admissão, porém só conseguiu seu ingresso em 1719, por uma indicação do Príncipe de Gales. Gray sentiu que poderia já não mais suportar seu ofício de tintureiro e precisava de tempo para se dedicar à pesquisa. Sua carta para Sloane mostra seu esforço para prosseguir com seus experimentos, apesar da sua saúde debilitada e da falta de recursos financeiros. (CLARK; MURDIN, 1979, p. 390-2);(STEVENS; FLOY, 1853).

<sup>28</sup>Granville Wheler, nasceu em Londres, Inglaterra, em agosto de 1701, e faleceu em 12 de maio de 1770. Era clérigo da Igreja da Inglaterra e fez pesquisas no campo da eletricidade. Estudou na Faculdade De Christ, Cambridge; Bacharel em Artes (1721); incorporado em Oxford (1734). Membro da Christ (1722); ordenado Diácono e Sacerdote (1737). Reitor de Leake, Nottinghamshire (1737-1770) e Prebendeiro de Southwell (1753-1770). Foi eleito membro da *Royal Society* em 27/06/1728. (FONTE: <http://www.royalsociety.ac.uk> (base de dados *Sackler Archive Resource*) - acesso em: 29 mar. 2009).

<sup>29</sup>Gray anteriormente não havia conseguido obter sucesso ao tentar transmitir a *virtude elétrica* com a linha de transmissão na posição horizontal. O sucesso do experimento se deve a uma sugestão de Wheler, que optou por trocar os suportes da linha de transmissão, que eram de barbante (*packthread* no original, que pode significar uma corda usada para enfardar ou para costurar sacos, ou um barbante de cânhamo (ASSIS, 2010, p. 246); (CANBY, 1966, p. 18), ou ainda, “corda robusta utilizada para embalar pacotes” (HEILBRON, 1979, p. 246)), portanto condutores, por linhas de seda, que é um material isolante para as diferenças de potenciais elétricos envolvidos naqueles experimentos. (GRAY, 1731-2c, p. 25-7).

<sup>30</sup>A Medalha Copley é a mais alta honraria dada pela *Royal Society*. Ela foi instituída em 1709.

<sup>31</sup>As informações sobre a data de falecimento de Gray também são divergentes. Na base de dados de



### 3.1.4 Considerações sobre a Carreira de Stephen Gray

Os manuscritos não publicados revelam a extensão e a qualidade do trabalho de Gray sobre astronomia durante o período de 1696 a 1716, dando-nos sua dimensão enquanto filósofo natural (CHIPMAN, 1958, p. 428). Tais características são verificadas também nos seus trabalhos publicados sobre eletricidade entre 1731 e 1736. Nestes artigos, nota-se sua perspicácia, engenhosidade e sutileza. Segundo Robert Chipman (1958), a leitura dos trabalhos de Gray e de seus contemporâneos como, por exemplo, Francis Hauksbee e Jean Desaguliers, enfatizam a sua grande e superior clareza, capacidade de pensamento e escrita. “Seu trabalho é admiravelmente livre de obscuridade literária, de beligerância pessoal, especulação inútil ou exploração de diversão. Os problemas para os quais ele procurou soluções, se não são de grande importância, são sempre verdadeiros, e nunca triviais ou insensatos. Suas sugestões, experimentos e conclusões foram quase sempre altamente relevantes”. (CHIPMAN, 1958, p. 428).

Não há evidências de que Gray tenha submetido outro artigo à *Philosophical Transactions* entre 1708 e 1720, além daquele publicado em 1720 (v. 31, n. 366 (1720-1721), p. 104-107). Esse período foi seguido por outra grande lacuna até 1731. Gray pode ter sido desencorajado pela falta de entusiasmo dentro da *Royal Society* para alguns de seus artigos, especialmente alguns sobre eletricidade. (CLARK; MURDIN, 1979, p. 402).

Se não bastasse a falta de reconhecimento, Gray teve que conviver com os plágios. Como já abordamos, suas primeiras descobertas sobre eletricidade foram publicadas por Hauksbee em 1708 (ver *Nota 21*). Anos depois, em maio de 1715, Flamsteed interveio quando outro pesquisador, Dr. Harrys, tentou tomar os créditos de algumas observações astronômicas feitas por Gray (CLARK; MURDIN, 1979, p. 372-3).

Um dos mistérios que ainda permanece é a sua repentina aparição no *Trinity College*, em Cambridge. Os arquivos do *Trinity College* não dão informações sobre a real data de sua chegada, ou de como ele foi para lá. Há uma carta de Gray escrita em janeiro

---

informações biográficas da *Royal Society* (*Sackler Archive Resource*) encontramos a data 15 ou 25 de fevereiro de 1736. No *Catálogo da Comunidade Científica* dos séculos XVI e XVII elaborado por Richard Westfall (ver *Nota 4*) encontramos a data 7 de fevereiro de 1736. No artigo de Clark e Murdin (CLARK; MURDIN, 1979, p. 398) consta a data 17 de fevereiro de 1735/6. O último artigo de Gray publicado na *Philosophical Transactions* (v. 39, n. 444 (1735 - 1736), p. 400-403) tem o seguinte título: “**An Account of Some Electrical Experiments Intended to be Communicated to the Royal Society by Mr. Stephen Gray, F.R.S. Taken from His Mouth by Cromwell Mortimer, M.D. R.S. Secr. on Feb. 14, 1735-6. Being the Day before He Died.**” A parte em negrito do título mostra que o texto foi escrito em 14 de fevereiro de 1735/6, e apenas um dia antes da morte de Gray. Com esta informação a data de falecimento de Gray é 15 de fevereiro de 1736. (A base de dados *Sackler Archive Resource* e o *Catálogo da Comunidade Científica* de R. Westfall foram acessados em: 18 ago. 2009).

de 1707/8 em que ele diz: “*dos meus aposentos no Trinity College*”; e outra escrita de Canterbury, em setembro de 1708, referindo-se às razões da sua saída de Cambridge. (CLARK; MURDIN, 1979, p. 382).

Sloane foi uma figura bastante importante para Gray como pesquisador, mas fica bastante evidente a limitação de suas ações no período em que Newton ocupou a presidência da *Royal Society* (1703-1727). Só resta imaginarmos o quanto a ciência da eletricidade teria se desenvolvido se Gray tivesse tido o apoio da *Royal Society* e de seus contemporâneos. Em vez disso, ele foi abandonado pela comunidade científica e deixado em investigações solitárias na *Charterhouse*. Somente depois da morte de Newton e o início da presidência de Sloane é que Gray se reaproximou da *Royal Society*. Então, ele marcou seu tempo com suas contribuições sobre a transmissão da eletricidade, recuperando seu crédito com descobertas demonstradas para a *Royal Society* por Desaguliers<sup>32</sup> (CLARK; MURDIN, 1979, p. 395).

Um ponto que chama a atenção é que nos parece que o objetivo de Gray era fazer experimentos e verificar o comportamento elétrico dos corpos. Não se preocupou muito em propor explicações para os fenômenos encontrados e descritos por ele. Nos seus textos encontramos apenas uma tentativa de explicação sobre o fenômeno da atração e repulsão dos corpos leves, a qual refere-se à emissão e reflexão de *eflúvios* pelos corpos. Contudo, ele próprio questiona a ideia e diz que deixará a explicação “*à consideração dos doutos*” (ver a página 98 (*12º Experimento*) desta tese) (CHIPMAN, 1954, p. 36). Uma possível explicação para esse comportamento de Gray é que ele estava imerso em alguma tradição ou corrente filosófica que estivesse mais ligada à mera descrição dos fenômenos. Contudo, ele não deixa isto explícito, mas parece conduzir seu trabalho de acordo com alguns preceitos oriundos desta tradição.

Os manuscritos foram de fundamental importância para a elaboração da biografia de Gray, contribuindo com inúmeras informações, resultando em explicações e relatos satisfatoriamente contínuos nos períodos de 1696 a 1716 e de 1729 a 1736 (CHIPMAN, 1958, p. 429). O mesmo ainda não foi possível fazer sobre o início de sua vida e o período entre 1716 e 1729, devido à falta de documentos.

<sup>32</sup>Tal como descrito por Gray: “No ano de 1729, comuniquei ao Dr. *Desaguliers*, e alguns outros Senhores, uma descoberta que havia feito recentemente, mostrando que a virtude elétrica de um tubo de vidro pode ser transmitida para outros corpos, dando a eles a mesma propriedade de atração e repulsão de corpos leves, tal como o tubo faz quando excitado por atrito. Esta virtude pode ser levada para corpos que estão a muitos pés de distância do tubo. Em *maio*, o próprio Dr. *Desaguliers* fez um relato para a *Royal Society* dos experimentos que ele havia visto [...]” (GRAY, 1731-2c, p. 18-9).

### 3.1.5 Comentários Finais

Buscamos apresentar uma breve biografia de Stephen Gray, bem como apontar algumas dificuldades e alguns caminhos para uma pesquisa em História da Ciência, tal como a localização de fontes. Na pesquisa biográfica sobre Gray os documentos estavam espalhados por várias instituições, além disso, informações importantes foram encontradas em acervos pessoais, como o do Reverendo William Stukeley. O que evidencia certa dificuldade em se realizar pesquisas em História da Ciência.

Para alguém que queira fazer um trabalho em História da Ciência com fontes primárias, é relevante ressaltar que é possível, tendo em vista o acesso a algumas bases de dados e catálogos bibliográficos, como os já mencionados. Porém, apenas algumas universidades brasileiras assinam essas bases, o que dificulta o trabalho. O serviço de comutação bibliográfica das bibliotecas é uma ferramenta que auxilia bastante as pesquisas. É importante destacar que a *Biblioteca Nacional da França* (<http://gallica.bnf.fr>) é de acesso livre e possui vários periódicos disponíveis. Outra dificuldade é com relação ao idioma, pois o material em português é praticamente inexistente, sendo bastante comum em inglês, francês e alemão. Para a pesquisa em fontes primárias mais antigas (*e.g.*, Século XVIII), como fizemos com os artigos de Gray sobre eletricidade e os “biógrafos” citados fizemos com suas fontes, surge um novo obstáculo: a escrita, pois geralmente encontra-se em uma versão arcaica do idioma, o que dificulta um pouco o trabalho.

Por fim, ressaltamos a importância das pesquisas de Stephen Gray sobre o tema eletricidade, cuja discussão sobre o assunto será apresentada nos próximos Capítulos desta tese. A variedade de experimentos e a riqueza de detalhes do seu trabalho é algo louvável. Chama-nos a atenção a pequena divulgação que o trabalho de Gray tem dentro da Física. Frente a isso, buscamos destacar nesta seção, por meio de uma breve biografia, alguns pontos relevantes da vida deste importante “*eletricista*” do Século XVIII.

### 3.1.6 Lista de Publicações de Stephen Gray

#### I) 1696 a 1706

1. Several Microscopical Observations and Experiments, made by Mr. Stephen Gray. *Philosophical Transactions (1683-1775)*, v. 19, n. 221 (1695-1697), p. 280-287.
2. A Letter from Mr. Stephen Gray, Giving a Further Account of His Water Microscope. *Philosophical Transactions (1683-1775)*, v. 19, n. 223 (1695-1697), p.

353-356.

3. A Letter from Mr. Stephen Gray, from Canterbury, May the 12th 1697, concerning Making Water Subservient to the Viewing Both Near and Distant Objects, with the Description of a Natural Reflecting Microscope. *Philosophical Transactions (1683-1775)*, v. 19, n. 228 (1695-1697), p. 539-542.
4. A Letter from Mr. Stephen Gray, Dated Canterbury, Dec. 8. 1697. Relating Some Experiments about Making Concave Specula Nearly of a Parabolic Figure. *Philosophical Transactions (1683-1775)*, v. 19, n. 235 (1695-1697), p. 787-790.
5. Part of a Letter from Mr. Stephen Gray, about a Way of Measuring the Height of the Mercury in the Barometer More Exactly. *Philosophical Transactions (1683-1775)*, v. 20, n. 240 (1698), p. 176-178.
6. An Observation of Some Parelii Seen at Canterbury. By Mr. Stephen Gray. *Philosophical Transactions (1683-1775)*, v. 21, n. 251 (1699), p. 126-127.
7. Part of a Letter from Mr. Gray, concerning an Unusual Perihelion and Halo Mr. Gray. *Philosophical Transactions (1683-1775)*, v. 22, n. 262 (1700-1701), p. 535.
8. Part of a Letter from Mr. Stephen Gray to the Publisher, containing His Observations on the Fossils of Reculver Clisfe, and a New Way of Drawing the Meridian Line, With a Note on This Letter by the Publisher. *Philosophical Transactions (1683-1775)*, v. 22, n. 268 (1700-1701), p. 762-764.
9. A Letter from Mr. Stephen Gray, concerning Drawing the Meridian Line by the Pole Star, and Finding the Hour by the Same. *Philosophical Transactions (1683-1775)*, v. 22, n. 270 (1700-1701), p. 815-819.
10. Part of Two Letters from Mr. Stephen Gray, concerning the Spots of the Sun, observed by Him in June Last. *Philosophical Transactions (1683-1775)*, v. 23, n. 288 (1702-1703), p. 1502-1504.

## II) 1706 a 1731

1. Observations of the Solar Eclipse, May 1/12 1706 At the Royal Observatory at Greenwich, etc. Communicated by the Reverend Mr. John Flamsted, Math. Reg.

& F.R.S. John Flamsteed. *Philosophical Transactions (1683-1775)*, v. 25, n. 306 (1706-1707), p. 2237-2241. (As observações de Gray estão nas páginas 2238-2239).<sup>33</sup>

2. Observationes Stellae fixae in Geminis a Corpore Jovis Occultatae, Januarii 11 mo. St. vet. 1717. & Transitus Arctissimi Martis Infra Borealem in Fronte Scorpii Febr. 5. Mane Jovis. *Philosophical Transactions (1683-1775)*, v. 30, n. 351 (1717-1719), p. 546-548.<sup>34</sup>
3. Nuperae Observationes Astronomicae cum Regia Societate Communicatae. *Philosophical Transactions (1683-1775)*, v. 30, n. 363 (1717-1719), p. 1109-1114.
4. An Account of Some New Electrical Experiments. By Mr. Stephen Gray. *Philosophical Transactions (1683-1775)*, v. 31, n. 366 (1720-1721), p. 104-107. [(GRAY, 1720-1, p. 104-107) – Capítulo 5, Tradução 2 à página 126 desta tese].

### III) 1731 a 1736

1. A Letter to Cromwell Mortimer, M.D. Secr. R.S. Containing Several Experiments concerning Electricity; By Mr. Stephen Gray. *Philosophical Transactions (1683-1775)*, v. 37, n. 417 (1731-1732), p. 18-44. [(GRAY, 1731-2c, p. 18-44) – Capítulo 6, Tradução 3 à página 141 desta tese].
2. A Letter concerning the Electricity of Water, from Mr. Stephen Gray to Cromwell Mortimer, M.D. Secr. R.S. *Philosophical Transactions (1683-1775)*, v. 37, n. 422 (1731-1732), p. 227-260. [(GRAY, 1731-2a, p. 227-230 e 260) – Capítulo 7, Tradução 4 à página 211 desta tese].
3. A Letter from Mr. Stephen Gray to Dr. Mortimer, Secr. R.S. Containing a Farther Account of His Experiments concerning Electricity. *Philosophical Transactions (1683-1775)*, v. 37, n. 423 (1731-1732), p. 285-291. [(GRAY, 1731-2b, p. 285-291) – Capítulo 8, Tradução 5 à página 226 desta tese].
4. Two Letters from Mr. Stephen Gray, F.R.S. to C. Mortimer, M.D. Secr. R.S. Containing Farther Accounts of His Experiments concerning Electricity. *Philosophical*

<sup>33</sup>Este artigo foi enviado à *Philosophical Transactions* por J. Flamsteed e contém dados coletados por Gray. Esses dados constam em uma carta manuscrita de Gray enviada para Flamsteed (CLARK; MURDIN, 1979, p. 369-70). Flamsteed menciona o nome de Gray no artigo.

<sup>34</sup>Os artigos 2 e 3 da “Seção II - 1706 a 1731” foram enviados à *Philosophical Transactions* por J. T. Desaguliers e contém dados coletados por Gray. “Desaguliers freqüentemente apresentava resultados de observações astronômicas feitas por Gray e por ele em Westminster”, parte dos dados de duas dessas observações foi publicada nesses dois artigos (CLARK; MURDIN, 1979, p. 389). Em ambos os textos o nome de Gray é mencionado: no artigo 2 à p. 546 e no artigo 3 à p. 1111.

- Transactions (1683-1775)*, v. 37. n. 426 (1731 - 1732), p. 397-407. [(GRAY, 1731-2d, p. 397-407) – Capítulo 9, Tradução 6 à página 249 desta tese].
5. A Letter from Mr. Stephen Gray, F.R.S. to the Publisher, Containing an Account of the Same Eclipse of the Sun, as Observed by Himself at Norton-Court: And at Otterden-Place, by Granville Wheler Esq.; F.R.S. Both in Kent Granville Wheler. *Philosophical Transactions (1683-1775)*, v. 38, n. 429 (1733-1734), p. 114-116.
  6. Experiments and Observations upon the Light That is Produced by Communicating Electrical Attraction to Animal or Inanimate Bodies, Together with Some of Its Most Surprising Effects; Communicated in a Letter from Mr. Stephen Gray, F.R.S. to Cromwell Mortimer, M.D. R.S. Secr. *Philosophical Transactions (1683-1775)*, v. 39, n. 436 (1735-1736), p. 16-24. [(GRAY, 1735-6b, p. 16-24) – Capítulo 10, Tradução 7 à página 284 desta tese].
  7. A Letter from Stephen Gray, F.R.S. to Dr. Mortimer, Secr. R.S. Containing Some Experiments Relating to Electricity. *Philosophical Transactions (1683-1775)*, v. 39, n. 439 (1735-1736), p. 166-170. [(GRAY, 1735-6c, p. 166-170) – Capítulo 11, Tradução 8 à página 308 desta tese].
  8. Mr. Stephen Gray, F.R.S. His Last Letter to Granville Wheler, Esq.; F.R.S. concerning the Revolutions Which Small Pendulous Bodies Will, by Electricity, Make Round Larger Ones from West to East as the Planets do Round the Sun. *Philosophical Transactions (1683-1775)*, v. 39, n. 441 (1735-1736), p. 220. [(GRAY, 1735-6d, p. 220) – Capítulo 12, Tradução 9 à página 320 desta tese].
  9. An Account of Some Electrical Experiments Intended to be Communicated to the Royal Society by Mr. Stephen Gray, F.R.S. Taken from His Mouth by Cromwell Mortimer, M.D. R.S. Secr. on Feb. 14, 1735-6. Being the Day before He Died. *Philosophical Transactions (1683-1775)*, v. 39, n. 444 (1735 - 1736), p. 400-403. [(GRAY, 1735-6a, p. 400-403) – Capítulo 13, Tradução 10 à página 322 desta tese].

## 3.2 Linha do Tempo

Nesta seção apresentamos alguns fatos, personagens e publicações contemporâneos à Stephen Gray (1666-1736). Inicialmente, apresentamos algumas informações referentes à *Royal Society*, depois apresentamos alguns dados do contexto geral e, por último, alguns pontos importantes da vida de Gray.

### 3.2.1 Relação de Gray com a *Royal Society*

Na figura 16 apresentamos alguns dados importantes sobre a *Royal Society* no período em que Gray viveu.

1690	1700	1710	1720	1730	1740
Gresham College		Crane Court, Fleet Street			Localização de Royal Society
R. Waller			B. Taylor	J. Machin	
T. Gale		H. Sloane		E. Halley	* C. Mortimer
H. Hunt		Desaguliers			Curadores, Demonstradores, Assistentes
	F. Hauksbee				
R. Southwell	C. Montague	J. Somers	Sir Isaac Newton		Sir Hans Sloane
		Presente nas Reuniões – Demonstrou Experimentos			Eleito Membro – Premiado Medalha Copley
Canterbury		Cambridge	Londres?		Otterden Place
				Charterhouse	Falecimento de Gray
					Presidente da Royal Society
					Relação de Gray com Royal Society
					Principais locais de trabalho de Gray

**Fonte:** CLARK, D. H.; MURDIN, L. The enigma of Stephen Gray astronomer and scientist (1666-1736). *Vistas in Astronomy*, v. 23, p. 351–404, 1979. À página 354.

\* - W. Rutty

Figura 16: Relação de Gray com a Royal Society. Extraída de Clark e Murdin (1979, p. 354).

### 3.2.2 Fatos e Publicações Importantes Contemporâneos à Gray

Na tabela 2 apresentamos alguns fatos e publicações importantes contemporâneos à Gray.<sup>35</sup>

Tabela 2: Fatos e publicações importantes contemporâneos à Gray.

ANO	ACONTECIMENTO
1646	Nasce John Flamsteed (1646-1719).
1656	Christiaan Huygens desenvolve o relógio de pêndulo.
1660	Restauração da monarquia Inglesa.
	Fundação da <i>Royal Society</i> da Inglaterra (o primeiro curador de experimentos foi Robert Hooke (1635-1703)).
	Nasce Francis Hauksbee (1660-1713).
	Robert Boyle (1627-1691) publica o livro <i>“New experiments physico-mechanical touching the spring of the air”</i> .
1661	Charles II foi coroado rei da Inglaterra.
	Luis XIV (1643-1715) começa a governar a França.
	Robert Boyle publica o <i>“Sceptical Chymist”</i> .
1665	Primeira edição da <i>Philosophical Transactions</i> publicada por Henry Oldenburg, secretário da <i>Royal Society</i> .
	Robert Hooke (1635-1703) publica o <i>“Micrographia”</i> .
1666	Nasce Stephen Gray (1666-1736).
	Robert Boyle publica o <i>“The Origin of forms and Qualities”</i> .
	Fundação da <i>Académie Royale des Sciences</i> da França.
1672	Isaac Newton (1643-1727) publica na <i>Philosophical Transactions</i> um trabalho discutindo sua concepção de luz branca e das cores.
1673	A primeira das cartas de Antony van Leeuwenhoek (1632-1723) para a <i>Royal Society</i> , descrevendo seu trabalho com microscópio.
	Christiaan Huygens (1629-1695) publica o <i>“Horologium Oscillatorium”</i> .
1675	Conclusão do <i>“Royal Observatory at Greenwich”</i> e John Flamsteed (1646-1719) torna-se o primeiro astrônomo real.
1685	James II torna-se rei na Inglaterra.
1686	Gottfried Wilhelm Leibniz (1646-1716) opõe-se à ideia de que a conservação da quantidade de movimento é dada por <i>“mv”</i> como apontava René Descartes, mas sim por <i>“mv<sup>2</sup>”</i> . Este episódio ficou conhecido como <i>“querela das forças vivas”</i> .
1687	Isaac Newton (1643-1727) publica o <i>“Mathematical Principles of Natural Philosophy”</i> .
1688	Ocorre a <i>Revolução Gloriosa</i> na Inglaterra.
1690	Christiaan Huygens publica o <i>“Treatise on Light”</i> .
1698	Nasce Charles F. C. Du Fay (1698-1739).
1703	Morre Robert Hooke (1635-1703).
	Isaac Newton tornou-se presidente da <i>“Royal Society”</i> , cargo que ocupou até sua morte em 1727.
1704	Isaac Newton (1643-1727) publica o <i>“Opticks”</i> .
1706	Nasce Benjamin Franklin em janeiro.
1713	Morre Francis Hauksbee (1660-1713).
1727	Morre Isaac Newton (1643-1727).
1736	Morre Stephen Gray (1666-1736).

<sup>35</sup>Uma parte dessas informações foi extraída de: <<http://galileo.rice.edu/chron/europe.html>> e <<http://www.clas.ufl.edu/users/ufhatch/pages/03-Sci-Rev/SCI-REV-Home/05-sr-Ing-timeline.htm>>. Acesso em: 04 out. 2011.



### 3.2.3 Fatos Importantes da Vida de Gray

Na tabela 3 apresentamos alguns fatos e publicações importantes de Gray.

Tabela 3: Fatos importantes na vida de Gray. Todas as informações desta tabela foram extraídas de (CHIPMAN, 1954);(CHIPMAN, 1958);(CLARK; MURDIN, 1979).

ANO	ACONTECIMENTO
1666	Nasce Stephen Gray. Foi batizado em 26 de dezembro na <i>All Saints Church</i> em Best Lane. A data exata de nascimento ainda é desconhecida.
1692	(ou 1696) - Henry Hunt passa a enviar exemplares do periódico <i>Philosophical Transactions</i> para Gray.
1693	Hans Sloane (1660-1753) é eleito secretário da <i>Royal Society</i> , cargo que ocupou até 1713. Depois foi vice-presidente e em 1727 tornou-se presidente, após a morte de Isaac Newton (1643-1727).
1696	Gray tem seu primeiro trabalho publicado, sobre microscópios.
1703	(Junho) Gray fez sua primeira observação das manchas solares, estas foram reportadas em cartas para J. Flamsteed e para a <i>Royal Society</i> , que publicou um resumo das duas cartas. Os manuscritos originais foram perdidos.
1705	As cartas de Gray revelam a sua perda de interesse pela observação de manchas solares, o que pode ter ocorrido devido ao não reconhecimento e à não publicação de suas cartas sobre o assunto.
1706-11	Neste período F. Hauksbee publicou 10 cartas sobre experimentos em eletricidade na <i>Philosophical Transactions</i> . Sabe-se que Gray era leitor daquele periódico, o que pode tê-lo auxiliado em muitas das suas ideias sobre experimentos em eletrostática.
170 <sup>7</sup> / <sub>8</sub>	Carta datada 3 de janeiro de 170 <sup>7</sup> / <sub>8</sub> foi enviada por Stephen Gray para Hans Sloane, então secretário da <i>Royal Society</i> . Entretanto, ela não foi publicada no periódico <i>Philosophical Transactions</i> . Esta é a <i>tradução 1</i> desta tese.
1715-19	Gray participou de várias reuniões na <i>Royal Society</i> .
1719	(24 de junho) Gray ingressa como pensionista na <i>Charter-House</i> , Londres.
1720	Gray publicou uma carta na <i>Philosophical Transactions</i> , na qual reporta a descoberta da eletrização de vários materiais, tais como: penugens, fios de cabelo, linha de seda, papel, fitas de madeira, entre outros. [(GRAY, 1720-1, p. 104-107) – Tradução 2 à página 126 desta tese].
1720-29	Não se conhece quase nada sobre as atividades de Gray neste período. Nenhuma menção é feita quanto a ele comparecer em reuniões da <i>Royal Society</i> . Os arquivos da <i>Charter-House</i> não trazem nenhuma informação.
1729	Gray esteve em Otterdem Place e Norton Court realizando vários experimentos com Wheler e Godfrey, respectivamente. Neste período descobriu a condução da eletricidade e propôs a existência de materiais condutores e não-condutores de eletricidade, dentre vários outros experimentos que foram reportados no artigo Gray (1731-2c, p. 18-44) – Tradução 3 à página 141 desta tese.
1731	Gray já era conhecido pelos seus experimentos em eletricidade. Neste ano o Príncipe de Gales visitou a <i>Royal Society</i> para assistir à demonstração de seus experimentos.
1731-36	Várias cartas de Gray sobre eletricidade são publicadas na <i>Philosophical Transactions</i> , todas estão traduzidas nesta tese (Traduções de 4 a 10 desta tese). Os experimentos de Gray chamam a atenção de Du Fay, que refaz vários dos experimentos.
1736	Stephen Gray morre em fevereiro.

## 4 Tradução 1

### 4.1 Tradução 1 - Carta de Stephen Gray para Hans Sloane de 3 de Janeiro de 170<sup>7</sup>/<sub>8</sub>

#### 4.1.1 Introdução

Esta<sup>1;2</sup> carta, datada de janeiro<sup>3</sup> de 170<sup>7</sup>/<sub>8</sub>, foi enviada por Stephen Gray para Hans Sloane,<sup>4</sup> então secretário da *Royal Society*. Entretanto, ela não foi publicada no periódico *Philosophical Transactions*. Para Chipman (1954, p. 33-34), a carta apresenta “experimentos elétricos que parecem ser no mínimo de tão grande interesse e originalidade para a época quanto aqueles de Hauksbee<sup>5</sup> e Wall”. Esta carta está entre os arquivos de Sloane no *British Museum* e foi publicada por R. A. Chipman em 1954 (CHIPMAN, 1954).

A hipótese de Clark e Murdin (1979) para a não-publicação desta carta de Gray na *Philosophical Transactions* é que Sloane pode ter solicitado uma avaliação prévia de Hauksbee sobre o texto. Naquele momento, Hauksbee havia encantado a *Royal Society* com suas demonstrações sobre eletricidade, além disso, ele era curador/demonstrador de experimentos daquela Sociedade. Clark e Murdin (1979) supõem, então, que Hauksbee pode ter sido capaz de suprimir a publicação da carta de Gray. Pouco tempo depois, sentiu-se à vontade para publicar muitas das descobertas de Gray como sendo dele, *e.g.*, o

<sup>1</sup>Este texto foi extraído de (CHIPMAN, 1954).

<sup>2</sup>O texto original em inglês não possui figuras, sendo assim, todas as figuras desta tradução foram inseridas pelos tradutores. A maioria delas foi feita pelos tradutores, e algumas foram retiradas de fontes secundárias. Neste último caso são indicadas as referências de onde foram obtidas. As figuras estão fora de escala. Em algumas delas exageramos o tamanho do tubo de vidro ou de outros elementos da ilustração para facilitar a visualização.

<sup>3</sup>A Inglaterra utilizou o calendário juliano até 1752. Dessa forma, até 1752, o *ano novo* inglês começava em 25 de março. Entretanto, grande parte da Europa já havia adotado o calendário gregoriano. Por isso, para citar datas até o dia 25 de março utilizava-se uma indicação de ano que contemplava os dois calendários, na qual colocavam-se dois números para expressar o último dígito, *e.g.*, 170<sup>7</sup>/<sub>8</sub>. O primeiro número indicava o ano no calendário juliano e o segundo indicava o ano no calendário gregoriano. Após 25 de março utilizava-se somente o ano comum a ambos os calendários (SILVA; MARTINS, 1996, p. 315).

<sup>4</sup>Ver a Nota de rodapé 10 na página 72 desta tese para uma informação detalhada sobre Hans Sloane.

<sup>5</sup>Ver a Nota de rodapé 13 na página 74 desta tese para uma informação detalhada sobre Francis Hauksbee.

pairar de uma penugem sobre um bastão de vidro eletrizado (ver o experimento nº 4 desta tradução na página 93 desta tese). Hauksbee publicou sobre o “*eflúvio luminoso da cera e do enxofre*”<sup>6</sup> apenas poucos meses após a *Royal Society* ter recebido a carta de Gray anunciando suas descobertas. Em 1711, Hauksbee publicou uma carta na *Philosophical Transactions*<sup>7</sup> dizendo: “*Pode ser lembrado o sucesso que tive em produzir luz por meio de corpos, tal como lacre, resina e enxofre comum [...]*”, ignorando completamente o fato de as descobertas não serem dele (CLARK; MURDIN, 1979, p. 394).

#### 4.1.2 Tradução

Douto Senhor,<sup>8;9</sup>

Lhe agradeço pela continuação [do envio] de suas [revistas] *Philosophical Transactions* para mim. Aqueles que têm algum prazer no conhecimento da natureza não podem senão estimá-las, independentemente do que possa dizer quem tenha preferido colocar as deficiências que eles supõem ter encontrado nelas, nas suas *Transactions*, do que em suas próprias inclinações não-filosóficas.

Percebo que o Sr. Hauksbee ainda continua a contribuir [para] o Mundo da Filosofia [Natural] com as invenções engenhosas de experimentos esclarecedores e nobres descobertas, entre as quais considero que não são menos importantes [aquelas que] estão relacionadas à produção de luz e eletricidade<sup>10</sup> pelo atrito do vidro. A intensidade dos fenômenos junto à facilidade de operação daqueles experimentos que ele fez com um tubo de vidro encorajaram-me a tentar obter [e explorar] um pouco mais essas maravilhosas propriedades. Com esse objetivo fiz os experimentos a seguir. Alguns deles são no mínimo muito surpreendentes e outros parecem traçar a extensão e a corrente dos eflúvios<sup>11</sup>

<sup>6</sup>(HAUKSBEE, 1708-9a).

<sup>7</sup>(HAUKSBEE, 1710-12).

<sup>8</sup>O *texto original* em inglês apresenta várias palavras iniciadas com letra maiúscula no meio das frases, as quais optamos por grafar com letra minúscula para facilitar a leitura. Além disso, ele não tem pontuação gramatical. Sendo assim, optamos por pontuá-lo para facilitar a sua compreensão.

<sup>9</sup>Os destaques em *itálico* no texto são dos tradutores, assim como as palavras entre colchetes.

<sup>10</sup>Gray utiliza em seus artigos os termos *eletricidade* e *virtude elétrica* como sinônimos. Ambos os termos são abreviações para uma descrição detalhada da atração e subsequente repulsão de objetos leves, como pequenas lâminas de latão ou penugens, por outros corpos eletrizados. Aparentemente, Gray evita utilizar expressões que possam sugerir que ele interpretava seus experimentos e resultados em termos de uma “matéria” elétrica fluindo através das linhas de condução. (HOME, 1981, p. 52).

<sup>11</sup>Uma possível definição para *eflúvio* é encontrada em uma enciclopédia do século XVIII: “*Termo utilizado para expressar pequenas partículas que exalam da maioria, se não de todos, dos corpos terrestres, em forma de vapores invisíveis*” (EFFLUVIUM, 1798). Segundo Whittaker (1910), depois dos trabalhos de Gray o suposto eflúvio passou a ser chamado de “*fluido elétrico*”, sendo conhecido “*como uma das substâncias das quais o mundo é constituído*”. “*Os cartesianos definiam um fluido como um corpo cujas pequenas partículas estão em contínua agitação*”. (WHITTAKER, 1910, p. 38). Estas são definições que a literatura

luminoso e elétrico do vidro. Presumo que poderia ser aceitável dar algumas explicações sobre eles.

O tubo de vidro utilizado tinha aproximadamente o tamanho daquele utilizado pelo Sr. Hauksbee.<sup>12</sup> Mas, em vez de atritá-lo com papel como ele sugere, descobri que funciona melhor comigo quando [o tubo de vidro é] atritado apenas com minhas mãos nuas.<sup>13</sup>

1º *Experimento*<sup>14</sup> - [a)] Uma penugem solta dos dedos veio para o vidro [atritado] à distância de mais do que 30 polegadas [76 cm].<sup>15</sup> [b)] Algumas das menores fibras acompanharam o movimento da mão enquanto o vidro era atritado à distância de mais do que 50 polegadas [1,27 m].<sup>16;17</sup>

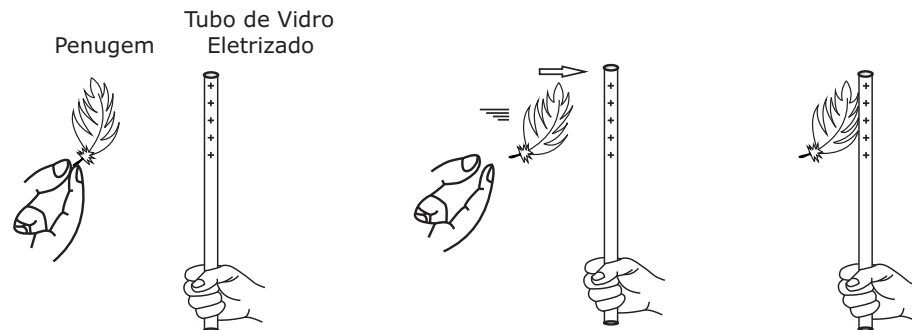


Figura 17: Penugem solta dos dedos é atraída por um tubo de vidro eletrizado.

2º *Experimento* - Depois que a penugem vem para o vidro [atritado], se ela for mantida a aproximadamente 6 ou 8 polegadas [15 ou 20 cm] de distância do lado de uma parede, apresenta, não queremos dizer que Gray assuma qualquer uma delas, pois ele não explicita isso em seus textos.

<sup>12</sup>O tubo de vidro utilizado por Hauksbee tinha aproximadamente uma polegada [2,5 cm] de diâmetro e 30 polegadas [76 cm] de comprimento (HAUKSBEE, 1706-7a, p. 2327). Este tubo era oco e feito de *flint glass*. Este era um tipo especial de vidro com base de chumbo, de poder fortemente dispersivo e refrigerante.

<sup>13</sup>Guericke\*, Boyle\*\*, Newton\*\*\* e frequentemente Hauksbee atritavam os objetos com as mãos nuas (CHIPMAN, 1954, p. 37).

\* Otto von Guericke (1602-1686).

\*\* Robert Boyle (1627-1691).

\*\*\* Isaac Newton (1642-1727). Uma discussão sobre “*Newton e a eletricidade*” pode ser encontrada em (ASSIS, 2010, p. 58-62).

<sup>14</sup>Apesar de Gray chamar de 1º *Experimento*, neste item há dois experimentos distintos. Por isso, inserimos os termos “a)” e “b)” no parágrafo.

<sup>15</sup>A ilustração de uma possível conformação deste experimento pode ser vista na Figura 17.

<sup>16</sup>Guericke e Boyle utilizaram penugens como detectores de efeitos elétricos, mas Hauksbee não o fez (CHIPMAN, 1954, p. 37). Em um artigo de 1706/7 Hauksbee comenta sobre experimentos elétricos feitos com um tubo de vidro eletrizado, e ele utilizava pequenos pedaços de latão (*leaf brass*) como detectores de eletricidade (HAUKSBEE, 1706-7a, p. 2327). Newton já havia utilizado detectores deste tipo (CHIPMAN, 1954, p. 38). Em publicações posteriores Gray também reporta a utilização desse tipo de detector.

<sup>17</sup>A penugem poderia estar sobre a mesa, presa em algum objeto, ou então sendo segurada por alguém. Quando Gray atritava o tubo de vidro, as cerdas da pena se moviam conforme o movimento da mão que atritava o tubo.

Para Chipman (1954, p. 38) a distância de 50 polegadas [1,27 m] mencionada por Gray neste experimento é bastante significativa, pois é bem maior do que qualquer outra distância mencionada anteriormente a partir da qual os efeitos elétricos foram observados.

da borda de uma mesa, do braço de uma cadeira ou de algo semelhante, ela [a penugem] será atraída para ele [o objeto] e dali para o vidro novamente. E isso [ocorrerá] por 10 ou 15 vezes seguidas sem cessar.<sup>18;19</sup> A penugem [também] voa [*i.e.*, é atraída] para um objeto [que esteja] a uma maior distância, mas não retorna com tanta frequência [para o vidro atritado].<sup>20</sup>

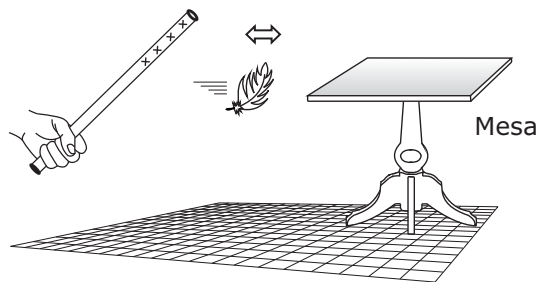


Figura 18: Penugem oscilando entre o tubo eletrizado e a borda de uma mesa.

3º *Experimento* - Quando a penugem está sobre o vidro, metade de suas fibras estão estendidas em direção a ele e a outra [metade] desvia dele, em dois cones, [sendo que] o mais distante do vidro é muito mais obtuso do que o outro.<sup>21</sup> Quando a penugem está nesta posição, se você apertar suas fibras entre seu polegar e seu dedo [indicador], elas se retirarão tão logo sejam soltas e imediatamente aderem ao vidro e, como se elas retivessem algum senso de injúria sentida, dificilmente irão para seus dedos novamente. Mas isso nem sempre ocorre da mesma forma.<sup>22</sup>

<sup>18</sup>Este experimento pode ser interpretado de duas formas distintas. *i)* A penugem grudada no tubo de vidro eletrizado (após ter sido solta no ar próxima ao tubo atritado, se deslocar e aderir a ele), ao ser aproximada de algum objeto, começa a se movimentar de um lado para outro, oscilando entre o tubo e o objeto várias vezes seguidas sem que haja qualquer interferência do experimentador.\* *ii)* A penugem é solta no ar próxima ao tubo de vidro e adere a ele. Em seguida, a pena grudada ao tubo é aproximada a um objeto, então ela sai do vidro em direção ao objeto e toca nele, retornando ao vidro logo em seguida. Então, o experimentador retira a penugem do tubo e a solta novamente no ar em suas proximidades, mas sem atritá-lo outra vez. Desta forma, repete-se o ciclo descrito há pouco, *i.e.*, a pena sai do tubo, toca no objeto e retorna ao tubo. Esse procedimento seria realizado várias vezes seguidas pelo experimentador.

\* Foi possível verificar este fenômeno quando realizamos o experimento com um canudo de refresco atritado e pedacinhos de papel de seda sobre uma mesa de madeira. Ao aproximar o canudo eletrizado dos papeizinhos, a cerca de um centímetro, alguns deles oscilaram por algumas vezes entre o canudo eletrizado e a mesa, fazendo seguidos movimentos de um lado para o outro.

<sup>19</sup>A ilustração de uma possível conformação deste experimento pode ser vista na Figura 18.

<sup>20</sup>Newton já havia observado essa contínua sequência de atração e repulsão de pequenos pedaços de latão (*leaf brass*) em experimentos realizados com uma placa de vidro atritada. Hauksbee também havia observado o mesmo fenômeno quando fez experimentos, inicialmente, com um tubo de vidro eletrizado e pequenos pedaços de latão e, posteriormente, com um tubo de vidro e partículas de fuligem (*lampblack*), tal como descreve em (HAUKSBEE, 1706-7a, p. 2327-8 e 2331). (CHIPMAN, 1954, p. 38).

<sup>21</sup>A ilustração de uma possível conformação deste experimento pode ser vista na Figura 19.

<sup>22</sup>Boyle havia feito um experimento semelhante, mas não notou tal posição das fibras e disse que as fibras mais distantes do objeto eletrizado não eram afetadas. Gray não cita Boyle, Gilbert ou Guericke em seus trabalhos, mas é possível que ele tenha conhecido os experimentos deles sobre eletricidade, uma vez que faz várias referências a outros autores clássicos, principalmente em astronomia. (CHIPMAN, 1954, p. 38).

Em um de seus experimentos, Boyle excitou um grande e vigoroso pedaço de âmbar, convenientemente

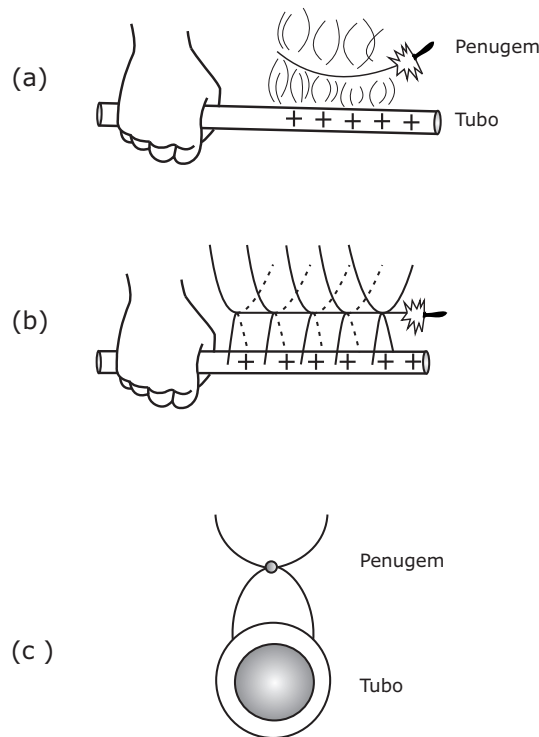


Figura 19: (a) Penugem sobre o tubo eletrizado. (b) Destaca-se o formato das cerdas da penugem em forma de cone sobre o tubo. (c) Visão frontal do conjunto tubo e penugem.

4<sup>o</sup> *Experimento* - Quando a penugem chega ao vidro [eletrizado] e daquele ponto é refletida<sup>23:24</sup>, se você segui-la com o vidro ela fugirá dele e de modo algum o tocará, até que seja conduzida para perto da próxima parede na sala ou de algum outro objeto sólido pelo qual ela será atraída e espontaneamente retornará para o vidro novamente, repetindo suas reflexões como no segundo experimento. Assim, tenho, às vezes, levado a penugem pela sala à distância de 5 ou 6 polegadas [13 ou 15 cm] [acima do tubo de vidro atritado] sem tocá-la. E posso movê-la para cima, para baixo, de maneira inclinada ou horizontalmente, em uma linha [reta] ou em círculo, de acordo com o movimento do

---

modelado para o experimento, e aproximou-o de uma pena felpuda. Então, a parte vizinha da pena foi atraída e rapidamente grudou no âmbar, mas a parte mais distante continuou na posição anterior. Feito isto, ele aplicou o dedo indicador nas penugens felpudas eretas e, imediatamente, elas deixaram sua posição e aplicaram-se para o dedo como se ele fosse um corpo elétrico. (BOYLE, 2000, p. 520, experimento VII).

<sup>23</sup>A ilustração de uma possível conformação deste experimento pode ser vista na Figura 20.

<sup>24</sup>A ilustração de um experimento semelhante feito por Guericke pode ser visto na Figura 21. No lugar do tubo de vidro, Guericke utilizava uma bola de enxofre eletrizada.

Vale destacar que para Guericke o experimento com o globo de enxofre não estava relacionado à eletricidade, esta associação ocorre posteriormente. O objetivo do experimento era mostrar as semelhanças entre a Terra e o globo de enxofre. No artigo 02, Capítulo XV, Livro IV (GUERICKE, 1672) fica evidente esta interpretação: “[...] esfregando-o [o globo] com a palma seca duas ou três vezes. Desta maneira, atrai todo gênero de partículas e folículos de ouro, de prata, papel, pequenos objetos, bem como toda substância raspada em direção ao seu eixo e as segura. Evidencia-se assim, o modo como o globo terreno sustém, atraindo todos os animais e outros que existem em sua superfície, ao longo de sua rotação diária de vinte e quatro horas.” (CALUZI; BOSS; SOUZA FILHO, 2010, p. 4-5). Uma discussão sobre esta questão também pode ser encontrada em (ASSIS, 2010, p. 66-73).

vidro. Quando a penugem estava flutuando no ar, se eu atritasse o vidro ela se afastava dele. Contudo, ela ainda acompanhava o movimento da minha mão com um movimento vibratório que não pode ser explicado pelo [movimento] do ar.<sup>25</sup>

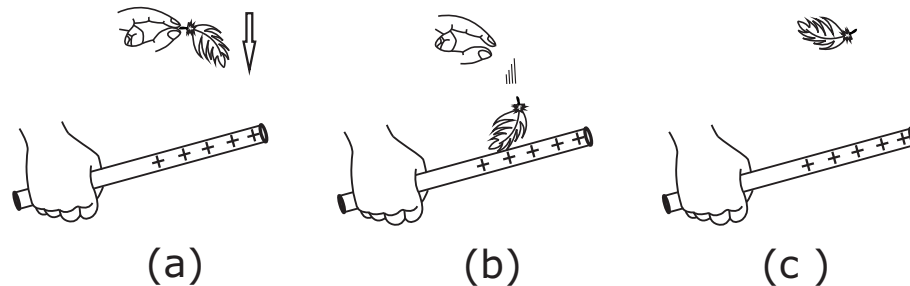


Figura 20: (a) A penugem é abandonada sobre o tubo eletrizado. (b) Ela toca o tubo e se eletriza positivamente. (c) A penugem flutua sobre o tubo de vidro devido a ambos estarem eletrizados com cargas de mesma natureza.



Figura 21: Experimento em que Guericke mantém uma penugem flutuando acima de uma esfera de enxofre atritada. Extraída de (GUERICKE, 1672, p. 129).

5º Experimento - Uma bola de chumbo pesando perto de quatro onças [113,4 gramas] suspensa por [um fio com] três quintos de um pé [18 cm] de comprimento foi colocada

<sup>25</sup>Hauksbee apresentou algo semelhante em 1708/9 quando realizou um experimento com um tubo de vidro eletrizado e um pequeno pedaço de latão (*leaf-brass*): “E indo além para provar a rigidez (*stiffness*) do corpo dos eflúvios, é observável que quando um pequeno pedaço de latão é perseguido pela sala [por um tubo de vidro eletrizado] ele boia ou flutua sobre a superfície dos eflúvios [...]” (HAUKSBEE, 1708-9b, p. 85).

em vibração pela aproximação do tubo sem tocá-la.<sup>26;27</sup>

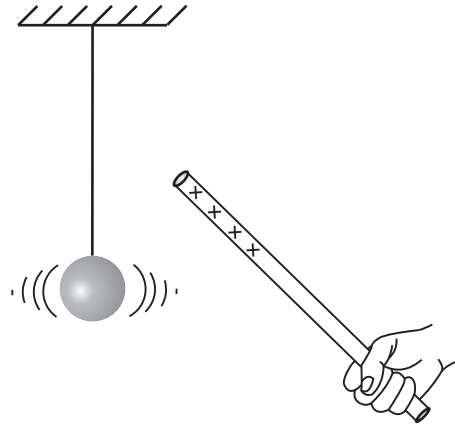


Figura 22: Bola de chumbo em vibração devido à aproximação do tubo.

6º *Experimento* - Encontrei [que] aquela luz que o Sr. Hauksbee descobriu nos eflúvios do vidro, também é inerente àqueles [efflúvios] de outros corpos elétricos como o enxofre, o lacre, o âmbar, etc. Quando o dedo é aproximado deles, produz-se um barulho audível como ele [o vidro] [produz], exceto a resina, que não produz luz, embora [seja] elétrica.<sup>28</sup>

7º *Experimento* - Aquela luz que provém de nosso dedo quando colocado próximo ao tubo [de vidro atritado] no escuro, provém dele em um fluxo cônico cujo vértice está no dedo. E o barulho que ele faz parece proceder do choque do eflúvio com o vidro no rápido

<sup>26</sup> Apresenta-se a seguir uma hipótese para explicar a vibração (ou oscilação) da bola de chumbo. Uma simples aproximação e afastamento rápido do tubo de vidro eletrizado, sem que haja contato entre a bola de chumbo e o tubo, muitas vezes já é suficiente para produzir o movimento oscilatório do pêndulo. Este efeito também pode ser ampliado. O tubo de vidro eletrizado é aproximado e afastado dela repetidas vezes, em movimentos sincronizados com os movimentos que vão sendo adquiridos pela bola, de forma que dê a ela um movimento pendular com amplitudes crescentes. Durante as aproximações não se permite que a bola toque no tubo. Inicialmente, com a bola parada na vertical, aproxima-se o tubo e a bola começa a ser atraída em sua direção. Antes que ocorra o toque, afasta-se o tubo. A bola então começa a cair, passa pela vertical e sobe na direção oposta, voltando à vertical e subindo em direção ao tubo. Durante esta segunda subida aproxima-se novamente o tubo eletrizado. A bola sobe então mais do que na primeira vez, sendo novamente atraída pelo tubo. Antes que ocorra o toque, afasta-se o tubo. A bola desce, sobe para o lado oposto, volta a passar pela vertical, subindo uma terceira vez em direção ao tubo. Aproxima-se novamente o tubo eletrizado durante esta terceira subida. Ela então sobe mais do que na segunda vez. Antes que haja o toque, afasta-se o tubo. Todo o procedimento pode ser repetido diversas vezes. A amplitude de oscilação do pêndulo vai aumentando a cada subida em direção ao tubo, desde que os movimentos sejam feitos de forma sincronizada.

<sup>27</sup> A ilustração de uma possível conformação deste experimento pode ser vista na Figura 22.

<sup>28</sup> Gray acrescentou novos materiais à lista de substâncias que emitiam luz quando eletrizadas, pois Boyle já havia reportado tal fenômeno para o diamante, Guericke para o enxofre e Hauksbee para o vidro. Entretanto, para Chipman (1954) Gray considerou a associação dos efeitos elétrico e luminoso como sendo o estado normal do fenômeno, o que, no ponto de vista dele, é algo bastante significativo. Acrescenta ainda que Gray guardou o conceito de associação entre os dois efeitos por mais de vinte anos, tendo em vista o que ele escreve em uma carta datada de 1729, na qual apresenta o fenômeno da condução da eletricidade: “[...] tendo recordado uma suspeita que tive alguns anos atrás, que [tal] como o tubo [de vidro eletrizado] comunicava luz aos corpos, quando ele era atritado no escuro, se ele não poderia, ao mesmo tempo, comunicar eletricidade a eles [...]” (GRAY, 1731-2c, p. 19). Além disso, apenas Hauksbee havia reportado anteriormente a presença de estalidos nesse tipo de experimento (CHIPMAN, 1954, p. 38-9).



movimento [do eflúvio] a partir do dedo.<sup>29</sup>

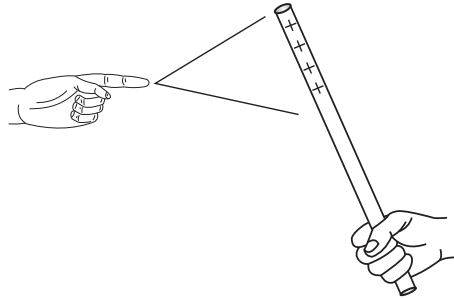


Figura 23: Luz no formato cônico entre o dedo e o tubo eletrizado.

8º *Experimento* - Uma pequena vareta pontiaguda afiada emitiu luz todas as vezes que o tubo de vidro estava sendo atritado à distância de mais do que um pé [30 cm], aumentando ou diminuindo sua luz de acordo com a força [mais] intensa ou [mais] fraca utilizada para atritá-lo. Quanto menor é o objeto que é atraído pelo vidro, tanto maior é a distância pela qual ele será atraído, da mesma forma tais corpos [pequenos] são iluminados à maior distância do que corpos maiores.

9º *Experimento* - Na extremidade da vareta mencionada no experimento anterior fixei uma penugem bem grande, fazendo uma fenda na extremidade da vareta para recebê-la. Então, [com] o tubo sendo atritado e segurado à distância de aproximadamente 15 polegadas [38 cm], as fibras estenderam-se [tanto] da ponta da vareta como a partir de um centro, formando como se fosse uma estrela.<sup>30</sup> Eu esperava que uma luz surgisse das extremidades de seus raios [da estrela], mas não a encontrei, exceto a [luz] que veio da ponta da vareta. Esta ponta também não ficou luminosa a uma distância tão grande quanto no caso em que não havia a penugem.

10º *Experimento* - Enquanto as coisas estão colocadas sobre a mesa, elas não são atraídas para perto [do tubo de vidro atritado], quando ele é aproximado, a uma distância tão grande como [aquela] quando [estão] soltas ao ar livre.<sup>31</sup> Nem são atraídas à tão grande distância quando existem muitas pessoas na sala, como [são] quando [tem] apenas uma ou duas [pessoas]. Suponho que o movimento dos eflúvios é dificultado pelo vapor dos corpos [das pessoas], pois como observa o Sr. Hauksbee: [a] umidade é uma inimiga para

<sup>29</sup>A ilustração de uma possível conformação deste experimento pode ser vista na Figura 23.

<sup>30</sup>A ilustração de uma possível conformação deste experimento pode ser vista na Figura 24. Supomos que a penugem seja daquelas felpudas, nas quais finas cerdas estão distribuídas por toda a haste da pena.

<sup>31</sup>Uma pergunta interessante que pode ser feita é: “Um papelzinho é atraído com mais força quando está sobre um isolante ou sobre um condutor?”. Esta questão é respondida por Assis (2010) fazendo um experimento em que um canudo de refresco eletrizado é aproximado de pedacinhos de papel colocados sobre uma folha de papel (material condutor para experimentos de eletrostática) e sobre uma chapa de isopor (material isolante). Conclui-se que a maior força é exercida sobre os pedacinhos de papel colocados sobre uma superfície condutora (ASSIS, 2010, p. 220-3).

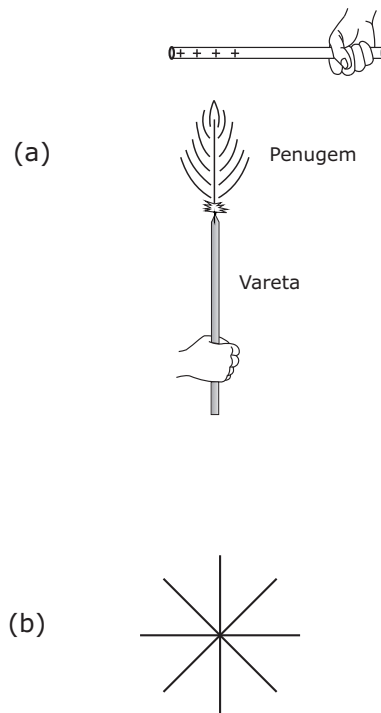


Figura 24: (a) Tubo eletrizado sobre a pena fixada na vareta. (b) Um observador que olhe a pena de cima, da posição do tubo de vidro, veria as cerdas dispostas de forma a lembrar uma estrela.

esses experimentos.

*10º Experimento [sic]* - Uma agulha magnética moveu-se de seu meridiano pelo tubo, ou melhor, por seus eflúvios, à distância de aproximadamente 20 polegadas [51 cm]. Contudo, o pó de aço pendurado em [forma de] fibras nos polos de uma bússola de marinheiro não os deixariam pela aproximação do vidro, tampouco seguiria o movimento da mão sobre ele [o tubo de vidro no momento em que é atritado], [tal] como faziam as [fibras] das penugens.<sup>32</sup>

*11º Experimento* - Quando o tubo é primeiro aquecido, segurando-o ao fogo, um sutil movimento dos dedos sobre ele lhe fornece algum grau de eletricidade. Logo depois, notei que o vidro do meu relógio estava elétrico sem qualquer outro atrito [além] daquele que

<sup>32</sup>Boyle havia feito experimentos com agulhas magnéticas. Além disso, também observou que limalha de ferro era atraída pelo âmbar atritado. Pode ser que o “pó de aço pendurado em [forma de] fibras” a que Gray se refere “tenha alguma forma rígida que não é superada por pequenas forças eletrostáticas” (CHIPMAN, 1954, p. 39).

Segundo Boyle, “Parece mais provável que a atração elétrica não depende de qualquer simpatia peculiar entre um elétrico [corpo que atrai substâncias leves ao ser atritado] e um corpo sobre o qual ele opera, pois o âmbar, por exemplo, não atrai apenas um determinado tipo de corpos, assim como a pedra-ímã [atrai] o ferro e aqueles corpos em que ele é abundante. Mas, até onde já testei, [o âmbar] atrai indiferentemente todos os corpos, quaisquer que sejam eles, [desde que] sendo colocados dentro de uma distância devida do âmbar, (como o meu pedaço preferido de âmbar atrai não apenas areia e pós minerais, mas limalha de aço e de cobre, e o próprio ouro laminado), desde que eles sejam pequenos ou leves o suficiente, exceto talvez o fogo [...]” (BOYLE, 2000, p. 515).

recebera acidentalmente em meu bolso.<sup>33</sup>

*12º Experimento* - Ou melhor, um acréscimo ao segundo. Quando a penugem deixou o vidro, se a mão ou algum outro objeto sólido fosse colocado entre ela e o vidro, ela [a penugem] voltaria para encontrá-la e fixar-se nela [na mão], desde que a mão estivesse mais próxima dela [da penugem] do que de qualquer outro objeto.<sup>34</sup> Fiz este experimento para confirmar ou rejeitar minha primeira hipótese a respeito da causa deste fenômeno, a saber, que a eletricidade procedia de uma emissão e reflexão de seus próprios eflúvios por um objeto externo. Mas isso é contradito pelo experimento mencionado agora. Portanto, pensei em uma outra hipótese, a qual no momento me parece um pouco mais provável, [a saber,] que assim como todos os corpos emitem, da mesma forma eles recebem parte dos eflúvios de todos os outros corpos que [estão nos] seus arredores, e que a atração ocorre de acordo com a corrente desse eflúvio. Mas então, fica difícil conceber como [que], ao atritar o vidro, embora isso possa causar uma erupção mais copiosa e rápida dos eflúvios, isso possa de igual modo afetar outros corpos distantes. Portanto, estou longe de pensar que o que ofereço aqui seja uma explicação completa dos fenômenos. Deixo isso à consideração dos doutos.<sup>35</sup>

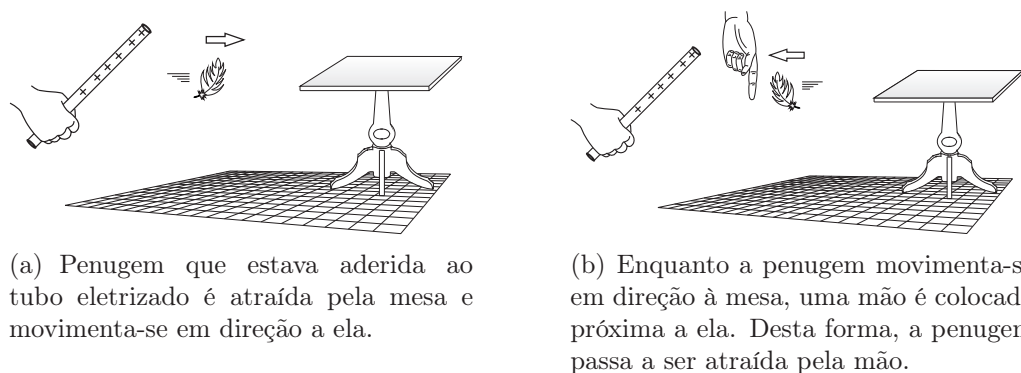


Figura 25: Penugem atraída primeiramente pela mesa e em seguida pela mão.

O experimento do Sr. Hauksbee mencionado na sua última *Transaction*,<sup>36</sup> no tocante à quantidade de ar produzida pela pólvora, parece-me evidenciar que não existe tão grande quantidade de ar gerada, como pensava-se anteriormente; se é que existe qualquer [quantidade de ar produzida neste experimento]. Além disso, ele [o experimento] me faz

<sup>33</sup>Boyle e Hauksbee “consideravam o aquecimento um pré-requisito absoluto para a obtenção dos efeitos elétricos”, já Gray reconhece a importância do aquecimento para esses experimentos, mas não o vê como uma condição *sine qua non* (CHIPMAN, 1954, p. 39).

<sup>34</sup>A ilustração de uma possível conformação deste experimento pode ser vista na Figura 25.

<sup>35</sup>Segundo Chipman (1954), “a rejeição de Gray da teoria da atração elétrica como sendo devida à ‘emissão e reflexão [por um corpo] de seus próprios eflúvios’ é um passo altamente original”, embora “sua razão para rejeitar a sua própria proposta seja um pouco confusa” (CHIPMAN, 1954, p. 39-40).

<sup>36</sup>(HAUKSBEE, 1706-7c).

suspeitar que o ar produzido artificialmente, suposto ser produzido de outras matérias, ou não existe ou então pode existir apenas uma pequena parte dele, ainda mais se considerarmos que tem sido observado que animais morrem tão logo [estejam] nesse [ar] assim como no vácuo.

O modo [que o] Sr. Hauksbee utilizou para elevar a água no tubo mencionado no experimento<sup>37</sup> me deu a ideia de comunicar a você uma pequena invenção minha, que fiz há mais de um ano e que foi agora aperfeiçoada. De um pequeno copo de vidro retirei uma quantidade de vidro da sua base, de maneira a deixar nela um pequeno furo. Nesse [furo] cimentei um pequeno tubo. Na sua extremidade superior coloquei uma válvula como aquelas [utilizadas] nas bombas de ar do tipo de Hauksbee. Encontrei que ele pode ser utilizado para as aplicações de um vidro de sucção [ventosa] ao colocar nossa boca na extremidade do tubo com sua válvula e ao puxar o ar. Quanto maior for o vidro, mais sucções ele vai necessitar. Isso pode ser repetido frequentemente com o ar externo tampando a válvula enquanto a pessoa inspira. Aqueles que considerarem apropriado executar esta forma de sucção irão conceber facilmente como e de que forma pode ser feito um vidro inteiro sem um tubo. Utilizei [um tubo] apenas devido a estar afastado de uma vidraria.

O grande candor e condescendência com as quais você e sua ilustre Sociedade<sup>38</sup> quiseram mostrar-me ao receber minhas comunicações anteriores, encoraja-me a pensar que esta não será menos estimada. Quem sou,

Senhor, seu humilde servidor, Stephen Gray.

Dos meus aposentos no *Trinity College*, em Cambridge, 3 de janeiro de 170<sup>7</sup>/<sub>8</sub>.

---

<sup>37</sup>Provavelmente Gray esteja se referindo aos experimentos descritos em dois artigos de Hauksbee: (HAUKSBEE, 1706-7b, 1706-7d).

<sup>38</sup>“*Royal Society*”.

## 4.2 Experimentos

### 4.2.1 Introdução

Nesta seção iremos apresentar alguns experimentos que permitem discutir a interação de um objeto eletrizado com alguns materiais, bem como o comportamento peculiar de tais materiais diante de diferentes situações. Nos experimentos a seguir os canudos de refresco que estiverem nos suportes de gesso não estão atritados. As subseções *1º Experimento*, *2º Experimento*, etc. referem-se àquela numeração dos experimentos descritos na *tradução 1*.

### 4.2.2 Experimentos com Materiais Acessíveis

#### 4.2.2.1 1º Experimento

##### Experimento 4.1 - *1º Experimento*

✓ MATERIAIS UTILIZADOS	
⇒ Canudinhos de plástico	⇒ Papel sulfite
⇒ Penugem	⇒ Semente de dente de leão
⇒ Papel de seda	⇒ Régua de 30 cm

Este experimento e o seguinte foram descritos por Gray no seu *10º Experimento*, que será feito aqui como o Experimento 4.17 da tese, estando à página 122 deste trabalho. Mas como este experimento é uma outra possibilidade de verificar a interação do canudo atritado com a penugem, vamos descrevê-lo aqui. Neste experimento, vamos verificar a interação entre um canudo de plástico atritado e alguns pequenos objetos leves. Gray utiliza em seu experimento um tubo de vidro e o atrita com a mão nua. Em vez disso, utilizamos um canudo de plástico no lugar do tubo de vidro e o atritamos com papel sulfite. No lugar do canudo poderíamos utilizar uma régua de plástico ou de acrílico, ou um tubo de PVC. O papel utilizado para atritar poderia ser substituído por outro tipo de papel, tal como papel higiênico, guardanapo de papel, folha de caderno, etc., também poderia ser utilizada a poliamida. Apesar destas opções, neste experimento utilizamos canudo de plástico e papel sulfite. Para iniciar o experimento, atrita-se o canudo de

plástico com papel. Após atritar o canudo podemos aproximá-lo de um *versório* para verificar se ele está eletrizado, o movimento da haste móvel indica que houve eletrização. O canudo de plástico atritado era segurado na posição horizontal sobre uma mesa, a outra mão segurava uma penugem de 1 cm no mesmo plano horizontal do canudo, tal como mostra a Figura 26.<sup>39</sup>

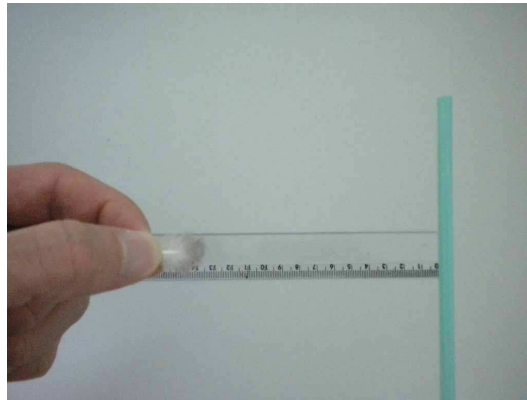


Figura 26: À esquerda temos a penugem de 1 cm sendo segurada por uma mão, à direita temos um canudo eletrizado na posição horizontal segurado pela outra mão (a qual não aparece na foto), ambos estão a cerca de 20 cm acima de uma mesa. Abaixo do conjunto pena/canudo e sobre a mesa temos uma régua de 30 cm utilizada para estimar a distância entre a penugem e o canudo. (Visão superior do aparato).

Então, a penugem era solta no ar a uma determinada distância do canudo. Na primeira tentativa a penugem foi solta a cerca de 30 cm do canudo, mas não foi atraída, caindo sobre a mesa. Esse procedimento foi repetido várias vezes, sendo que a cada nova tentativa a distância entre o canudo e a penugem era diminuída. Após algumas tentativas a penugem foi atraída pelo canudo a uma distância aproximada de 5 cm. O mesmo experimento foi realizado com uma semente de dente-de-leão (ver a Figura 27), a qual foi atraída a uma distância aproximada de 15 cm do canudo.<sup>40</sup> Este experimento também pode ser realizado com o canudo disposto na posição vertical, como ilustra a Figura 17. Nesta situação, caso queiramos estimar a distância entre a penugem e o canudo, a régua poderá ser presa a uma parede, por exemplo.

#### **Experimento 4.2 - 1ª Variação do 1º Experimento**

Colocamos a penugem sobre uma superfície e aproximamos o canudo eletrizado por cima e sobre a vertical que passa pela pena. Se o canudo for colocado a uma determi-

<sup>39</sup>As penugens que utilizamos tinham cerca de 1 cm de comprimento. Penugens muito maiores inviabilizam este experimento, pois são muito pesadas e caem muito rápido ao solo quando abandonadas no ar. As penugens utilizadas demoravam cerca de 4 segundos para cair a distância de um metro (*i.e.*, eram soltas a um metro do chão).

<sup>40</sup>As sementes de dente-de-leão demoravam cerca de 7 segundos para cair a distância de um metro.

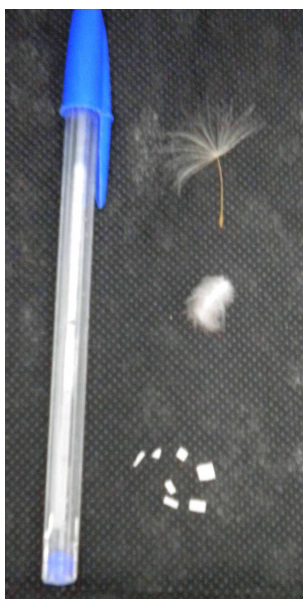


Figura 27: De cima para baixo: semente de dente-de-leão, penugem de 1 cm e pedacinhos de papel de seda. A caneta na foto é apenas para dar noção da dimensão dos três objetos.

nada altura, por exemplo de 30 cm, e for movimentado para baixo em direção à pena, lentamente, a partir de uma certa distância ela será atraída, ver a Figura 28.

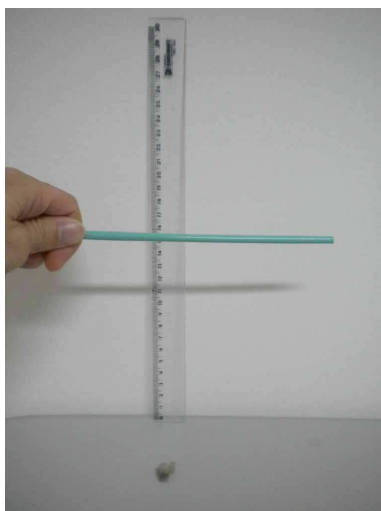


Figura 28: À esquerda temos a mão segurando o canudo eletrizado. Sobre a mesa temos a penugem, e ao fundo uma régua de 30 cm encostada na parede, utilizada para estimar a distância vertical entre a penugem e o canudo. (Visão frontal do aparato).

Este experimento também pode ser feito utilizando-se papezinhos no lugar da penugem. Neste caso, cortam-se vários pedacinhos de papel, pode ser qualquer tipo de papel, mas é preferível utilizar papel de seda porque é mais leve, ver a Figura 27. Coloque-os sobre uma superfície, atrite o canudo e aproxime-o deles, tal como descrito anteriormente. Vários pedacinhos de papel serão atraídos pelo canudo atritado. Geralmente, os papezinhos atraídos grudam no canudinho eletrizado, no entanto, algumas vezes pode ocorrer

de eles ricochetearem no canudo. Também é possível fazer este experimento com sementes de dente-de-leão, com o mesmo procedimento descrito anteriormente. Uma pergunta interessante que pode ser feita neste experimento é: “*Um papelzinho é atraído com mais força quando está sobre um isolante ou sobre um condutor?*”. Esta questão é respondida por Assis (2010) fazendo um experimento em que um canudo de refresco eletrizado é aproximado de pedacinhos de papel colocados sobre uma folha de papel (material condutor para experimentos de eletrostática) e sobre uma chapa de isopor (material isolante). Conclui-se que a maior força é exercida sobre os pedacinhos de papel colocados sobre uma superfície condutora (ASSIS, 2010, p. 220-3).

Quando realizamos esse experimento colocando os objetos (penugem, semente de dente-de-leão e papezinhos) sobre uma folha de papel sulfite obtivemos os seguintes resultados: os papezinhos foram atraídos pelo canudo de plástico atritado à distância aproximada de 7 cm; uma penugem (de cerca de 1 cm) foi atraída pelo canudo à distância aproximada de 3 a 5 cm; uma semente de dente-de-leão foi atraída a cerca de 10 cm. As cerdas de uma pena (ver a Figura 29), colocada sobre uma folha de papel sulfite, começavam a se movimentar (levantar) quando o canudo estava à distância aproximada de 5 a 7 cm. Mas, a pena não saiu do papel.

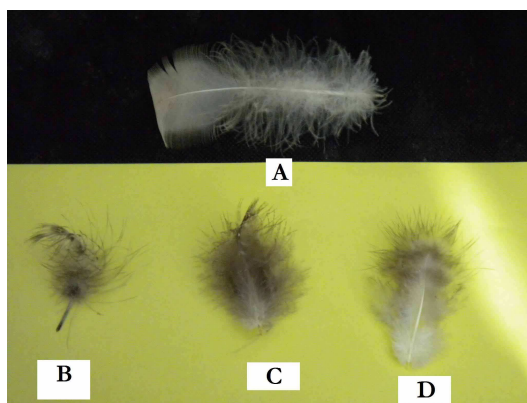


Figura 29: Penas. Tamanho das penas: (a) 13 cm, (b) 6 cm, (c) 6 cm e (d) 7,5 cm.

### Experimento 4.3 - 2ª Variação do 1º Experimento

Este experimento tem o mesmo procedimento do Experimento 4.2, a diferença é que em vez de utilizar um canudo eletrizado, utilizam-se dois canudos eletrizados juntos. Desta forma, em vez de colocar um canudo sobre o objeto leve, que está sobre o papel sulfite, colocam-se dois canudos atritados (encostados lado a lado) e os aproximam lentamente do objeto, tal como descrito no experimento anterior. A diferença entre os dois experimentos é que neste o objeto leve será atraído a uma distância maior, em relação a situação em



que se utiliza um canudo só. Por exemplo, quando realizado com a penugem, a altura dos canudos em que ocorreu a atração foi quase o dobro da altura obtida com um único canudo, as distâncias variavam um pouco em cada execução.

### Considerações sobre os experimentos

As distâncias reportadas aqui são apenas para ilustrar os experimentos que fizemos, pois dependem de vários fatores, como o peso dos objetos, da eletrização do canudo, etc. Portanto, o leitor que realizar este experimento poderá encontrar valores semelhantes ou bastante diferentes dos apresentados. O importante, neste caso, é o fenômeno, ou seja, o fato de haver a atração elétrica entre o canudo eletrizado e objetos leves que inicialmente não estavam eletrizados, e que ela só ocorre a partir de uma determinada distância. As medidas realizadas permitem discutir a variação da força de atração elétrica em relação à distância, ou seja, que a intensidade da força de atração elétrica aumenta com a diminuição da distância entre os corpos. Nos experimentos descritos aqui estamos tratando de um fenômeno de atração entre um corpo eletrizado e um corpo inicialmente neutro. Portanto, o fenômeno está relacionado à eletrização por influência do objeto leve devida à aproximação do corpo eletrizado.

Há dois experimentos descritos por Assis (2010, p. 129-31), quando discute o tema “*variação da força elétrica com a distância*”, que permitem analisar a *atração* e a *repulsão elétrica* entre dois corpos carregados eletricamente. Neste caso, utiliza-se um pêndulo elétrico e canudos de plástico atritados com borracha dura (com o canudo ficando eletrizado positivamente) e no cabelo (com o canudo ficando carregado negativamente). Com os canudos eletrizados com cargas de naturezas diferentes, é possível eletrizar um pêndulo elétrico por contato com um deles e analisar duas situações distintas: i) o pêndulo sendo repelido pelo canudo que o eletrizou; e ii) sendo atraído pelo canudo de carga oposta. Além disso, no início do experimento, ao aproximar um canudo eletrizado do pêndulo neutro, com a finalidade de eletrizá-lo, há atração entre um objeto inicialmente neutro e um carregado. Ou seja, é uma forma diferente de ver o fenômeno que apresentamos em nossos experimentos de Gray. Os experimentos descritos por Assis (2010) envolvem processos de eletrização por influência, quando o canudo carregado atrai o pêndulo neutro, e por contato (simples toque), quando há o toque entre o pêndulo e o canudo eletrizado.

O Experimento 4.3 permite a discussão sobre a relação *quantidade de carga elétrica e força elétrica*. Dados três corpos  $A$ ,  $B$  e  $C$  de tamanhos (ou diâmetros máximos) pequenos comparados às distâncias entre eles. Supomos que  $A$  e  $B$  estão eletrizados, enquanto que

$C$  está inicialmente neutro. Seja  $F_{AC}$  a força elétrica entre os corpos  $A$  e  $C$  quando separados pela distância “ $d$ ”, sendo que o corpo  $B$  está longe do conjunto  $AC$ . Seja  $F_{BC}$  a força elétrica entre  $B$  e  $C$  quando estão separados pela distância “ $d$ ”, com o corpo  $A$  longe do conjunto  $BC$ . Dada esta situação, defini-se “que a quantidade de carga de  $A$  é igual à quantidade de carga de  $B$  caso  $F_{AC} = F_{BC}$ . Caso  $F_{AC}$  seja maior do que  $F_{BC}$ , então diz-se que a quantidade de carga de  $A$  é maior do que a quantidade de carga de  $B$ . Caso  $F_{AC}$  seja menor do que  $F_{BC}$ , então diz-se que a quantidade de carga de  $A$  é menor do que a quantidade de carga de  $B$ ” (ASSIS, 2010, p. 131-2). Em nossos experimentos, a intensidade da força elétrica pode ser indicada pela distância em que ocorre a atração do objeto leve pela aproximação do corpo eletrizado. Ou seja, dado o mesmo objeto leve neutro sobre a mesa, dois corpos são aproximados dele, separadamente, por meio do procedimento descrito no Experimento 4.3. A intensidade da força elétrica é maior na situação em que a distância na qual a atração ocorre é maior. Então, podemos supor que nossa penugem sobre a mesa é o corpo  $C$  da definição dada anteriormente, o nosso canudo eletrizado e sozinho é o corpo  $A$ , e os dois canudos eletrizados e juntos lado a lado são o corpo  $B$ . Como a distância com que o corpo  $B$  atrai o corpo  $C$  é maior do que a distância com que  $A$  atrai  $C$ , conclui-se que força elétrica  $F_{BC}$  é maior que a força  $F_{AC}$ . Portanto, pela definição anterior, o corpo  $B$  do nosso experimento tem maior quantidade de carga do que o corpo  $A$ .<sup>41</sup>

#### 4.2.2.2 2º Experimento

##### Experimento 4.4 - 2º Experimento

✓ MATERIAIS UTILIZADOS	
⇒ Tubo de PVC	⇒ Papel sulfite
⇒ Penugem	⇒ Semente de dente-de-leão
⇒ Poliamida	⇒ Papel de seda
⇒ Canudos de plástico	⇒ Pêndulo elétrico

<sup>41</sup>Outros experimentos e outras formas de discutir a relação *quantidade de carga elétrica* e *força elétrica* podem ser encontrados em Assis (2010, p. 131-6, Seção 5.7: Variação da Força Elétrica com a Quantidade de Carga).

O objetivo deste experimento é fazer um pequeno objeto oscilar entre dois corpos, um eletrizado (*e.g.*, canudo ou tubo de PVC atritado) e o outro neutro (*e.g.*, parede, mesa de madeira, mão). Em uma primeira tentativa de realizar o experimento, aproximamos um canudo atritado de uma penugem que estava sobre uma folha de papel sulfite. A penugem foi atraída e ficou grudada no canudo. Então, mantivemos a pena na altura em que estava o canudo quando ela foi atraída, cerca de 1 cm de distância da mesa. Com isso, uma parte dela se movia em direção ao papel sulfite, mas ela não se desgrudava do canudo, ver a Figura 30. Isto ocorria também quando a penugem grudada no canudo era aproximada de um dedo da mão. Desta maneira, não houve a oscilação da pena entre o canudo e o corpo neutro.



Figura 30: Penugem grudada no canudo atritado sendo atraída por uma folha de papel sulfite amarelo à distância aproximada de 1 cm. Neste experimento a penugem não se desgrudou do canudo.

Na segunda tentativa, substituímos a penugem por pedacinhos de papel de seda, ver a Figura 27. Com os papeizinhos colocados sobre a folha de papel sulfite, o canudo eletrizado foi aproximado. Foi possível ver os pedacinhos de papel oscilarem (subindo e descendo) entre o canudo e o papel sulfite. Para que esta oscilação ocorresse, o canudo teve que ser colocado bem próximo dos papeizinhos, cerca de 1 a 2 cm.<sup>42</sup>

#### **Experimento 4.5 - 1ª Variação do 2º Experimento**

O experimento foi feito com um tubo de PVC atritado com poliamida. Após eletrizar o tubo, uma penugem era solta no ar sobre ele, de forma que fosse atraída e tocasse o tubo eletrizado. Quando a penugem toca o tubo atritado podem acontecer dois fenômenos

<sup>42</sup>Posteriormente, este experimento foi feito utilizando um canudo atritado e dois pequenos discos de papel (um de papel de seda e outro de papel de alumínio). Isto será descrito no Experimento 4.17 à página 122 desta tese.

distintos: i) ela gruda no tubo por algum tempo e depois salta para o alto<sup>43</sup>; ou ii) ricocheteia no tubo saltando para o alto imediatamente.<sup>44</sup> Caso a pena ficasse grudada no tubo, antes que ela fosse ejetada o tubo era colocado na vertical e a outra mão era aproximada da penugem, de forma que uma ficasse de frente para outra, ver a Figura 31(a). Com isso, em alguns segundos a penugem se desgrudava e voava em direção à mão, começando a oscilar por algumas vezes entre a mão e o tubo.



(a) Penugem oscilando entre a mão e tubo de PVC atritado com poliamida



(b) Penugem oscilando entre o tubo de PVC atritado e papel sulfite.

Figura 31: Interação do tubo de PVC eletrizado com a penugem.

No caso em que a penugem ricocheteava, saltando para alto, a mão que não segurava o tubo era aproximada dela para que fosse atraída.<sup>45</sup> Então, o tubo era aproximado da penugem grudada na mão, e desta forma ocorria a oscilação. Em alguns momentos os movimentos de ida e volta da pena eram rápidos e consecutivos, mas em outros momentos eram bem lentos, levando alguns segundos para a pena se desgrudar do tubo ou da mão. Dessa forma, a penugem ficava alguns segundos presa ao tubo, então se deslocava até a mão ficando presa a ela por alguns segundos até retornar ao tubo, e assim sucessivamente.

<sup>43</sup>Nesta situação, uma hipótese explicativa é a de que a pena pode ficar grudada devido a algum contaminante que esteja sobre o tubo como, por exemplo, suor ou gordura das mãos. Sendo assim, é possível que a pena se eletrize no momento do contato com carga de mesma natureza que a do tubo atritado, mas a força elétrica de repulsão, naquele momento, não é suficiente para vencer outras forças que estejam agindo no sistema. O fato de ela ser ejetada para o alto após alguns segundos, pode ser explicado se admitirmos que nesse intervalo de tempo, em que estão em contato, a pena pode aumentar sua eletrização e, por isso, a força de repulsão também aumenta, chegando a uma intensidade que vença as outras forças e a pena salte para o alto.

<sup>44</sup>Nesta situação, ao tocar o tubo a pena se eletriza com carga de mesma natureza que a dele, sendo repelida imediatamente.

<sup>45</sup>Neste caso, a pena ejetada do tubo está carregada eletricamente, e por isso é atraída pela mão que está neutra.

A distância entre a mão e o tubo eletrizado varia bastante, em alguns momentos ficavam bem próximos, cerca de 2 cm. O mesmo experimento foi realizado com semente de dente-de-leão no lugar da penugem. Neste caso, conseguimos que a distância entre a mão e o tubo fosse maior, cerca de 10 cm. Tentamos fazer o experimento colocando a penugem para oscilar entre o tubo e uma parede ou uma cadeira de madeira, mas não houve sucesso. Algumas vezes, a penugem até se deslocava para a parede, mas não retornava ao tubo eletrizado, portanto não ocorriam oscilações.

#### **Experimento 4.6** - *2ª Variação do 2º Experimento*

Agora, o tubo de PVC atritado com poliamida foi aproximado de uma penugem (ou de uma semente de dente de leão) que estava colocada sobre uma folha de papel sulfite. Dessa forma, também foi possível ver o fenômeno de a penugem oscilar entre o tubo e o papel, ver a Figura 31(b). Os movimentos de ida e volta da penugem eram lentos, como descrito no experimento anterior. A penugem ficava alguns segundos grudada no tubo até voar para o papel sulfite, e o mesmo ocorria quando estava sobre o papel. Contamos até 12 movimentos de ida e volta da penugem, neste experimento.

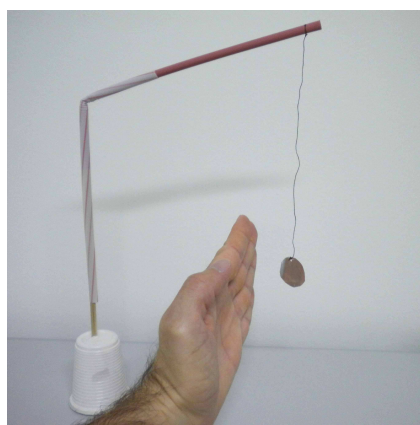
#### **Experimento 4.7** - *3ª Variação do 2º Experimento*

Uma outra forma de fazer o experimento é utilizando um pêndulo elétrico.<sup>46</sup> Para isso é preciso colocar um corpo condutor aterrado atrás do pêndulo, como mostra a Figura 32.

Então, aproxime um objeto eletrizado do pêndulo, desta maneira haverá várias oscilações do disco de papel de alumínio do pêndulo entre o objeto eletrizado e o objeto condutor. Quando o objeto eletrizado é aproximado do disco do pêndulo, que está inicialmente neutro, o disco é atraído. Ao tocar no corpo carregado, o disco se eletriza e passa a ser repelido. Voa então no sentido da mão (ou do papel sulfite) que está do outro lado, toca nela, descarrega, e passa a ser novamente atraído pelo objeto carregado. Isso se repete várias vezes. Em alguns momentos, o disco começa a oscilar e sai da região entre os dois objetos, então é preciso posicioná-lo novamente e aproximar o objeto eletrizado. Note que tanto a mão quanto o papel sulfite na Figura 32 não tocam o disco de papel alumínio quando este disco está parado na vertical. Durante o experimento a mão e o papel sulfite devem ficar parados na mesma posição inicial.<sup>47</sup>

<sup>46</sup>Para uma descrição das componentes de um pêndulo elétrico e de como construí-lo, ver (ASSIS, 2010, p. 75-80 e 155-156, Seção 4.4: O Pêndulo Elétrico, e Seção 6.5: Componentes Fundamentais de um Versório, de um Pêndulo Elétrico e de um Eletroscópio).

<sup>47</sup>Este experimento também pode ser visto em Assis (2010, p. 88-9).



(a) Pêndulo elétrico com a mão colocada atrás do disco de papel alumínio.



(b) Pêndulo elétrico com uma folha de papel sulfite aterrada colocada atrás do disco de papel alumínio.

Figura 32: Pêndulos elétricos com objeto condutor aterrado atrás do disco de papel de alumínio.

### Considerações sobre os experimentos

Nestes experimentos, é fundamental que o objeto que irá oscilar seja de material condutor elétrico. Isso permite que ele seja visivelmente atraído, devido à grande polarização que adquire por influência do corpo eletrizado próximo a ele. Além disso, o fato do objeto oscilante ser condutor permite que seja eletrizado por contato, ao tocar o corpo carregado, e seja descarregado ao tocar um objeto condutor neutro (como a mão ou o papel sulfite). Esta sequência de eletrizações e descarregamentos é que é responsável pelo fenômeno descrito.

#### 4.2.2.3 4º Experimento

##### Experimento 4.8 - 4º Experimento

#### ✓ MATERIAIS UTILIZADOS

- |                            |                          |
|----------------------------|--------------------------|
| ⇒ Canudinhos de plástico   | ⇒ Penugem                |
| ⇒ Tubo de PVC              | ⇒ Papel sulfite          |
| ⇒ Semente de dente-de-leão | ⇒ Poliamida              |
| ⇒ Algodão                  | ⇒ Diversos: mesa, parede |

O objetivo do experimento é fazer um objeto pequeno (*e.g.*, uma penugem) flutuar no ar sob a influência de um corpo eletrizado (*e.g.*, canudo atritado). Para realizar o experimento, eletrize um canudo por atrito. Pegue uma penugem e solte no ar. Posicione o canudo eletrizado sob ela de forma que seja atraída por ele. Ao tocar o objeto carregado eletricamente, a penugem será eletrizada e ejetada para o alto. Essa ejeção pode demorar alguns segundos.<sup>48</sup> Então, o canudo atritado deve ser mantido sob a penugem, sem tocá-la, de forma que ela flutue no ar devido à repulsão elétrica. É preciso movimentar o canudo para que ele acompanhe a pena e ela permaneça flutuando. Desta forma, é possível levá-la pela sala “para lá e para cá” por meio do movimento do canudo atritado.<sup>49</sup>

Fizemos o experimento com uma penugem, uma semente de dente-de-leão e com um chumacinho de algodão. O tempo de queda para que caíam a distância de 1 metro, quando soltos no ar, é: a penugem de 1 cm levou cerca de 4-5 segundos; a semente de dente-de-leão cerca de 5 segundos; fizemos três chumacinhos de algodão, levando cerca de 3, 5 e 7 segundos para cair. Estas informações são dadas apenas para que leitor tenha uma ideia do peso dos objetos que utilizamos, o interessante é que tente fazer várias vezes buscando a melhor maneira para os materiais que tem disponível.

#### **Experimento 4.9** - *Com canudo atritado com poliamida*

A penugem e a semente de dente-de-leão, após serem soltas no ar, grudavam no canudo e para desgrudarem, em geral, era preciso dar alguns petelecos no canudinho. Então, se soltavam e flutuavam no ar sobre o canudo eletrizado. Com o algodão é preciso ter mais cuidado, pois o chumacinho pode se esfacelar com os petelecos e inviabilizar o experimento.

#### **Experimento 4.10** - *Com tubo de PVC atritado com poliamida*

A penugem e a semente de dente-de-leão, após serem soltas no ar, voavam para o tubo e: 1) algumas vezes tocavam no tubo e imediatamente saltavam para o alto, começando a flutuar sobre ele; 2) outras vezes grudavam no tubo, mas em poucos segundos se desgrudavam, por si só, e começavam a flutuar. Poucas vezes foi preciso dar petelecos

<sup>48</sup>Tal como discutimos no Experimento 4.5, muitas vezes a penugem gruda no objeto eletrizado, não sendo repelida para o alto. Nesta situação, às vezes ela se desgruda por si só após alguns segundos, mas em outros casos é necessário dar pequenos petelecos no canudo para que a penugem se solte e possa flutuar.

<sup>49</sup>Este experimento também é apresentado por Assis (2010, p. 66).

no tubo para que elas se desprendessem dele. Já os chumacinhos de algodão impuseram maior dificuldade para a realização do experimento, muitas vezes eles não desgrudavam do tubo e se esfacelavam com os petelecos.

### Considerações sobre os experimentos

Em todos os experimentos, com qualquer tipo de material, o objeto que flutua pode ser atraído por uma mão, parede, madeira ou nosso próprio corpo. Portanto, é preciso evitar que o objeto flutuante se aproxime deles. A partir desse experimento é possível fazer um objeto oscilar entre o corpo eletrizado e a mão, por exemplo. Conseguimos fazer isso com a mão e o tubo distantes até 10 cm, mas em outros momentos precisavam ficar bem mais próximos, cerca de 2 cm de distância, como foi descrito no Experimento 4.5. Há um vídeo na Web que descreve um experimento com material de baixo custo muito semelhante a este que fizemos aqui: <http://cienciatube.blogspot.com/2009/03/faca-voce-mesmo-fun-fly-stick.html>, acesso em: 18 mar. 2010. O vídeo está em inglês, mas não é difícil acompanhar e entender a montagem do experimento apenas pela imagem.

Do ponto de vista físico, o experimento envolve a interação entre corpos neutros e eletrizados. O experimento começa com a eletrização de um objeto por atrito (*i.e.*, canudo ou tubo). Quando a penugem, por exemplo, é solta no ar, ela está neutra e, portanto, é atraída pelo objeto eletrizado, por exemplo um tubo de PVC. Com o contato entre eles a penugem se eletriza com carga de mesma natureza que a do tubo, e por isso há repulsão elétrica entre eles. É essa repulsão elétrica que é responsável por fazer os objetos flutuarem. Uma vez que a penugem esteja eletrizada e flutuando, se for aproximada de algum corpo neutro (*i.e.*, parede, mão, mesa, etc.), haverá atração elétrica entre eles e a pena seguirá em direção ao referido corpo. Além da interação entre cargas elétricas, este experimento envolve processos de eletrização por contato, tanto por atrito quanto por simples toque, e eletrização por influência. Neste experimento, é fundamental que o objeto que irá flutuar seja de material condutor elétrico, para que possa ser fortemente atraído pelo objeto carregado e eletrizado por contato ao tocá-lo.

#### 4.2.2.4 5º Experimento

##### Experimento 4.11 - 5º Experimento



### ✓ MATERIAIS UTILIZADOS

- |  |   |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>⇒ Canudinhos de plástico</li> <li>⇒ Poste de sustentação</li> <li>⇒ Linhas de: poliamida, poliéster, algodão, cobre, seda.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>⇒ Papel sulfite</li> <li>⇒ Papel alumínio</li> <li>⇒ Chumbada de pesca</li> <li>⇒ Tesoura</li> </ul> |
|--|---|

O objetivo destes experimentos é analisar a interação elétrica entre um corpo eletrizado e um objeto condutor pendurado por uma linha (*i.e.*, “pêndulo elétrico”),<sup>50</sup> bem como se há diferença no comportamento do objeto quando preso a pêndulos aterrados ou isolados eletricamente.<sup>51</sup> Para isso foram feitos pêndulos elétricos com configurações diferentes. Inicialmente, foram feitos 4 fios para pêndulos elétricos com bolinhas de papel de alumínio, ou seja, a linha com uma bolinha de papel alumínio presa em uma de suas extremidades: 1) linha 100% algodão (de pipa); 2) linha 100% poliamida (de pesca)<sup>52</sup>; 3) linha 100% poliéster (de costura); 4) fio de cobre.<sup>53;54</sup> Os fios tinham cerca de 20 cm de comprimento. Todas as bolinhas de papel de alumínio foram feitas com pedaços de papel com cerca de 6 cm de comprimento por 3 mm de largura, para que tivessem aproximadamente o mesmo peso.<sup>55</sup>

Foram utilizados dois tipos de suporte para os pêndulos, ambos utilizavam o poste de sustentação com base de gesso e vareta vertical de palito de madeira, mas a haste

<sup>50</sup>Nesta subseção, por conveniência e para facilitar a escrita do texto, chamaremos de *pêndulo elétrico* qualquer instrumento que tenha um objeto condutor preso a uma linha e ambos presos a um suporte. Durante os experimentos descritos o tipo de material do suporte e da linha serão modificados para fazermos os testes. Chamamos a atenção do leitor para o fato de que o instrumento conhecido como *pêndulo elétrico* é construído com um pequeno objeto *condutor* preso a uma linha *isolante* e ambos presos a um suporte também *isolante* (ASSIS, 2010, p. 75);(GASPAR, 2005, p. 225);(RIPE, 1990, “*Eletrização por Contato*” e “*Material Para Experiências em Eletrostática*”). Segundo Assis (2010, p. 155), a linha (ou fio) de material isolante é fundamental, pois é ela, juntamente com o suporte isolante ao qual está presa, que deixa o instrumento isolado e impede a carga adquirida pelo pequeno objeto condutor durante o experimento de descarregar para a Terra.

<sup>51</sup>Uma discussão sobre o aterramento elétrico em experimentos de eletrostática pode ser encontrada em Assis (2010, p. 80).

<sup>52</sup>A linha de poliamida pode ser conseguida desfiando uma *meia calça feminina*. Como já dissemos, muitas delas são 100% poliamida. Caso o leitor opte por utilizar *linha de pesca*, deve procurar uma bastante fina, pois as mais grossas dificultam, ou até mesmo impedem, o movimento do pêndulo. Com isso, a oscilação da bolinha pode ser inviabilizada pela espessura da linha. Neste sentido, a linha retirada de *meia calça feminina* é mais profícua.

<sup>53</sup>A princípio, fizemos o pêndulo com um fio de cobre retirado de um fio de cobre flexível de 1,5 mm para instalação elétrica. Posteriormente, fizemos com um fio de cobre retirado de um “*cabinho*” (fio de cobre flexível vendido em lojas de eletrônica), por ser mais fino e, portanto, mais adequado ao experimento por

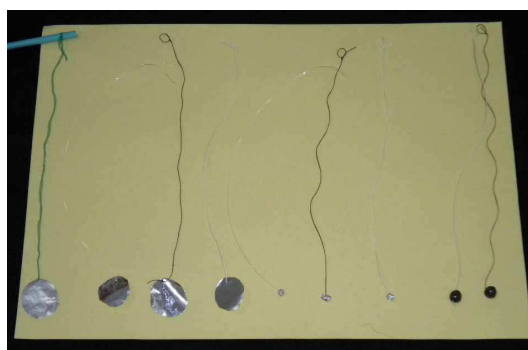


Figura 33: Alguns fios de pêndulos construídos. *Da esquerda para direita* - i) 4 pêndulos com disco de papel de alumínio: linha de poliamida (de “meia de seda”), linha de poliamida (linha de pesca), linha de seda, linha de algodão; ii) 3 pêndulos de bolinha de papel de alumínio: linha de poliamida (linha de pesca), linha de seda, linha de algodão; e iii) 2 pêndulos com chumbada de pesca (as menores encontradas no comércio): linha de algodão, linha de seda.

horizontal era diferente: 1) canudo de plástico; 2) colchete de aço tipo bailarina, ver a Figura 34.



Figura 34: Os dois suportes: à esquerda com canudo de plástico como haste horizontal e à direita com colchete de metal como haste horizontal.

Sendo assim, os quatro fios foram colocados em ambos os suportes (de metal e de plástico), um de cada vez, para verificar se haveria diferença na atração das bolinhas de papel alumínio pelo canudo eletrizado. A Figura 35 mostra um pêndulo completo utilizado por nós.

dar mais mobilidade ao objeto preso a ele.

<sup>54</sup>A linha de algodão e o fio de cobre são condutores elétricos para experimentos de eletrostática, já a linha de poliéster e a de poliamida são isolantes.

<sup>55</sup>Inicialmente, fizemos bolinhas com pedaços maiores de papel, no entanto bolinhas menores permitem uma melhor visualização dos fenômenos. Também realizamos os experimentos com disquinhos de papel alumínio (com diâmetro de 2 cm) e com pequenas chumbadas de pesca, em vez de bolinhas de papel alumínio. No entanto, as chumbadas não apresentaram bons resultados para os experimentos realizados, nos parecem muito pesadas para a eletrização dos canudos ou do tubo de PVC (atritados com poliamida ou papel), pois praticamente não se movimentam com a aproximação dos objetos eletrizados. As chumbadas utilizadas foram as menores que encontramos no comércio. A Figura 33 ilustra alguns dos fios de pêndulos



(a) Ilustração de um pêndulo completo. Neste caso, feito com um disco de papel alumínio.



(b) O poste de sustentação ao fundo é referência para verificar quanto o pêndulo se desloca em relação à posição inicial. A régua na figura é para dar noção de profundidade entre os dois postes.

Figura 35: Pêndulo.

Note que o fio de pêndulo preso ao suporte (poste de sustentação + haste horizontal) feito com haste horizontal de canudo plástico está isolado eletricamente, devido à presença do canudo, que é isolante. Já o fio preso ao suporte feito com haste horizontal de colchete de aço está aterrado, pois o colchete, a madeira, e o gesso são condutores elétricos para experimentos de eletrostática. No entanto, se este suporte estiver sobre uma base isolante (*e.g.*, um pedaço de isopor) todo o sistema estará isolado eletricamente, o que não queremos para este experimento. Um dos nossos objetivos é verificar se há diferenças no comportamento de um objeto condutor sob ação de um canudo eletrizado para pêndulos isolados e pêndulos elétricos aterrados.

Apresentamos agora os resultados obtidos a partir dos experimentos realizados com cada tipo de pêndulo elétrico. Primeiro, apresentamos os experimentos com os pêndulos feitos com haste horizontal de colchete de aço tipo bailarina, portanto condutora. Depois, com a haste horizontal de canudo de plástico, portanto isolante elétrico. Para realizar os experimentos, aproximamos um canudo eletrizado de cada pêndulo. O comportamento da bolinha de papel alumínio presa à linha de cada um deles é apresentado a seguir.

#### **Experimento 4.12** - *Haste horizontal de colchete de aço*

1) Pêndulo com linha de algodão. A bolinha de papel alumínio não foi repelida. Em todas as tentativas ela foi atraída, mesmo após o contato da bolinha com o canudo.

---

que construímos.

2) Pêndulo com linha de poliamida. A bolinha foi inicialmente atraída e, após contato com o canudo atritado, foi bem repelida. 3) Pêndulo com linha de poliéster. A bolinha foi inicialmente atraída e, após vários contatos com o canudo atritado, foi repelida. 4) Pêndulo com fio de cobre. A bolinha não foi repelida. Em todas as tentativas ela foi atraída, mesmo após o contato da bolinha com o canudo.

#### **Experimento 4.13** - *Haste horizontal de canudo de plástico*

1) Pêndulo com linha de algodão. A bolinha de papel alumínio não foi repelida. Em todas as tentativas ela foi atraída, mesmo após o contato da bolinha com o canudo. 2) Pêndulo com linha de poliamida. A bolinha foi inicialmente atraída e, após contato com o canudo atritado, foi bem repelida. 3) Pêndulo com linha de poliéster. A bolinha foi inicialmente atraída e, após vários contatos com o canudo atritado, foi repelida, talvez um pouco mais repelida do que no suporte de metal. 4) Pêndulo com fio de cobre. A bolinha não foi repelida. Em todas as tentativas ela foi atraída, mesmo após o contato da bolinha com o canudo.<sup>56</sup>

Devido aos resultados dos pêndulos de linha de algodão e cobre (ambos fios condutores) com o suporte de plástico (isolante), fizemos um novo teste. Utilizamos um pedaço de fio de poliamida (isolante elétrico) entre os fios de algodão e de cobre e o canudo de plástico da haste horizontal. Ou seja, um pedaço de linha de poliamida foi amarrada na ponta da haste horizontal do suporte, e a outra extremidade dessa linha foi presa aos fios de pêndulos, separadamente. Fizemos isso com a finalidade de certificar que os fios condutores dos pêndulos estavam de fato isolados eletricamente. No entanto, o resultado foi o mesmo, ou seja, as bolinhas de papel alumínio não foram repelidas pelo canudo atritado, mesmo após vários contatos entre eles.

#### **Considerações sobre os experimentos**

Os resultados evidenciam que os fios de cada material dos pêndulos apresentam o mesmo comportamento para ambas as hastes horizontais, tanto para a isolante quanto para a condutora. A partir disso, concluímos que a bolinha de papel alumínio é atraída sempre que o canudo atritado é aproximado dela, independentemente de o fio do pêndulo ser de material isolante ou condutor. No entanto, somente as bolinhas de papel alumínio

---

<sup>56</sup>Nos experimentos realizados, por diversas vezes, para que a bolinha fosse repelida após o contato com o canudo eletrizado, era preciso colocá-los em contato várias vezes seguidas. No caso da linha de poliamida, em algumas situações, foram necessários muitos contatos entre a bolinha e o objeto eletrizado para que ocorresse a repulsão. O leitor deve ficar atento à eletrização do canudo, verificando-a junto a um *versório*.

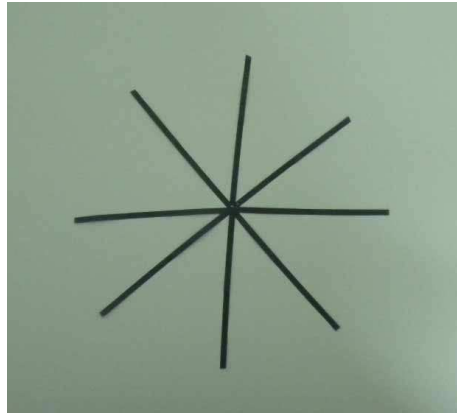
presas a fios isolantes são repelidas após o contato, ou seja, apenas com esse tipo de linha a bolinha pode entrar em oscilação com a aproximação do canudo atritado.

#### 4.2.2.5 9º Experimento

✓ MATERIAIS UTILIZADOS	
⇒ Canudinhos de plástico	⇒ Tubo de PVC
⇒ Poste de sustentação	⇒ Papel de seda
⇒ Palito de madeira	⇒ Diversos: tesoura, cola
⇒ Prendedores de roupa	

Inicialmente, tentamos realizar o experimento descrito por Gray com penas de vários tipos, desde as mais felpudas até aquelas com as cerdas mais rígidas. No entanto, as cerdas não tinham mobilidade suficiente para apresentarem um comportamento semelhante àquele que foi descrito por Gray. Sendo assim, fizemos um *instrumento* com canudos de plástico (ou varetas de madeira) e papel de seda para tentar demonstrar o referido fenômeno. O instrumento consiste em colar algumas tirinhas de papel de seda na ponta de um palito de madeira (condutor elétrico) ou de um canudinho de plástico (isolante elétrico). Para a montagem do instrumento, construímos algumas “*estrelas*” de tirinhas de papel de seda, como mostra a Figura 36(a).

Para fazer a estrela recortamos 8 tirinhas de cerca de 8 cm de comprimento por 2 mm de largura, então colamos todas por uma de suas extremidades, de tal forma que o ponto de colagem seja o centro da estrela. Após a secagem da cola, as estrelas foram coladas, pelo centro, em palitos de madeira e canudinhos de plástico, como mostra a Figura 36(b). É preciso ter cuidado no momento de colar a estrela na vareta ou no canudo, para que as tirinhas não fiquem colocadas/presas neles. Utilize pouca cola para que apenas o centro da estrela fique colado. Após a secagem, segure o instrumento na mão pela vareta/canudo e o chacoalhe. As tirinhas devem estar soltas, presas apenas pelo centro da estrela. Se assim não estiverem, o experimento não terá bom funcionamento. Este instrumento faz o papel da pena no experimento descrito por Gray. Inicialmente, tentamos colar as tirinhas direto no canudo ou no palito, uma a uma, mas não deu certo porque a cola demora para secar e isso dificulta o manuseio das tirinhas durante a colagem. Optamos por fazer



(a) Tirinhas de papel de seda (8 cm de comprimento) antes de serem colocadas no palito de madeira ou no canudo de refresco.



(b) Um exemplo dos instrumentos feitos com as tirinhas de papel de seda para os experimentos, neste caso com palito de madeira.

Figura 36: Ilustração dos instrumentos.

o experimento utilizando tanto canudos quanto palitos de madeira, para verificar se o comportamento das tirinhas mudaria sob a ação do tubo eletrizado quando presas a bases condutoras ou isolantes. Como já dissemos, para isso Gray utiliza uma pena, que segundo nossos testes iniciais são materiais condutores. Apesar disso, também optamos por fazer os testes com as tirinhas coladas em canudinhos. Os instrumentos foram presos a postes de sustentação (base de gesso + haste vertical de palito de madeira) ou em pedaços de isopor. Para fazer o experimento aproximamos um tubo de PVC eletrizado por cima das tirinhas (*i.e.*, pelo centro da estrela).

#### **Experimento 4.14** - *Tirinhas de papel de seda presas a palito de madeira*

Gray menciona que fixou a penugem em uma fenda na extremidade de uma vareta, mas não menciona nada sobre o local onde a vareta foi fixada. Então, por este motivo fizemos dois testes, um supondo a vareta aterrada e outro supondo a vareta isolada.

##### ***Com a vareta aterrada***

O aparato (palito de madeira + tirinhas de papel de seda) foi preso a um poste de sustentação, para isso utilizamos fita adesiva.<sup>57</sup> Ao aproximar o tubo atritado do centro da estrela (*i.e.*, por cima do aparato), as tirinhas sobem, em forma de guarda-chuva ao con-

<sup>57</sup>Como o objetivo aqui é que o instrumento esteja aterrado, é fundamental que o palito do poste de sustentação esteja em contato com o do instrumento. Além disso, o sistema não pode estar sobre uma base isolante, pois assim estaria isolado.

trário, e logo em seguida se abaixam,<sup>58</sup> ficando levemente afastadas do palito de madeira (cerca de 0,5 a 1 cm distantes do palito) enquanto o tubo permanece próximo à extremidade superior do instrumento (*i.e.*, do centro da estrela). Ao retirar o tubo, afastando-o do aparato, todas as tirinhas voltam à posição inicial, como ilustra a Figura 37.<sup>59</sup>

Em nossos testes não foi possível manter as tirinhas em pé, em forma de guarda-chuva ao contrário, com o tubo próximo ao centro da estrela. Em todos os testes elas se levantavam e caíam imediatamente. Às vezes, quando o tubo estava bem próximo à ponta do palito, acontecia de uma ou outra tirinha permanecer em pé por alguns segundos, mas não era comum acontecer.<sup>60</sup>

### *Com a vareta isolada*

<sup>58</sup>Após levantarem, elas se abaixam independentemente de tocarem ou não o tubo. Algumas vezes, é preciso aproximar bastante o tubo ao aparato para que as tirinhas se levantem. Devido à pequena distância entre o tubo e o aparato, as tirinhas acabam tocando o tubo ao se levantarem. Mas muitas vezes as tirinhas se levantam com o tubo colocado a uma distância que permite a elas levantarem sem tocá-lo. Mesmo assim, após se levantarem, caem imediatamente.

<sup>59</sup>Uma possível explicação para o fenômeno. Vamos dividi-lo em duas partes: i) a subida e descida das tirinhas quando o tubo é aproximado; e ii) as tirinhas ficarem distantes da vareta, ou seja, um pouco levantadas, com a presença do tubo sobre o instrumento.

i) Ao aproximar o tubo atritado do centro da estrela (*i.e.*, por cima da extremidade superior do instrumento) ocorre uma grande concentração de cargas elétricas, de natureza contrária a do tubo, naquela região. Isso faz com que as tirinhas sejam atraídas e se levantem em direção ao tubo. Mas ao chegarem na posição de guarda-chuva invertido, ou seja, com as tiras apontando para o tubo, ocorre uma descarga elétrica e elas imediatamente caem. Isso ocorre porque em um primeiro momento a concentração de carga nas tirinhas faz com que a força elétrica de atração entre elas e o tubo seja maior do que a força peso, portanto elas sobem. Mas, quando se aproximam ou tocam o tubo, ocorre uma descarga elétrica. Com isso a força elétrica de atração passa a ser menor que a força peso e elas caem.

ii) Após caírem, a permanência do tubo próximo da ponta do instrumento, faz com que haja uma certa concentração de carga elétrica, oposta à do tubo, na extremidade superior do instrumento, de tal forma que tanto as tirinhas quanto a parte de cima do palito têm carga oposta à do tubo. Com isso: a) ocorre atração entre as tiras e o tubo; b) ocorre repulsão elétrica entre as tiras e palito, pois todos têm cargas de mesma natureza. Ou seja, as tiras ficam levantadas devido tanto à atração em relação ao tubo, quanto à repulsão em relação ao palito. Na medida em que o tubo é afastado do sistema, este volta a ficar neutro, uma vez que está aterrado, por isso as tiras caem e voltam para a posição inicial, *i.e.*, não estão mais afastadas do palito.

<sup>60</sup>Com este experimento percebemos que o tecido sobre a superfície em que o experimento está sendo feito pode influenciar no experimento, *e.g.*, quando trabalhamos sobre uma mesa forrada. Em um determinado teste a mesa estava forrada com *TNT* (“*tecido não-tecido*”). Percebemos que as tirinhas não abaixavam completamente quando o tubo era afastado. Mas isso não deveria acontecer, pois já tínhamos feito esse teste em outras ocasiões e o comportamento tinha sido outro. A primeira hipótese para a mudança de comportamento, também com base em outros testes que já tínhamos realizado, foi a de que o sistema não estava aterrado. Então, repetimos o experimento várias vezes com o aparato no chão (portanto aterrado), na mesa sem forro e na mesa forrada com *TNT*. Concluímos que quando o experimento é realizado sobre o *TNT* o sistema conservava carga após o tubo eletrizado ser afastado do centro da estrela. Então, fizemos o teste para verificar se o *TNT* seria condutor ou isolante elétrico, sendo que se comportou como isolante. Sendo assim, quando a mesa estava forrada com *TNT* o sistema não estava aterrado. O *TNT* pode ser feito de fibras naturais (*e.g.*: algodão, lã) ou sintéticas (*e.g.*: poliéster, polipropileno). Portanto, pode ser tanto condutor quanto isolante, dependendo da sua composição. Este fato serve para ilustrar que nada, a princípio, pode ser considerado banal nesses experimentos, pois elementos que parecem comuns mudam completamente o experimento.

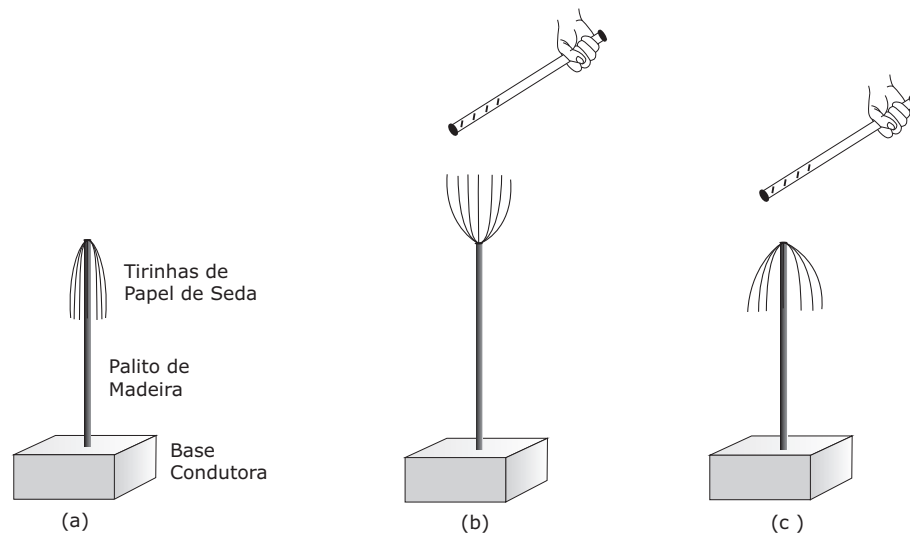


Figura 37: Ilustração do comportamento das tirinhas de papel de seda (8 cm) presas ao palito de madeira quando colocado sobre uma base condutora. (a) Instrumento na conformação de repouso. (b) Quando o tubo é aplicado sobre o instrumento, as tirinhas levantam-se em forma de guarda-chuva ao contrário, e imediatamente caem. (c) Enquanto o tubo permanece sobre o instrumento, as tirinhas ficam erguidas em forma de guarda-chuva. Se o tubo for retirado, o instrumento volta para a conformação da letra (a). É importante destacar que nesta ilustração o *tubo eletrizado* está indicado com cargas elétricas negativas porque é um tubo de PVC atritado com poliamida, diferentemente da maioria das figuras desta tese em que o tubo eletrizado ilustrado é de vidro.

Neste teste a vareta do instrumento (na qual estava presa a estrela de tirinhas de papel de 8 cm) estava sobre uma base isolante.<sup>61</sup>

Ao aproximar o tubo do centro da estrela (*i.e.*, por cima do instrumento), apenas algumas delas (2 ou 3) se levantavam em forma de guarda-chuva ao contrário, mas em seguida caíam, ficando levantadas radialmente junto às outras. As tirinhas ficavam nesta posição mesmo após a retirada do tubo eletrizado das proximidades do instrumento, ver a Figura 39(b).<sup>62</sup>

Quando o tubo eletrizado era aproximado novamente ao aparato, com a estrela levantada radialmente, as tirinhas se abaixam um pouco. Isso mostra que a carga líquida

<sup>61</sup>Há várias formas de fazer isso, por exemplo: i) inserindo o palito de madeira do instrumento elétrico em um pedaço de isopor; ii) utilizando um poste de sustentação, para isso coloque um canudo de plástico entre o palito do instrumento e o do poste, de tal forma que os palitos não se toquem e fiquem distantes um do outro. Utilize canudos rígidos com diâmetro igual ao do palito, para que este possa ser inserido dentro do canudo. Lembre-se que o poste de sustentação é condutor, se os dois palitos não ficarem distantes um do outro dentro do canudo, pode haver descarga elétrica entre eles e o experimento pode não funcionar. Ver Figura 38.

<sup>62</sup>Uma possível explicação para o fenômeno é apresentada a seguir. Quando o tubo é aproximado, pode ocorrer uma descarga elétrica. Portanto, a carga líquida do instrumento passa ser de mesma natureza que a do tubo. Na medida em que o tubo é afastado, ocorre uma redistribuição nas cargas de forma que o objeto como um todo fica carregado com o mesmo tipo de carga. Sendo assim, há repulsão elétrica entre as próprias tirinhas e entre elas e a vareta de madeira.



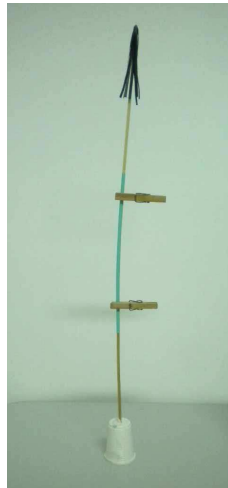


Figura 38: Ilustração do aparato isolado com canudo de plástico. Na parte inferior temos um poste de sustentação, ao meio temos um canudo de plástico, na parte superior um instrumento elétrico. Os dois prendedores de roupa marcam a posição em que estão as extremidades dos palitos de madeira inseridos no canudo. Observe a distância que há entre a extremidade de cada palito dentro do canudo.

das tirinhas é de mesma natureza que a do tubo. Mas, para ver esse fenômeno é preciso aproximar o tubo do aparato com cuidado, pois se ele for aproximado demais as tirinhas são atraídas novamente.<sup>63</sup> Sendo assim, existe uma certa distância em que é possível ver as tirinhas erguidas se abaixarem um pouco com a aproximação do tubo por cima. Esta distância depende da eletrização do tubo e das tirinhas, não só da eletrização inicial, mas também da perda de carga com o tempo. Dessa forma, ela muda a todo momento. Por isso, é preciso realizar o experimento repetidas vezes para que possa ser possível ver o fenômeno descrito aqui. Neste experimento as tirinhas ficam mais levantadas do que no experimento anterior, quando o tubo está próximo à ponta do palito no sistema aterrado.

#### **Experimento 4.15** - *Tirinhas de papel de seda presas ao canudo de plástico*

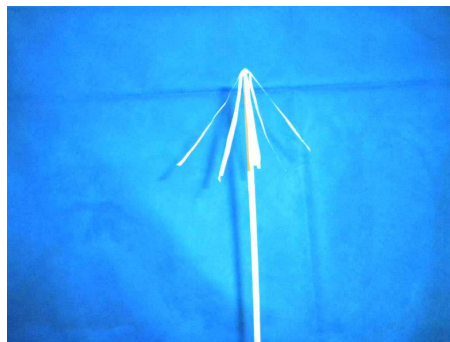
Nesta conformação do instrumento as tirinhas estão presas a uma haste de material isolante. Quando o tubo é aproximado por cima (*e.g.*, no centro da estrela), as tirinhas se erguem em forma radial, mas pouco. Algumas vezes, só ocorre movimento das tirinhas se o tubo eletrizado estiver praticamente encostado na extremidade superior do canudo de refresco (*e.g.*, no centro da estrela).<sup>64</sup>

<sup>63</sup>Para distâncias muito pequenas é possível que ocorra atração elétrica entre dois corpos carregados com cargas de mesma natureza (ASSIS, 2010, p. 131 e 205-10).

<sup>64</sup>Uma possível explicação para o fenômeno. Este comportamento das tirinhas de papel pode estar relacionado ao fato de estarem fixadas em uma haste isolante, portanto haveria menos carga disponível nas tirinhas e a força elétrica entre elas e o tubo seria menor. Dissemos que há menos carga em relação à situação quando elas estão presas ao palito de madeira, pois por ser um condutor ele disponibilizaria



(a) Aparato completo antes da aplicação do tubo atritado. Na parte inferior há um poste de sustentação, no meio um canudo plástico utilizado para isolar a parte superior, acima do canudo temos o palito de madeira com a estrela na sua ponta de cima.



(b) Estrela (com tirinhas de 8 cm) levantada de forma radial após a aproximação do tubo de PVC eletrizado com poliamida. O tubo não está nas proximidades do instrumento.

Figura 39: Instrumento e seu comportamento após o afastamento do tubo eletrizado.

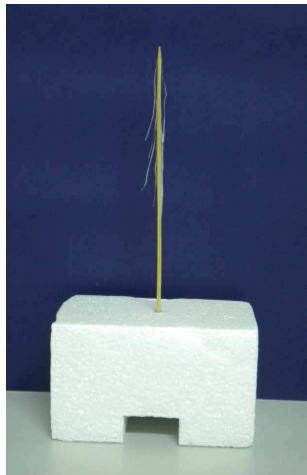
#### **Experimento 4.16** - *Tirinhas de papel de seda presas ao longo do palito de madeira*

Também fizemos um instrumento diferente do anterior. Em vez de colar as tirinhas na ponta do palito de madeira, as colamos ao longo dele em lados opostos, como mostra a Figura 40.

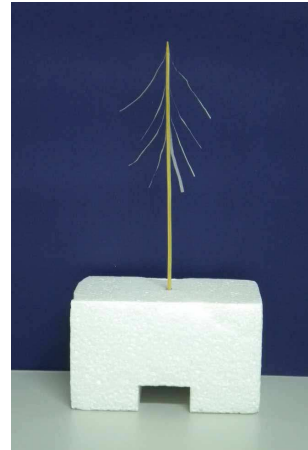
Fizemos testes com o instrumento isolado eletricamente e com ele aterrado. Com o aparato isolado, aproximamos o tubo de PVC atritado com poliamida da ponta do palito (*i.e.*, por cima), as tirinhas de papel de seda se levantaram. As duas tirinhas de cima se levantaram em direção ao tubo (*i.e.*, as extremidades das tirinhas subiram e apontaram para o tubo) e imediatamente caíram. Então, todas elas ficam erguidas em relação à posição inicial. Na medida em que o tubo é afastado do palito as tirinhas permanecem levantadas, como mostra a Figura 40(b). Com o aparato aterrado, aproximamos o tubo de PVC atritado da ponta do palito de madeira, as tirinhas de papel de seda se levantaram. Entretanto, não se levantaram tanto quanto no aparato isolado. As duas primeiras tirinhas levantam bem, o segundo par levanta menos e os dois pares de baixo praticamente não levantam. Na medida em que o tubo é afastado do palito as tirinhas se abaixam, voltando à posição inicial.

---

mais cargas para as tirinhas no momento da interação com o tubo eletrizado, tendo, assim, mais cargas disponíveis nas tirinhas para a interação elétrica com o tubo.



(a) Aparato sobre uma base isolante de isopor.



(b) Aparato após contato do tubo de PVC eletrizado com poliamida na ponta do palito de madeira.

Figura 40: Instrumento elétrico e seu comportamento após a aproximação do tubo.

### Considerações sobre os experimentos

Com estes experimentos conseguimos fenômenos que ilustram o que fora descrito por Gray. Concluimos que o fenômeno só ocorre para uma vareta condutora, pois no caso dos experimentos com canudo de plástico como haste vertical as tirinhas praticamente não se movimentaram. No caso de a vareta ser condutora, o fenômeno ocorre tanto com ela em base isolante quanto condutora, sendo que para obter os resultados descritos por Gray há duas possibilidades: i) com a vareta que segura a pena colocada em uma base isolante, então o fenômeno descrito pode ser visto tanto com a presença do tubo nas proximidades da pena quanto sem a presença do tubo; ii) com a vareta que segura a pena colocada em uma base condutora, só é possível ver o fenômeno com o tubo colocado próximo à pena.

#### 4.2.2.6 10º Experimento

##### ✓ MATERIAIS UTILIZADOS

- |                          |                  |
|--------------------------|------------------|
| ⇒ Canudinhos de plástico | ⇒ Papel alumínio |
| ⇒ Poste de sustentação   | ⇒ Papel de seda  |
| ⇒ Tubo de PVC            | ⇒ Papel sulfite  |

### Experimento 4.17 - 10<sup>o</sup> Experimento

No 10<sup>o</sup> Experimento Gray aponta diferença na atração de uma penugem pelo tubo de vidro eletrizado quando solta no ar ou quando colocada sobre uma mesa. O experimento que fizemos para verificar a distância que uma penugem é atraída quando colocada sobre uma mesa ou solta no ar foi descrito nos Experimentos 4.1 e 4.2 à página 100 desta tese. Os resultados destes experimentos mostram que tanto a penugem quanto a semente de dente-de-leão são atraídas a uma distância maior quando soltas no ar do que quando colocadas sobre uma folha de papel sulfite.

Aqui, testamos atração de dois pequenos discos de papel (um de papel de seda e outro de papel alumínio com 1 cm de diâmetro) por um canudo eletrizado, em situações distintas. Utilizamos o mesmo procedimento descrito no Experimento 4.2. Os dois discos (papel de seda e de alumínio) apresentaram movimento (*i.e.*, foram atraídos) com o canudo à distância de 1,5 a 3 cm. Neste experimento, por várias vezes acontecia de os discos oscilarem (ricochetearem) algumas vezes entre o canudo e o papel sulfite. Este movimento de ida e volta do disco entre o canudo atritado e o papel sulfite era bem rápido e durava pouco tempo, pois após alguns ricochetes o disco saía do espaço entre o canudo e o papel sulfite. Este fenômeno foi descrito no Experimento 4.7 à página 108 desta tese.

Fizemos, ainda, um outro experimento sobre esta temática utilizando um pêndulo elétrico. Para isso, colocamos uma folha de papel sulfite encostada no pêndulo, como mostra a Figura 41.



(a) Pêndulo com papel sulfite. O papel sulfite está aterrado pois a base é de gesso e palito de madeira.



(b) Pêndulo e papel sulfite.

Figura 41: Instrumento elétrico e seu comportamento após a aproximação do tubo.

Fizemos o experimento com dois pêndulos distintos, um feito com um disco de papel de seda e outro com disco de papel alumínio, ambos com 1 cm de diâmetro. Utilizamos o mesmo procedimento feito para aferição da eletrização dos materiais (Experimento 2.1 à página 51 desta tese). Colocamos uma régua sobre a mesa com o marco zero embaixo do pêndulo, com ele ainda na vertical. Então, colocamos o canudo atritado (com papel ou poliamida) sobre a marca de 30 cm da régua, na altura do disco. Em seguida, o canudo foi movimentado lentamente em direção ao pêndulo, aproximando-o do disco. Assim que o disco se movimentava, cessávamos o movimento do canudo e olhávamos na régua para ver a distância entre o canudo e a posição inicial do pêndulo (marco zero da régua). Fizemos o experimento com o pêndulo encostado em uma folha de papel sulfite aterrada e sem a folha. Sem a folha de sulfite encostada no disco, o disco de papel de alumínio, em geral, começava a se mover com o canudo à distância de 8 a 10 cm. Já o pêndulo de papel de seda, em geral, apresentava movimento com o canudo à distância de 6 a 7 cm. Com a folha de sulfite encostada no disco, o disco de papel de alumínio, em geral, começava a se mover com o canudo à distância de 13 a 15 cm. Já o pêndulo de papel de seda, em geral, apresentava movimento com o canudo à distância de 11 a 12 cm. Neste experimento, algumas vezes acontecia dos discos oscilarem (ricochetearem) algumas vezes entre o canudo e o papel sulfite. Para isso acontecer era preciso que o canudo eletrizado estivesse bem próximo do papel sulfite, cerca de 1 cm.

#### 4.2.2.7 10º Experimento [sic]

##### Experimento 4.18 - 10º Experimento [sic]

✓ MATERIAIS UTILIZADOS	
⇒ Canudinhos de plástico	⇒ <i>Versório</i>
⇒ Tubo de PVC	⇒ Ímã
⇒ Agulha de bússola	⇒ Base de um <i>versório</i>

Para verificar a interação de um objeto eletrizado com a agulha de uma bússola há duas opções. i) Desmontar uma bússola e utilizar sua agulha, colocando-a sobre uma base de *versório* (ver a Figura 4(a) à página 44 desta tese). ii) Magnetizar a agulha de um *versório* feito com colchete de aço tipo bailarina. Para magnetizar o colchete é preciso

esfregá-lo em um ímã, sempre no mesmo sentido, várias vezes (RIPE, 1990, “*Versorium de Gilbert*”). Em ambas as situações, deve-se pegar um canudo de plástico eletrizado e aproximar da agulha, o que ilustrará o fenômeno discutido por Gray, ou seja, o movimento da agulha magnetizada.

## 5 Tradução 2

### 5.1 Tradução 2 - Uma Descrição de Alguns Experimentos Elétricos Novos

Observei<sup>1;2;3</sup> frequentemente nos experimentos elétricos feitos com um tubo de vidro [atritado] e uma penugem presa à extremidade de uma vareta, que após as fibras [da pena] serem atraídas em direção ao tubo, quando ele era retirado [dali], a maioria [das fibras] era atraída pela vareta, como se ela [isto é, a vareta] fosse um corpo elétrico, ou como se alguma eletricidade tivesse sido [p. 105] comunicada à vareta ou à penugem. Isto colocou-me a pensar que se uma penugem fosse *puxada entre os meus dedos*,<sup>4</sup> se ela não poderia produzir o mesmo efeito, por adquirir algum grau de eletricidade. Isto ocorreu com êxito conforme meu primeiro teste, [com] as pequenas fibras felpudas da penugem próximas à sua haste (*quill*) sendo atraídas pelo meu dedo quando colocado próximo a ela.<sup>5</sup> Às

<sup>1</sup>Tradução do texto: (GRAY, 1720-1, p. 104-107).

<sup>2</sup>O *texto original* em inglês apresenta várias palavras iniciadas com letra maiúscula no meio das frases, as quais optamos por grafar com letra minúscula para facilitar a leitura. Além disso, a pontuação gramatical foi alterada para facilitar a sua compreensão.

<sup>3</sup>Os destaques em *italico* no texto são dos tradutores, assim como as palavras entre colchetes. Os colchetes [p. ] indicam a página original do texto em inglês.

<sup>4</sup>É importante o leitor se atentar para esta forma de promover o atrito. Gray mencionará, ao longo deste texto, vários objetos atritados desta maneira, mas sem mencionar novamente este procedimento.

<sup>5</sup>Ao longo desta tradução, Gray classificará como “*elétricos*” (ou seja, materiais denominados como *isolantes elétricos* nos dias atuais) alguns materiais que consideramos *condutores elétricos*, *e.g.*, pena, linho, couro, papel, madeira. Gray apresenta uma lista com esses materiais à página 130 desta tese; já a nossa classificação pode ser encontrada no Experimento 5.1 à página 131 desta tese. Tendo em vista esta diferença no comportamento elétrico dos materiais, levantamos algumas hipóteses explicativas a seguir.

Por exemplo, nossos experimentos mostram que tanto o cabo quanto as cerdas de uma pena são materiais condutores elétricos (ver Experimento 2.2 à página 57 desta tese). Logo, se supormos que a pena que Gray utilizava era condutora, ele teria que segurá-la por meio de algum material isolante na mão para obter o resultado descrito. Este procedimento foi feito por nós quando da realização do Experimento 5.2, à página 133 desta tese. Uma segunda hipótese explicativa seria a de que a pena que Gray utilizava tinha o cabo isolante, diferentemente daquelas que testamos em nosso experimento. Entretanto, há outros materiais que consideramos como condutores e que Gray classifica com “*elétricos*” (ou seja, materiais denominados como *isolantes elétricos* nos dias atuais). Sendo assim, a hipótese de que tais materiais eram segurados por meio de um material isolante parece ser mais plausível.

Por outro lado, Gray menciona neste texto que em alguns momentos os materiais eram aquecidos antes de serem testados. O aquecimento auxilia bastante na alteração do comportamento elétrico dos materiais,

vezes, a parte superior da pena, com sua haste (*stem*), era atraída também, mas nem sempre com o mesmo sucesso. Então, prossegui para verificar se cabelo não poderia ter a mesma propriedade, pegando um [fio] da minha peruca e puxando-o 3 ou 4 vezes entre os meus dedos, ou melhor, [puxando-o] entre meu polegar e meu indicador, logo notei [que] ele vinha para o meu dedo à distância de meia polegada [1,3 cm]. Logo depois, descobri que o pelo fino de uma orelha de cachorro era fortemente elétrico. Pegando a orelha [de um cachorro] e puxando-a entre os meus dedos, grande número de [pelos] foi atraído para os meus dedos imediatamente. Neste momento, estava no interior [da Inglaterra] e não fiz nenhum teste adicional até meu retorno para Londres (ocorrido em meados de novembro passado), e tendo repetido os [experimentos] que mencionei anteriormente, as próximas coisas que pensei em [testar] foram linhas de seda de várias cores e de várias espessuras (*finenesses*), as quais descobri serem todas elétricas, mas algumas vezes não fui bem sucedido [nos experimentos]. Encontrei posteriormente a razão para isso, tal como aparecerá na sequência deste discurso.

Tendo sucedido tão bem nesses [experimentos já relatados], prossegui para [experimentos com] quantidades maiores dos mesmos materiais, como pedaços de fitas (*ribbon*) de seda, grosseira ou fina, de várias cores. Com isso, descobri que pegando um pedaço de qualquer uma dessas [fitas de seda] de aproximadamente meia jarda [46 cm] de comprimento, e segurando [uma das suas] extremidades em uma mão e puxando-a através da minha outra mão, entre meu polegar e [meus] dedos, ela adquiria uma eletricidade. De [tal] modo que, se a mão fosse colocada próxima da [p. 106] extremidade inferior [da fita de seda], ela seria atraída pela mão à distância de 5 ou 6 polegadas [13 ou 15 cm], mas algumas vezes a eletricidade era muito mais fraca do que em outras [oportunidades]. Presumo que a razão disso é que a tira [de seda] poderia ter absorvido algumas partículas aquosas do ar úmido, o que descobri ser [verdade] ao testar a ocorrência disso, [pois] quando tinha aquecido bem a fita [de seda] junto ao fogo, ela nunca falhou [em tornar-se] fortemente elétrica.

Depois disso, fiz o teste de vários outros corpos, [tal] como linho de vários tipos, a saber, holanda (*holland*), musselina (*musling*), etc., e lã, [bem] como de vários tipos de tecidos e outras coisas (*stuff*) dos mesmos materiais. A partir destes [materiais] passei para o papel, tanto branco quanto pardo, descobrindo [que] eles, depois de terem sido bem aquecidos antes do atrito, emitem copiosamente seus eflúvios elétricos. O próximo corpo

---

fazendo com que um condutor elétrico passe a se comportar como isolante. Desta forma, ao aquecer os materiais, Gray poderia estar mudando o seu comportamento elétrico e obtendo resultados diferentes daqueles que obtivemos com os materiais à temperatura ambiente no Experimento 5.1, à página 131 desta tese.



em que encontrei a mesma propriedade foi [um] fino pedaço de madeira, [sendo que,] testei apenas pedaços de abeto,<sup>6</sup> os quais são fortemente elétricos. As três últimas substâncias que encontrei possuírem a mesma propriedade são: couro, pergaminho e aquelas finas tripas nas quais é batida folha de ouro.

Todos esses corpos não serão apenas atraídos para a mão pela eletricidade deles, ou [por] qualquer outro corpo sólido que estiver próximo a eles; mas atrairão para si todos os corpos pequenos, [tal] como outros corpos elétricos fazem, e isso, algumas vezes, à distância de 8 ou 10 polegadas [20 ou 25 cm]. Aquecendo-os junto ao fogo antes de atritar aumenta [em] muito a sua força [atrativa].

Existe outra propriedade em alguns desses corpos, a qual é comum ao vidro, [a saber,] que quando eles são atritados no escuro, há uma luz [que] segue os dedos pelos quais eles são puxados. Isto [ocorre] segurando tanto seda quanto linho, mas é mais forte em pedaços de papéis brancos prensados, que são similares a papel cartão. Isso não apenas produz uma luz, como [mencionado] acima, mas quando os dedos são colocados próximos a ele [isto é, próximos ao papel ou a algum desses corpos], procede uma luz a partir deles [a saber, a partir dos dedos] com um estalido [p. 107] como aquele produzido por um tubo de vidro, embora não à tão grande distância dos dedos. Para apresentar isso, o papel deve ser aquecido antes de ser atritado, [ficando] tão quente quanto os dedos possam tolerar.

Uma penugem foi presa à extremidade de uma fina linha de seda natural,<sup>7</sup> e a outra extremidade [da linha foi presa] a uma vareta, a qual foi fixada a uma base, [de tal forma] que [a vareta] pudesse ficar de pé [em posição vertical] sobre a mesa. Peguei um pedaço de papel pardo, o qual foi tornado fortemente elétrico pelo método mencionado acima,<sup>8</sup> [e] segurando-o próximo da penugem, ela veio [em direção] ao papel. [Com isso,] a conduzi [por meio do movimento do papel] até que ficasse quase perpendicular à vareta. Então, levantei minha mão até que o papel fosse levado para [cima] além da penugem,<sup>9</sup> a linha estava estendida e ficou em pé no ar, como se fosse um pedaço de arame [ou fio rígido], embora a penugem estivesse distante do papel cerca de uma polegada [2,5 cm].<sup>10</sup> Se o dedo [da mão que não segura o papel] fosse colocado próximo da penugem nessa posição,

<sup>6</sup>Tipo de madeira.

<sup>7</sup>A *linha de seda* é um material isolante para estes experimentos de eletrostática.

<sup>8</sup>Isto é, o papel foi inicialmente aquecido junto ao fogo e, em seguida, foi atritado sendo puxado entre os dedos.

<sup>9</sup>Isto é, que o papel ficasse mais alto que a penugem.

<sup>10</sup>Uma ilustração deste experimento pode ser vista na Figura 42. Segundo Assis (2010, p. 82), esta é a descrição mais antiga que se conhece do pêndulo elétrico. Experimentos com o pêndulo elétrico (ou eletrostático) feitos com material de baixo custo podem ser encontrados em (ASSIS, 2010, p. 75);(GASPAR, 2005, p. 225).

a maior parte das [suas] fibras próximas ao papel seria *repelida* [pelo dedo], [mas] se ao mesmo tempo um dedo fosse colocado [próximo] às fibras que estavam mais distantes do papel, elas seriam *atraídas* por ele.<sup>11</sup>

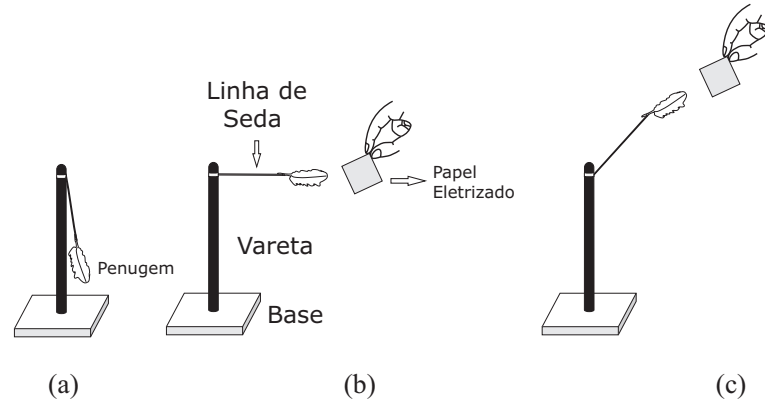


Figura 42: (a) Base, vareta e penugem pendurada por uma linha de seda. (b) Papel eletrizado (atrito) atraindo a penugem. A penugem e a linha ficam perpendiculares à vareta. (c) O papel eletrizado está além da penugem (*i.e.*, mais alto do que ela) e a linha estendida como um pedaço de arame. Figura adaptada de (ASSIS, 2010, p. 83, Figura 4.21).

Então, repeti este experimento sem a penugem, a saber, apenas com uma linha de seda com cerca de 5 ou 6 polegadas [13 ou 15 cm] de comprimento, a qual foi deixada estendida de pé como mencionado acima, sem tocar o papel [atrito]. Então, colocando meu dedo próximo à extremidade [da linha], ela [o] evitava, ou era repelida por ele, mas quando coloquei meu dedo aproximadamente à mesma distância de uma parte da linha que estava a cerca de duas polegadas [5 cm] da extremidade, ela foi, então, atraída por ele.<sup>12</sup>

Uma enumeração dos vários corpos mencionados nesta [carta] que encontrei serem elétricos:

<sup>11</sup>Apresentamos a seguir uma possível explicação para o comportamento das fibras da penugem. Na medida em que o papel eletrizado é aproximado da pena, há uma redistribuição de cargas nela. Desta forma, a região da pena mais próxima ao papel teria uma maior concentração de cargas opostas às dele, e a região mais distante teria uma concentração maior de cargas de mesma natureza que as cargas do papel. Quando o dedo é colocado próximo ao papel eletrizado, ele também ficaria eletrizado com cargas de sinal oposto ao do papel. Portanto, haveria repulsão entre as cargas do dedo e as cargas das fibras que estão mais próximas do papel eletrizado. Quando o dedo é colocado mais distante do papel eletrizado, ele tende a ficar neutro. Mas ao aproximá-lo das fibras mais afastadas do papel, que estão eletrizadas com cargas de mesmo sinal que as cargas do papel, estas fibras eletrizadas induziriam cargas opostas no dedo, ocasionando uma atração entre estas fibras e o dedo.

<sup>12</sup>Uma ilustração deste experimento pode ser vista na Figura 43.

Uma hipótese explicativa para o fato de a linha de seda ser atraída pelo objeto eletrizado, apesar de ela ser um material isolante elétrico para experimentos de eletrostática, é que pode ter ocorrido a polarização elétrica na linha. Desta forma, a extremidade da linha mais próxima ao objeto eletrizado teve um acúmulo de cargas elétricas de natureza oposta às cargas do objeto. O Experimento 5.3, descrito à página 135 desta tese, corrobora nossa hipótese, pois evidencia que uma linha de seda presa a um palito de madeira é atraída por um tubo de PVC atritado colocado próximo a ela. As Figuras 46 e 48, às páginas 137 e 139 desta tese, ilustram o fenômeno.

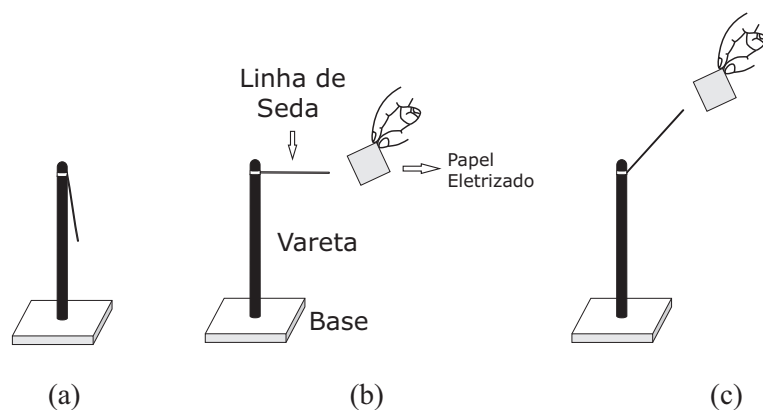


Figura 43: (a) Base, vareta e linha de seda pendurada. (b) Papel eletrizado (atrito) atraindo a linha de seda, a qual está quase perpendicular à vareta. (c) O papel eletrizado está além da linha de seda (*i.e.*, mais alto do que ela). Figura adaptada de (ASSIS, 2010, p. 201, Figura 7.27).

(1) Penas, (2) cabelo/pelo (*hair*), (3) seda, (4) linho, (5) lã, (6) papel, (7) couro, (8) madeira, (9) pergaminho, (10) tripas de boi, nas quais é batida folha de ouro.

## 5.2 Experimentos

### 5.2.1 Introdução

Nesta seção descrevemos a reprodução de alguns experimentos sobre eletrização que Gray realizou com diferentes tecidos. Reproduzimos, também, experimentos sobre o *pêndulo elétrico* que Gray fez com uma vareta de madeira e uma linha de seda com uma penugem presa à extremidade. Cabe destacar que Gray denominou este instrumento de *linha pendular*, como discutimos na seção 2.4 (*Sobre a “linha pendular” e a “linha branca”*), à página 60 desta tese.

### 5.2.2 Experimentos com Materiais Acessíveis

**Experimento 5.1** - *Verificando a condutividade dos materiais*

✓ MATERIAIS UTILIZADOS	
⇒ Canudinhos de plástico	⇒ Eletroscópio
⇒ Papel sulfite	⇒ Pêndulo elétrico
⇒ Tubos de PVC	⇒ Tecidos (Tabela 4)
⇒ Borracha dura	⇒ Outros (Tabela 5)

O primeiro passo foi realizar um teste para verificar se os materiais são condutores ou isolantes elétricos. Para isso, realizamos o experimento em que o material a ser testado é encostado em um eletroscópio carregado.<sup>13</sup> O resultado do teste pode ser visto nas Tabelas 4 e 5. Nestas Tabelas, colocamos uma coluna denominada “*Tempo*”, que é o tempo que a tirinha de papel de seda do eletroscópio leva para abaixar completamente quando o material em teste está em contato com a cartolina do instrumento elétrico. Este tempo é importante porque a definição de condutores e isolantes que utilizamos nesta

<sup>13</sup>O eletroscópio carregado tem sua tirinha de papel de seda levantada. Seguramos uma extremidade do material a ser testado com nossa mão. A outra extremidade do material é então encostada na cartolina do eletroscópio carregado. Caso a tirinha do eletroscópio permaneça de pé por mais de 30 s, o material é classificado como isolante. Caso a tirinha se abaixe rapidamente (em menos de 5 s), o material pode ser classificado como condutor para os objetivos desta tese. Se ela abaixar entre 5 e 30 s, o material pode ser classificado como mau condutor ou como mau isolante (também chamados de condutores ou isolantes imperfeitos). Uma discussão pormenorizada sobre este teste e sobre a definição de condutores e isolantes foi apresentada no Experimento 2.2 à página 57 desta tese.

tese o leva em consideração, tal como foi discutido no Experimento 2.2 à página 57.<sup>14</sup> Nesta coluna, o símbolo “–” significa que o tempo foi maior do que 30 segundos, portanto o material é um bom isolante elétrico. Já o tempo “0” significa que a tirinha se abaixa imediatamente quando o material em teste toca o eletroscópio.<sup>15</sup>



Figura 44: Tiras de cerca de 12 cm dos tecidos utilizados no experimento. Da esquerda para a direita: tafetá, seda, ligante, seda javanesa, viscolycra, linho, jeans, musselina, flanela, malha, oxford, cetim e lãzinha.

Tabela 4: Condutividade dos Tecidos.

Nº	Tecido	Condutividade	Tempo (s)
1	Seda javanesa	condutor	1 a 2
2	Jeans	condutor	1 a 2
3	Flanela	condutor	0
4	Viscolycra	condutor	0
5	Malha	condutor	0
6	Cetim	condutor	4 a 5
7	Linho	condutor	0
8	Musselina	condutor	0
9	Lãzinha	mau condutor	10
10	Oxford	condutor	5
11	Tafetá	isolante	–
12	Seda	isolante	–
13	Ligante	isolante	–

<sup>14</sup>Tal discussão sobre condutores e isolantes também foi apresentada em Assis (2010, p. 161-2).

<sup>15</sup>As tirinhas dos tecidos utilizados podem ser vistas na Figura 44.

Tabela 5: Condutividade dos Materiais.

Nº	Materiais	Condutividade	Tempo (s)
1	Fio de cabelo	isolante	–
2	Couro	condutor	0
3	Papel sulfite	condutor	0
4	Cartolina	condutor	0
5	Madeira	condutor	0
6	Pena	condutor	5

### Experimento 5.2 *Eletrização dos Materiais*

Para eletrizar os materiais, utilizamos três substâncias: i) pele humana (*i.e.*, a mão); ii) PVC; e iii) borracha dura (*i.e.*, mangueirinha de chuveiro). Em geral, o atrito foi feito puxando o material entre os dedos polegar e indicador, entre dois canos de PVC, e entre dois tubinhos de borracha dura.

Para verificar se os materiais ficaram eletrizados ou não após o atrito, utilizamos uma linha pendular, como a descrita nas Figuras 13 e 14 às páginas 53 e 54 desta tese. Iniciamos os testes utilizando linhas de algodão comum (*e.g.*, linha de pipa ou linha de crochê), mas ao manusear os tecidos percebemos que as linhas extraídas da *musselina* eram mais finas, e portanto mais leves que as linhas que estávamos utilizando. Como já havíamos verificado que este tecido é um condutor elétrico, refizemos os experimentos com a linha de musselina, pois o instrumento ficou mais sensível. Desta forma, após serem atritados, os materiais eram aproximados da linha de musselina presa à um suporte aterrado. Caso houvesse atração da linha de musselina, o objeto estava eletrizado.

Os materiais em teste foram segurados por meio de um saco plástico isolante, para que, caso fossem condutores elétricos, não descarregassem ao mesmo tempo em que eram atritados. Inicialmente, pensamos em utilizar *luvas de procedimento não-cirúrgico* nas mãos durante este experimento, a fim de isolar eletricamente o material a ser atritado.<sup>16</sup> No entanto, ao testar a condutividade elétrica das luvas, verificamos que eram condutoras, com tempo de abaixamento da tirinha de papel de seda do eletroscópio sendo quase instantâneo, difícil de medir. Então, optamos por utilizar sacos plásticos para o isolamento elétrico.<sup>17</sup>

<sup>16</sup>Essas luvas podem ser adquiridas em farmácias a preços reduzidos.

<sup>17</sup>É importante o leitor estar atento ao fato de que os objetos, quando segurados pela mão, estão isolados eletricamente, pois isso influencia na eletrização dos mesmos.

Todos os tecidos testados foram conseguidos em lojas de venda de tecidos e de costura de roupas. Como eram retalhos que seriam descartados, foram adquiridos a custo zero. Dias antes de pegar os tecidos, conversamos com as costureiras e explicamos para que seriam utilizados, destacando a importância de sabermos o nome de cada um dos tecidos. Desta forma, quando pegamos os retalhos, eles estavam etiquetados com os nomes e separados em sacos plásticos. A madeira utilizada nos testes foi de espetinhos de churrasco, que podem ser comprados em lojas de variedades ou supermercados. O couro foi adquirido em uma sapataria.

A madeira foi atritada de forma diferente, tendo em vista que puxá-la entre os dedos ou entre os canos não surtiu efeito. Em vez de puxá-la entre dois materiais, nós a esfregamos no material. Após atritá-la inúmeras vezes, foi possível verificar a face atritada atrair a linha pendular. Os tecidos que não eletrizaram também foram esfregados nos materiais para verificarmos se desta forma haveria eletrificação, mas não houve qualquer eletrização perceptível.

A cartolina, o papel, o couro, e a madeira eletrizaram bem pouco, pois foi preciso deixá-los bem próximos à linha pendular para que fosse possível verificar a atração. Além disso, só foi possível verificar a eletrização depois de atritá-los várias vezes seguidas, sendo que nas primeiras tentativas não houve eletrização perceptível. Mesmo assim, há materiais que eletrizaram quando atritados em uma substância, mas não eletrizaram quando atritados em outra, como mostram as Tabelas 6 e 7. Todos os testes foram realizados mais de uma vez. Fizemos inclusive o teste aquecendo cada um dos materiais com secador de cabelos.

Tabela 6: Eletrização dos Tecidos.

Nº	Tecido	Atritado com		
		Mão	PVC	Borracha dura
1	Seda javanesa	não	não	não
2	Jeans	não	não	não
3	Flanela	não	não	não
4	Viscolycra	não	não	não
5	Malha	não	não	não
6	Cetim	sim	sim	sim
7	Linho	não	não	não
8	Musselina	não	não	não
9	Lãzinha	sim	sim	sim
10	Oxford	sim	sim	não
11	Tafetá	não	sim	sim
12	Seda	sim	sim	sim
13	Liganete	sim	sim	sim

Tabela 7: Eletrização dos Materiais.

Nº	Material	Atritado com		
		Mão	PVC	Borracha dura
1	Fio de cabelo	não	sim	sim
2	Couro	não	sim	não
3	Papel sulfite	não	sim	não
4	Cartolina	não	sim	não
5	Madeira	não	sim	não
6	Pena	não	sim	sim

### Experimento 5.3 *Pêndulo Elétrico*

✓ MATERIAIS UTILIZADOS	
⇒ Canudinhos de plástico	⇒ Papel sulfite
⇒ Tubo de PVC	⇒ Linha de seda
⇒ Poste de sustentação	⇒ Palito de churrasco
⇒ Poliamida	⇒ Penugem

Neste experimento reproduzimos o aparato que Gray descreve da seguinte maneira: “Uma penugem foi presa à extremidade de uma fina linha de seda natural, e a outra



extremidade [da linha foi presa] a uma vareta, a qual foi fixada a uma base, [de tal forma] que [a vareta] pudesse ficar de pé [em posição vertical] sobre a mesa.” (GRAY, 1720-1, p. 107), à página 128 desta tese. Para isso utilizamos um palito de churrasco, linha de seda, poste de sustentação e penugem.<sup>18</sup> Fizemos um pequeno corte na ponta do palito e prendemos neste corte uma das extremidades da linha de seda, na outra extremidade foi amarrada uma penugem. Este conjunto foi fixado em um poste de sustentação (base de gesso + palito de madeira) por meio de fita adesiva. Também fizemos um aparato idêntico, mas sem a penugem presa na ponta da linha. Ambos os instrumentos podem ser vistos na Figura 45.



Figura 45: À esquerda o instrumento com a penugem presa à ponta da linha de seda, à direita o instrumento sem a penugem.

Para fazer o experimento utilizamos canudo de fresco e tubo de PVC atritados em poliamida. Com o canudo eletrizado conseguimos facilmente colocar e manter a linha com penugem a 45°, mas mantê-la em uma angulação maior foi um pouco difícil. Para que a penugem seja mantida em posições em que o ângulo em relação a vertical é maior que 45° precisa-se colocar o canudo atritado bem próximo a ela. Mas na medida em que o canudo é aproximado, a penugem se movimenta muito rapidamente em direção a ele e o toca. Este contato eletriza a pena e a faz ser repelida, voltando à posição inicial. Com o

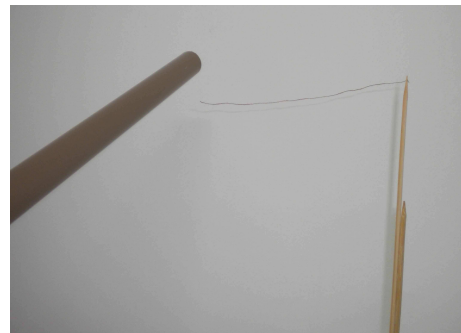
<sup>18</sup>Para facilitar a execução dos experimentos, desfiamos a linha de seda de forma a obter um fio mais fino e, portanto, mais leve. Isso facilitou os experimentos na medida em que se tornou mais fácil de elevar as linhas sob ação do tubo e do canudo eletrizado. Todas as fotos desta seção foram feitas com linhas deste tipo. Cabe ressaltar que os mesmos resultados podem ser obtidos com a linha normal, sem ser desfiada. A diferença de utilizar uma ou outra está na maior dificuldade em se realizar o experimento, como discutiremos ao final da seção.

canudo bem eletrizado é possível levar a pena para além de  $45^\circ$  (sem mantê-la na posição), mas um tanto quanto difícil colocá-la a  $90^\circ$ . Nestas angulações, em geral, a pena não fica parada, ela chega até certa altura e já cai, voltando à posição inicial. O mesmo ocorreu com a linha de seda sem a penugem presa na sua extremidade.

Com o tubo de PVC nos pareceu mais fácil realizar os experimentos. Para realizar os testes aquecemos o tubo de PVC e o pano de poliamida com um secador de cabelos e verificamos uma eletrização um pouco melhor, por isso realizamos estes experimentos com os materiais aquecidos. Com o tubo eletrizado foi possível colocar a linha de seda quase na horizontal, *i.e.*,  $90^\circ$  com a vertical, tanto no instrumento com penugem quanto no sem penugem presa na ponta da linha. Mas, o tubo deve estar bem eletrizado e é preciso um pouco de treino, pois aqui enfrentam-se os mesmos problemas descritos com o canudo quanto a aproximação da linha, ver as Figuras 46 e 47. Também foi possível manter a linha quase na posição vertical por meio da aproximação do tubo de PVC eletrizado, nos dois instrumentos, ver as Figuras 48 e 49. Uma hipótese explicativa para o comportamento da linha de seda neste experimento é que está ocorrendo a polarização do material isolante e, conseqüentemente, há interação atrativa entre o tubo de PVC atritado e a linha isolante.



(a) Imagem do aparato todo.

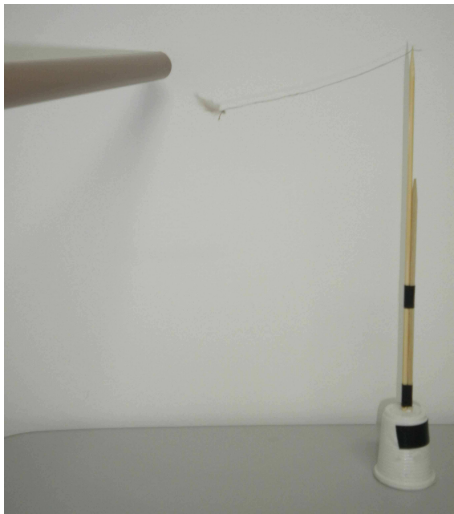


(b) Imagem da linha de seda e do tubo em destaque.

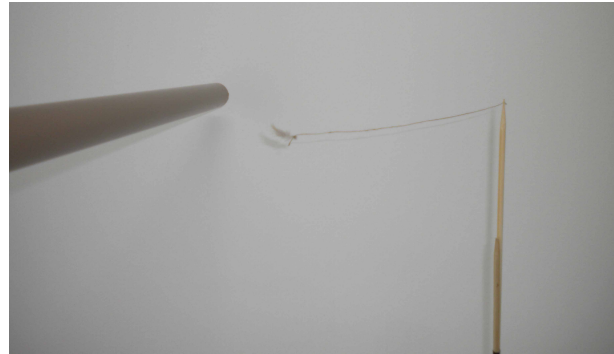
Figura 46: Linha de seda sem penugem quase na posição horizontal devida a aproximação do tubo de PVC eletrizado.

A partir dos experimentos anteriores, fizemos um teste para comparar o comportamento de linhas de material isolante e de material condutor quando sob ação do tubo de PVC atritado com poliamida. Como linhas condutoras utilizamos um pedaço de linha de algodão (*i.e.*, linha de pipa) e um fio de cobre bem fino<sup>19</sup>. Como linhas isolantes utilizamos

<sup>19</sup>Utilizamos um fio de cobre retirado de um “cabinho” (fio de cobre flexível vendido em lojas de eletrônica), por ser mais fino e, portanto, mais adequado ao experimento.



(a) Imagem do aparato todo.



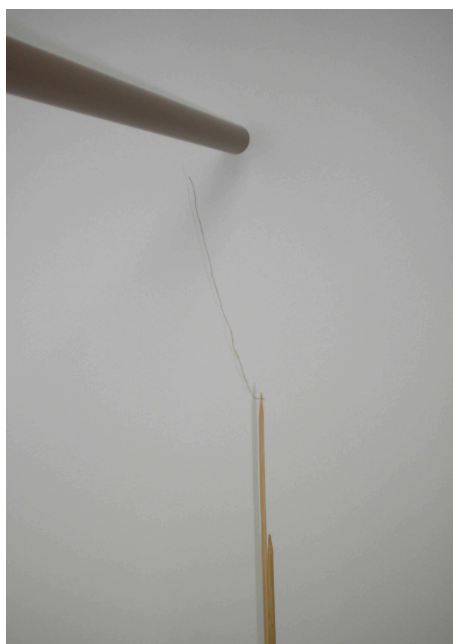
(b) Imagem da linha de seda com penugem e do tubo em destaque.

Figura 47: Linha de seda com a penugem presa na ponta quase na posição horizontal devido a aproximação do tubo de PVC eletrizado.

um pedaço de linha de seda (sem ser desfiado) e um pedaço de linha de poliamida (*i.e.*, linha de pesca de 0,2 mm). Todos os pedaços de linha tinham cerca de 15 centímetros de comprimento e foram colocados no instrumento da Figura 45. Então, o tubo eletrizado era aproximado da extremidade inferior de cada linha para averiguarmos se haveria diferença de comportamento no que tange a elevá-las acima da posição inicial. A linha de algodão se movimentou para o alto muito rapidamente, sendo colocada na posição vertical sem dificuldade. O fio de cobre pouco levantou, o que talvez se justifique pela sua rigidez. A linha de poliamida, após aplicar o tubo, se movimentava em direção a ele e, algumas vezes, ao tocá-lo, era repelida. Houve certa dificuldade em colocá-la e mantê-la no ar, pois era preciso fazê-la se movimentar e evitar que tocasse o tubo. Muitas vezes, quando ela chegava próximo aos  $90^\circ$ , em relação ao palito do suporte, ela caía. A linha de seda apresentou dificuldades semelhantes às da linha de poliamida. Era preciso aproximar o tubo para que iniciasse o movimento para cima. Após se movimentar, a dificuldade era manter o tubo suficientemente próximo a ela para que fosse possível elevá-la, de forma que não houvesse contato entre o tubo e a linha. Mas, quando havia contato entre eles, a linha de seda não era repelida pelo tubo. Na maioria das vezes, quando ela chegava próximo aos  $90^\circ$ , em relação ao palito do suporte, ela caía. Para colocar as linhas de seda e de poliamida próximas da vertical, foi preciso tentar várias vezes e treinar bastante para manter o tubo e a linha suficientemente próximos e para encontrar a melhor forma de elevar o tubo (*i.e.*, velocidade e posição do tubo).



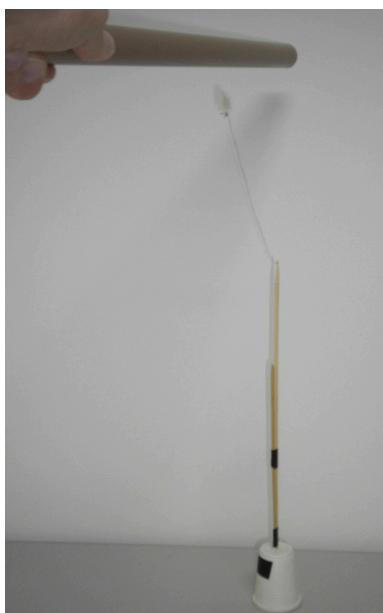
(a) Imagem do aparato todo.



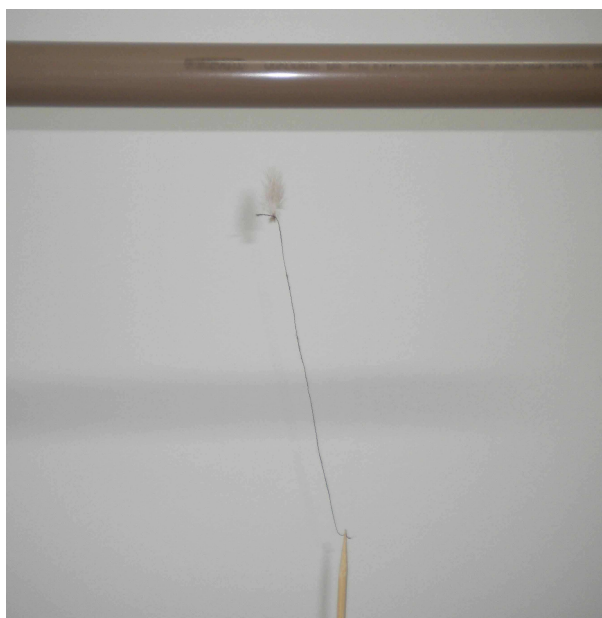
(b) Imagem da linha de seda sem penugem e do tubo em destaque.

Figura 48: Linha de seda sem a penugem presa na ponta quase na posição vertical devida a aproximação do tubo de PVC eletrizado.

Concluimos, desta forma, que a linha condutora proporciona uma força elétrica, entre o tubo e a linha, maior do que as linhas isolantes. Essa maior força elétrica faz com que seja mais fácil manipular, por meio da ação do tubo eletrizado, a linha condutora do que a linha isolante.



(a) Imagem do aparato todo.



(b) Imagem da linha de seda com penugem e do tubo em destaque.

Figura 49: Linha de seda com a penugem presa na ponta quase na posição horizontal devida a aproximação do tubo de PVC eletrizado.

## 6 Tradução 3

### 6.1 Tradução 3 - Uma Carta para Cromwell Mortimer, M. D. Secr. R. S. Contendo Vários Experimentos a Respeito da Eletricidade

Senhor,<sup>1;2;3;4</sup>

No ano de 1729, comuniquei ao Dr. Desaguliers e a alguns outros Senhores uma descoberta que tinha feito recentemente, mostrando que a virtude elétrica de um tubo de vidro pode ser transmitida para quaisquer outros corpos, de modo a dar-lhes a mesma propriedade de atrair [p. 19] e repelir corpos leves, tal como faz o tubo quando excitado por atrito; [e] que essa virtude atrativa podia ser levada para corpos que estavam muitos pés distantes do tubo. Em primeiro de maio, o Dr. Desaguliers fez um relato dos experimentos que ele tinha visto para a *Royal Society*. Então, prometi comunicar uma descrição mais detalhada desses experimentos para a [*Royal*] *Society*. Mas, como eu estava para ir para o interior do país [Inglaterra] no dia seguinte, onde sabia que deveria ter a oportunidade de continuar os experimentos [e ir] muito além do que já tinha feito, por falta de espaço no meu quarto,<sup>5</sup> o qual não era grande o suficiente para realizar vários outros experimentos que tinha em vista, estava disposto, como tinha começado a descoberta, a prosseguir com ela tanto quanto pudesse, antes de comunicá-la para a *Royal Society*, o que agora humildemente ofereço para suas considerações.

<sup>1</sup>Tradução do texto: (GRAY, 1731-2c, p. 18-44).

<sup>2</sup>O *texto original* em inglês apresenta várias palavras iniciadas com letra maiúscula no meio das frases, as quais optamos por grafar com letra minúscula para facilitar a leitura. Além disso, a pontuação gramatical foi alterada para facilitar a sua compreensão.

<sup>3</sup>Os destaques em *italico* no texto são dos tradutores, assim como as palavras entre colchetes. Os colchetes [p. ] indicam a página original do texto em inglês.

<sup>4</sup>O texto original em inglês não possui figuras, sendo assim, todas as figuras desta tradução foram inseridas pelos tradutores. A maioria delas foi feita pelos tradutores, e algumas foram retiradas de fontes secundárias. Neste último caso são indicadas as referências de onde foram obtidas. As figuras estão fora de escala. Em algumas delas exageramos o tamanho do tubo de vidro ou de outros elementos da ilustração para facilitar a visualização.

<sup>5</sup>Gray, provavelmente, refere-se ao seu quarto na *Charter-house* em Londres.

Em fevereiro de 1728/9, repeti alguns dos experimentos que tinha feito anteriormente, na primeira descoberta de uma atração elétrica em muitos corpos que até então não eram conhecidos por terem aquela propriedade, os quais comuniquei para a *Royal Society*. Uma descrição desses experimentos é dada na *Philosophical Transactions* N.º 366.<sup>6</sup> Fiz várias tentativas nos metais, para ver se eles não podiam ser tornados atrativos pelo mesmo método que outros corpos foram, a saber, por aquecimento, por atrito e por marteladas, mas sem qualquer sucesso. Então, resolvi adquirir um grande tubo de vidro (*flint-glass*)<sup>7</sup> para ver se poderia fazer alguma descoberta adicional com ele, tendo recordado de uma suspeita que tive [há] alguns anos atrás, que [tal] como o tubo comunicava uma luz aos corpos, quando era atritado no escuro, se ele não poderia ao mesmo tempo comunicar uma eletricidade para eles. Embora [p. 20] até agora nunca [tivesse] tentado o experimento, não imaginava [que] o tubo [de vidro] pudesse ter uma influência tão grande e maravilhosa, [para] fazê-los atrair [corpos leves] com tanta força, ou que a atração seria levada para distâncias tão extraordinárias, [tal] como será encontrado na sequência deste discurso.

Antes de prosseguir para os experimentos, pode ser necessário dar uma descrição do tubo [de vidro]: seu comprimento é de três pés e cinco polegadas [1 m], e [seu] diâmetro [tem] aproximadamente uma polegada e dois décimos [3 cm]. Apresento as dimensões médias, [pois] o tubo é mais largo em cada extremidade do que no meio, [e] o furo [tem] aproximadamente uma polegada [2,5 cm]. Em cada extremidade encaixei uma rolha de cortiça, para manter a poeira [do lado de] fora quando o tubo não estava em uso.

O primeiro experimento que fiz foi para verificar se poderia encontrar alguma diferença na sua atração [em duas situações, a saber], quando o tubo [atritado] estava tampado em ambas as extremidades pelas rolhas de cortiça, ou quando deixado aberto, mas não pude perceber [qualquer] diferença sensível. No entanto, ao manter (*upon holding*) uma penugem defronte à extremidade superior do tubo,<sup>8</sup> descobri que ela ia para a rolha de

<sup>6</sup>Ao final deste artigo de 1720 Gray enumera alguns corpos que ele descobriu serem elétricos: (1) Penas, (2) cabelo/pelo (*hair*), (3) seda, (4) linho, (5) lã, (6) papel, (7) couro, (8) madeira, (9) pergaminho, (10) tripas de boi, nas quais é batida folha de ouro (GRAY, 1720-1, p. 107).

<sup>7</sup>Este era um tipo especial de vidro à base de chumbo, de poder fortemente dispersivo e refrigerante. Para as grandes diferenças de potencial elétrico envolvidas em experimentos usuais de eletrostática, este tipo de vidro comporta-se como isolante elétrico. Este comportamento é diferente do comportamento dos vidros comuns que encontramos atualmente em nosso dia-a-dia, os quais são à base de soda e comportam-se como condutores elétricos em experimentos de eletrostática.

<sup>8</sup>Quando Gray diz: “[...] *defronte à extremidade superior do tubo* [...]”, temos duas possíveis interpretações. *Interpretação 1*: Com o tubo disposto na horizontal, uma dada extremidade teria uma parte inferior e uma parte superior. Pode ser que Gray tenha aproximado a penugem da parte superior, chamada por ele de “*extremidade superior do tubo*”. Desta forma a penugem seria atraída pela cortiça. *Interpretação 2*: Com o tubo disposto na vertical, ele teria uma extremidade superior e uma extremidade inferior. Pode ser que Gray tenha aproximado a penugem da “*extremidade superior do tubo*”. Desta forma a penugem seria atraída pela cortiça.

cortiça, sendo atraída e repelida por ela, assim como [era atraída e repelida] pelo tubo quando ele tinha sido excitado por atrito. Então, mantive (*held*) a penugem defronte à extremidade plana da rolha de cortiça, a qual atraiu e repeliu muitas vezes seguidas.<sup>9</sup> Fiquei muito surpreso com isso, e *concluí que certamente houve uma virtude atrativa comunicada à rolha de cortiça pelo tubo excitado.*<sup>10;11</sup>

Tendo comigo uma bola de marfim de aproximadamente uma polegada e três décimos [3,3 cm] de diâmetro, com um furo através dela, fixei-a em uma vareta de abeto de aproximadamente quatro polegadas [10 cm] de comprimento, inserindo a outra extremidade

<sup>9</sup>O verbo *hold* pode ser traduzido como *segurar*, *pegar* ou *agarrar*, mas foi traduzido aqui como *manter* para permitir a discussão de três interpretações citadas por Assis (2010) para o experimento (ASSIS, 2010, p. 242-4), como veremos a seguir.

<sup>10</sup>Neste parágrafo, Gray descreve como chegou à conclusão sobre a *condução da eletricidade*. Ele observou que a propriedade atrativa que o vidro adquiria após o atrito era transmitida para a rolha de cortiça que estava em contato com ele, ou seja, percebeu que a cortiça passou a atrair a pena sem que fosse atritada. O texto de Gray não detalha o experimento e não apresenta qualquer figura, sendo assim, não fica claro para o leitor como o experimento foi realizado. Segundo Assis (2010) há três possibilidades:

a) Gray segura o cabo da penugem com a mão, sendo que este cabo se comportaria como isolante e as cerdas da pena se comportariam como um condutor elétrico. Ao aproximar a penugem da cortiça, a pena oscilaria entre a mão que a segura e a cortiça, sendo que as cerdas se carregariam eletricamente ao tocarem na cortiça e descarregariam ao tocarem na mão (ASSIS, 2010, p. 242-4). No entanto, nossos experimentos mostram que tanto o cabo quanto as cerdas da pena são condutores elétricos (ver Experimento 2.2 à página 57 desta tese). Logo, para manter esta interpretação, Gray teria que segurar a pena com algum material isolante na mão, ou então a pena que ele utilizava tinha o cabo isolante, diferentemente daquelas que testamos. Ver a Figura 50.

b) A segunda interpretação seria algo semelhante ao pêndulo elétrico que Gray já havia utilizado em 1720, com uma penugem amarrada na ponta de um fio de seda (ver a página 128 desta tese) (GRAY, 1720-1, p. 107). A pena estaria presa a uma linha isolante (*e.g.*, um fio de seda) formando um pêndulo elétrico. Desta forma, a pena seria aproximada da cortiça e oscilaria entre ela e outro corpo condutor próximo (*e.g.*, uma mão, uma parede, etc.). A pena seria atraída pela rolha eletrizada, ficaria eletrizada ao tocá-la, passando então a ser repelida pela rolha. Então, ela seria atraída por um objeto condutor e descarregaria ao tocá-lo, voltando a ser atraída pela rolha. Isso se repetiria consecutivamente. Ver a Figura 51.

c) A terceira interpretação seria algo semelhante ao experimento realizado por Gray em 1708 (ver a página 91 (*2º Experimento*) desta tese) (CHIPMAN, 1954). A pena solta no ar seria atraída pela cortiça e ficaria eletrizada após o contato, passando então a ser repelida pela rolha. Se a penugem se aproximasse de algum objeto condutor (*e.g.*, uma mão, uma parede, etc.), ela seria atraída por este corpo e perderia sua carga ao tocá-lo, sendo novamente atraída pela rolha eletrizada. Este processo poderia continuar por várias vezes e a pena oscilaria entre a cortiça e outro corpo condutor próximo a ela. Ver a Figura 52. (ASSIS, 2010, p. 242-4).

<sup>11</sup>Gray não expressa em seus textos o que ele entendia por *eletricidade*, também chamada por ele de *virtude elétrica*, *virtude atrativa* e *eflúvio elétrico*, como será possível verificar no decorrer deste texto. Nos parece que a sua preocupação estava em fazer experimentos e verificar o comportamento elétrico dos corpos, mas não em propor explicações para os fenômenos encontrados e descritos por ele. Nos textos de Gray, encontramos apenas uma tentativa de explicação sobre o fenômeno da atração e repulsão dos corpos leves, a qual refere-se à emissão e reflexão de *eflúvios* pelos corpos, mas ele próprio questiona a ideia e diz que deixará a explicação “à consideração dos doutos” (ver a página 98 (*12º Experimento*) desta tese) (CHIPMAN, 1954, p. 36). Da mesma forma, não há uma explicação do que seria a *condução da eletricidade* para Gray. Como já mencionado, existe a hipótese de que Gray evita utilizar expressões que possam sugerir que ele interpretava seus experimentos e resultados em termos de uma “matéria” elétrica fluindo através das linhas de condução (HOME, 1981, p. 52).



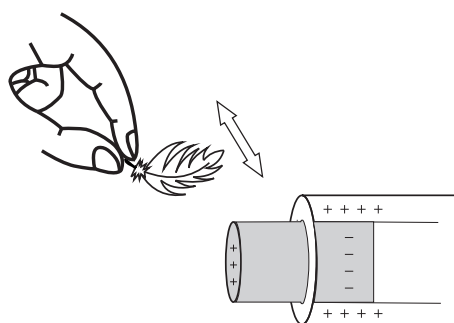


Figura 50: Tubo de vidro arrolhado nas duas extremidades e eletrizado positivamente pelo atrito do vidro contra a mão de Gray. A rolha de cortiça que tampa o vidro não foi atritada, mas se comporta como um condutor elétrico e ficaria polarizada devido às cargas na superfície do vidro. A ilustração também mostra uma penugem sendo atraída e repelida pela cortiça ao ser mantida defrente à extremidade superior do tubo.

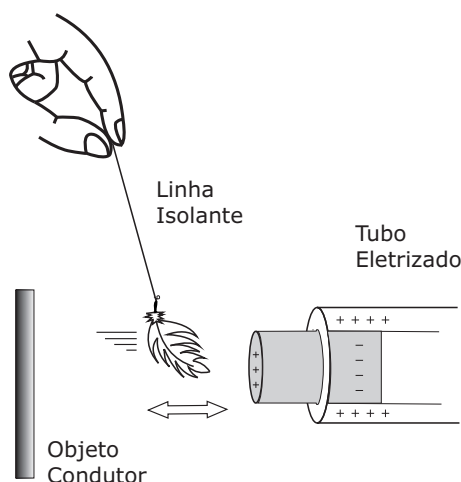


Figura 51: Tubo de vidro arrolhado nas duas extremidades e eletrizado positivamente pelo atrito do vidro contra a mão de Gray. A rolha de cortiça que tampa o vidro não foi atritada, mas se comporta como um condutor elétrico e ficaria polarizada devido às cargas na superfície do vidro. A ilustração também mostra uma penugem sendo atraída e repelida pela cortiça ao ser mantida defrente à extremidade do tubo por meio de uma linha isolante como, por exemplo, um fio de seda.

[da vareta] na rolha de cortiça.<sup>12</sup> Atritando o tubo descobri que a bola atraiu e repeliu a penugem com mais vigor do que a rolha de cortiça tinha feito, [p. 21] repetindo suas atrações e repulsões por muitas vezes seguidas. Então, fixei a bola em varetas mais compridas, primeiro em uma de oito polegadas [20,3 cm], depois em uma de vinte e quatro polegadas [61 cm] de comprimento, e encontrei o mesmo efeito. Então, utilizei primeiro [um arame ou fio de] ferro e [depois um arame ou] fio de latão para prender a bola, inserindo a outra extremidade do fio na rolha de cortiça, como anteriormente.<sup>13</sup> [Dessa forma,] descobri que a atração era a mesma, como quando a vareta de abeto foi utilizada,

<sup>12</sup>A ilustração de uma possível conformação deste experimento pode ser vista na Figura 53.

<sup>13</sup>Ver a Figura 54(a).

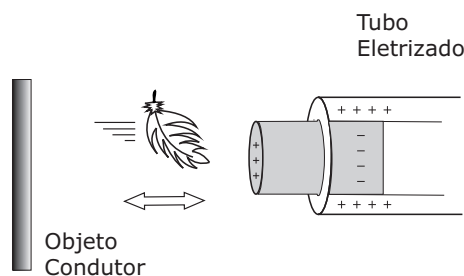


Figura 52: Tubo de vidro arrolhado nas duas extremidades e eletrizado positivamente pelo atrito do vidro contra a mão de Gray. A rolha de cortiça que tampa o vidro não foi atritada, mas se comporta como um condutor elétrico e ficaria polarizada devido às cargas na superfície do vidro. A ilustração também mostra uma penugem sendo atraída e repelida pela cortiça ao ser mantida defronte à extremidade do tubo sem nada que a segure.

e que quando a penugem era mantida defronte a qualquer parte do fio, ela era atraída por ele. Mas, embora ele<sup>14</sup> estivesse mais próximo do tubo, a sua atração não era tão forte quanto a da bola.<sup>15</sup> Quando o fio de dois ou três pés de comprimento [60 ou 90 cm] foi utilizado, as suas vibrações, causadas pelo atrito do tubo, tornaram-no um pouco difícil de ser manipulado. Isto me colocou a pensar: se a bola fosse pendurada por um barbante<sup>16</sup> e suspensa por um laço no tubo, se a eletricidade não seria levada para baixo [na] linha [e, assim,] para a bola.<sup>17</sup> [Tive] êxito nisso procedendo da seguinte maneira: suspendendo a bola no tubo por um barbante de aproximadamente três pés [90 cm] de comprimento, quando o tubo tinha sido excitado por atrito, a bola de marfim atraiu e repeliu as lâminas de latão (*leaf-brass*), sobre as quais ela [a bola] estava pendurada, tão livremente quanto ela tinha feito quando estava suspensa em varetas ou fios. Como também fez uma bola de cortiça e outra de chumbo que pesava uma libra e um quarto [567 g].<sup>18;19</sup>

<sup>14</sup>Isto é, o fio.

<sup>15</sup>Isto ocorre porque a “carga negativa induzida na rolha neutraliza a carga positiva no vidro” (HEILBRON, 1979, p. 246).

<sup>16</sup>*Packthread* no original. Pode significar uma corda usada para enfardar ou para costurar sacos, ou um barbante de cânhamo (ASSIS, 2010, p. 246);(CANBY, 1966, p. 18). Ou ainda, “corda robusta utilizada para embalar pacotes” (HEILBRON, 1979, p. 246). Neste texto, todas as palavras “*barbante*” referem-se a este material.

<sup>17</sup>Ver a Figura 54(b).

<sup>18</sup>Com isso Gray conseguiu que metais atraíssem corpos leves, ou seja, conseguiu eletrizar metais, que era algo perseguido desde os tempos de William Gilbert (HOME, 1981, p. 44). Do ponto de vista da “física atual”, este experimento nos mostra que um bom condutor elétrico pode ser polarizado por indução desde que esteja isolado e nas proximidades de um outro corpo carregado eletricamente.

<sup>19</sup>Nestes experimentos de Gray o tubo de vidro, *flint-glass*, comportou-se como um isolante que foi eletrizado positivamente pelo atrito contra a mão de Gray. Já a rolha de cortiça, a vareta de abeto, o barbante, o arame metálico, a bola de marfim, a bola de cortiça e a bola de chumbo comportaram-se como condutores. Estes corpos se polarizaram eletricamente por estarem nas proximidades do tubo de vidro eletrizado. A parte destes condutores que estava em contato com o tubo de vidro eletrizado ficou eletrizada com uma carga de sinal oposto à carga do vidro, enquanto que a parte destes condutores que estava mais afastada do vidro eletrizado ficou com uma carga de sinal igual à carga do vidro, ver as Figuras 55(a) e 55(b). Ocorrendo, assim, uma acumulação de cargas positivas em uma extremidade e negativas na outra extremidade. Desta forma, a extremidade da linha de condução que estava distante do tubo apresentou

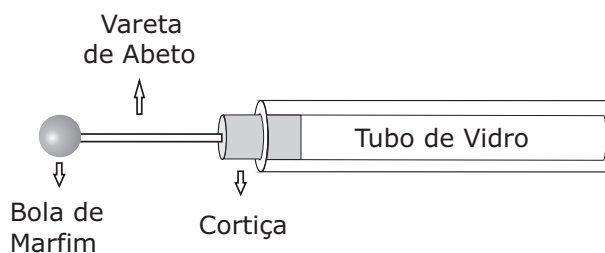
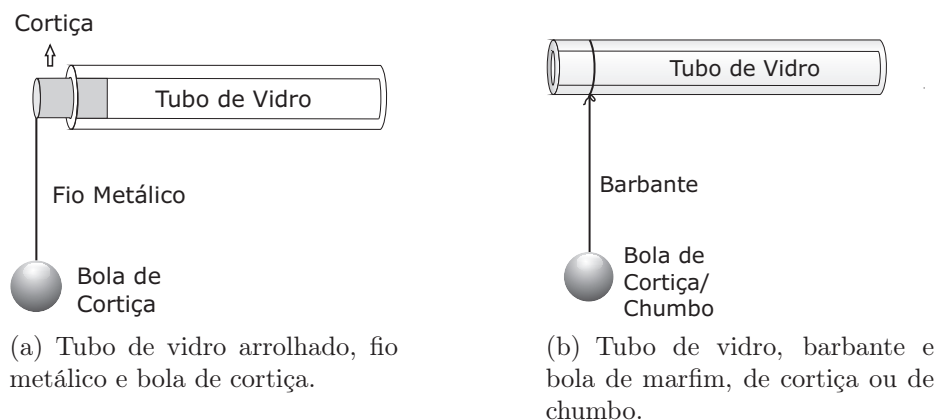


Figura 53: Tubo de vidro enrolado, vareta de abeto e bola de marfim.



(a) Tubo de vidro enrolado, fio metálico e bola de cortiça.

(b) Tubo de vidro, barbante e bola de marfim, de cortiça ou de chumbo.

Figura 54: Bolas de cortiça e de chumbo conectadas ao tubo de vidro por meio de fio e barbante.

Depois que descobri que os vários corpos mencionados anteriormente tiveram uma eletricidade comunicada para eles, continuei a verificar sobre quais outros corpos o tubo [atritado] teria o mesmo efeito. Começando com os metais, suspendendo-os no tubo pelo método mencionado anteriormente, primeiro com pequenas peças: como uma *guinea*,<sup>20</sup> um xelim<sup>21</sup> (*shilling*), um *half-penny*,<sup>22</sup> uma peça de estanho, e [p. 22] uma peça de chumbo. Em seguida, [utilizei] maiores quantidades de metal, suspendendo-os no tubo pelo barbante. Aqui utilizei uma pá de lareira (*fire-shovel*), uma pinça de lareira (*tongs*), um atizador de brasas de ferro (*iron poker*), uma chaleira de chá de cobre, a qual se comportou da mesma forma, tanto vazia quanto cheia de água gelada ou quente, e uma caneca de prata (*silver pint pot*). Todos [esses objetos] ficaram fortemente elétricos, atraindo as lâminas de latão até a altura de várias polegadas. Depois que descobri que os metais ficaram elétricos dessa forma, continuei a fazer testes em outros corpos, como pederneira (*flint-stone*), arenito (*sand-stone*), ímã natural,<sup>23</sup> tijolos (*bricks*), telhas, giz. E

os mesmos efeitos elétricos que o tubo eletrizado, (BOSS; CALUZI, 2007, p. 639);(BOSS, 2009, p. 133-6);(ASSIS, 2010, p. 203). Gaspar (2005) e Assis (2010) apresentam experimentos com *material acessível* e discutem sobre a questão da condução elétrica nesse tipo de material. (GASPAR, 2005, p. 234);(ASSIS, 2010, Seção 6.3).

<sup>20</sup>Moeda inglesa de ouro.

<sup>21</sup>Moeda inglesa.

<sup>22</sup>Moeda inglesa.

<sup>23</sup>*Loadstone*, óxido de ferro com propriedades magnéticas.

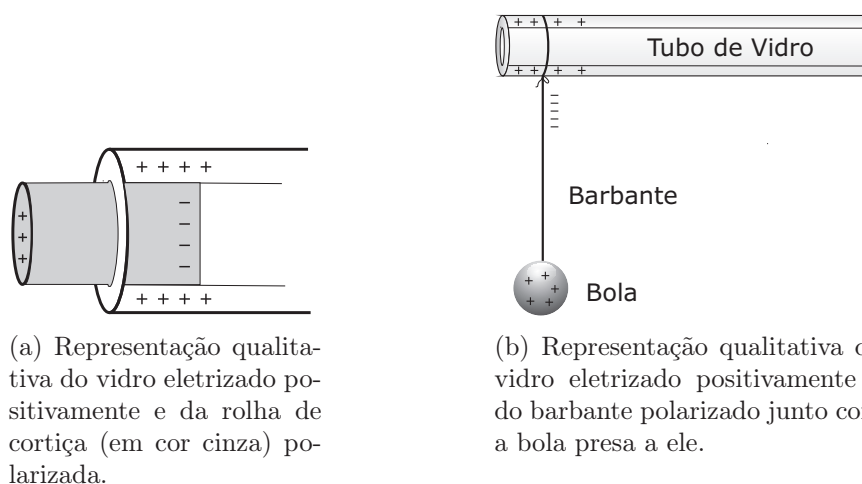


Figura 55: Polarização de materiais condutores (rolha, barbante e bola) na presença de um tubo de vidro isolante eletrizado positivamente.

então, [fiz testes] em várias substâncias vegetais, tanto verdes quanto secas, e descobri que todas elas tinham uma virtude elétrica comunicada para elas, tanto sendo suspensas no tubo por uma linha (*line*),<sup>24</sup> quanto fixadas na extremidade dele pelo método mencionado anteriormente.

Em seguida, procedi para testar quais as maiores distâncias [a que] a virtude elétrica poderia ser levada, tendo comigo parte de uma bengala oca, a qual suponho [que] era parte de uma vara de pesca, de dois pés e sete polegadas [78 cm] de comprimento. Cortei a maior extremidade dela para encaixá-la dentro do buraco do tubo [de vidro], no qual ela entrou aproximadamente cinco polegadas [13 cm]. Então, quando a bengala foi colocada dentro da extremidade do tubo e este [foi] excitado [por atrito], ela atraiu as lâminas de latão para a altura de mais de duas polegadas [5 cm], como também fez a bola de marfim, quando tinha sido fixada na extremidade da bengala por [meio de] uma rolha de cortiça e uma vareta. Uma bengala maciça teve o mesmo efeito quando inserida no tubo, da mesma forma que a [bengala] oca tinha tido. Então, peguei as duas juntas superiores de uma grande vara de pesca, uma de *spanish cane*,<sup>25</sup> [e] a outra parcialmente de madeira e osso de baleia (*whale-bone*) na extremidade superior, que juntas com o tubo atingiram um comprimento de mais de quatorze pés [4,2 m]. Na menor extremidade [p. 23] do osso de baleia foi fixada uma bola de cortiça de aproximadamente uma polegada e um quarto [3,2 cm] de diâmetro. Então, [com] a maior extremidade da vara sendo inserida no tubo, as lâminas de latão colocadas sobre a mesa, e o tubo excitado [por atrito], a bola

<sup>24</sup>Esta “*linha*” pode ser o “*barbante*”, uma vez que em alguns momentos do texto (*e.g.*, à página 149 desta tese) Gray utiliza a expressão “*linha de barbante*” (*line of packthread*).

<sup>25</sup>“*Spanish cane*” é uma espécie de gramínea cujo nome científico é *Arrundo donax*, ver a Figura 56. Não encontramos a denominação em português.

[de cortiça] atraiu as lâminas de latão para a altura de aproximadamente três polegadas [7,6 cm], por estimativa. Posteriormente, com vários pedaços de *spanish cane* e varetas de abeto fiz uma vara, que, junto com o tubo [de vidro] tinha um pouco mais do que dezoito pés [5,4 m] de comprimento, que era o maior comprimento que eu podia utilizar em meu quarto<sup>26</sup> convenientemente. [Com esta vara,] encontrei a atração muito próxima, se não completamente tão forte, quanto [aquela obtida] quando a bola foi colocada em varas menores. Até aqui, procedi antes de ir para o interior [da Inglaterra], [para onde fui] em 2 de maio de 1729, levando comigo vários bastões de vidro (*glass canes*), bem como outros materiais que pensei que seriam necessários e que não poderiam ser adquiridos lá. Agora, darei uma descrição dos experimentos que então fiz, alguns dos quais foram feitos em *Norton-Court*, próximo a *Feversham* em *Kent*, [na casa do] meu honrado amigo John Godfrey, Escudeiro. Os outros [experimentos foram feitos] em *Otterden-Place*, [na casa do] meu honrado amigo Granvil Wheler, Escudeiro [e] um ilustre membro da *Royal Society*, a quem tive a honra de conhecer recentemente. Colocarei abaixo cada experimento na ordem de tempo e lugar [em que] foram feitos, [tal] como os encontro em minhas anotações.



Figura 56: *Spanish cane*.

O primeiro experimento foi feito em *Norton-Court*, em 14 de maio de 1729, entre seis e sete horas da noite. Tendo providenciado uma vara de aproximadamente vinte e quatro pés [7,2 m], que consistia de uma vara de abeto, de *cane*<sup>27</sup>, e o topo de junco, sendo que em sua extremidade foi colocada a bola de cortiça. A extremidade maior da vara foi colocada aproximadamente sete ou oito polegadas [18 ou 20 cm] dentro do tubo [de vidro]. Então, sendo colocadas as [p. 24] lâminas de latão embaixo [da bola] e o tubo atritado, a bola atraiu e repeliu as lâminas com vigor. Desta forma não há dúvida de que com uma vara mais comprida a eletricidade teria sido levada muito mais distante.

Em 16 de maio, fiz uma vara de trinta e dois pés [9,6 m] de comprimento, incluindo o tubo. A maior parte dela era uma vara de abeto de aproximadamente seis pés e meio [2 m]

<sup>26</sup>Gray, provavelmente, refere-se ao seu quarto na *Charter-house* em Londres.

<sup>27</sup>Pode referir-se a *spanish cane* ou *walking cane* (bengala).

de comprimento, o resto era de *cane*<sup>28</sup> e junco para a parte de cima dela.<sup>29</sup> Com todas as coisas preparadas como antes o efeito foi o mesmo, [tal] como no último experimento, apenas a vara [que] curvando-se muito e vibrando devido ao atrito do tubo tornou mais difícil a realização do experimento. Isto me colocou a fazer os seguintes experimentos.

Em 19 de maio, por volta das seis da manhã, a bola de marfim foi suspensa no tubo por uma linha de barbante (*line of packthread*) de vinte e seis pés [7,8 m] de comprimento, que era a altura de onde eu estava na sacada (*balcony*) até o pátio (*court*) onde ele<sup>30</sup> estava, [sendo que neste pátio havia] uma tábua (*board*) com as lâminas de latão em cima. Então, [com] o tubo sendo atritado, [a bola de marfim] atraiu as lâminas de latão para a altura de aproximadamente duas polegadas [5 cm], conforme aquele que [me] auxiliava informou. Isso foi repetido com a bola de cortiça com o mesmo sucesso.

Na manhã do dia 31 de maio, em uma vara de dezoito pés [5,4 m] havia amarrado uma linha<sup>31</sup> de trinta e quatro pés [10,2 m] de comprimento, de forma que a vara e a linha tivessem juntas cinquenta e dois pés [15,6 m].<sup>32</sup> Com a vara e o tubo fiquei em pé na sacada, o assistente [ficou] abaixo no pátio, onde ele mantinha a tábua com as lâminas de latão em cima dela. Então, [com] o tubo sendo excitado como de costume, a virtude elétrica passou do tubo até a vara e desceu pela linha para a bola de marfim, que atraiu as lâminas de latão. Como a bola passou [p. 25] sobre elas [se movendo] com vibrações, as lâminas de latão seguiram-na até que fossem levadas para fora da tábua. Mas, estes experimentos são difíceis de serem feitos ao ar livre, [pois] o vento mais suave leva as lâminas de latão para longe.

Visto que não tive a oportunidade de levar [a virtude elétrica] perpendicularmente para maiores alturas [em *Norton-Court*], algum tempo depois, fiz várias tentativas para levá-la em uma linha<sup>33</sup> horizontalmente, mas [não tive] sucesso [por não ter] utilizado materiais adequados, como aparecerá na sequência [deste texto]. No primeiro método que testei, fiz um laço em cada ponta de uma linha e pendurei-a [por uma de suas pontas] em um gancho fixado em uma viga, [de forma] que a outra ponta [desta linha ficasse] pendurada para baixo. Através do laço desta ponta [inferior, passei uma segunda] linha com a bola de cortiça [presa em uma das extremidades desta segunda linha], [sendo que]

<sup>28</sup>Pode referir-se a *spanish cane* ou *walking cane* (bengala).

<sup>29</sup>Apesar de Gray dizer que a maior parte da vara era composta de abeto, o tamanho apresentado para a vara de abeto (*i.e.*, 2 m) não confirma isso.

<sup>30</sup>Gray pode estar se referindo a John Godfrey ou a um dos criados de Godfrey que o auxiliava no experimento.

<sup>31</sup>Pode referir-se à linha de barbante (*line of packthread*) mencionada no parágrafo anterior.

<sup>32</sup>Ver a Figura 57.

<sup>33</sup>Pode referir-se à linha de barbante (*line of packthread*) mencionada anteriormente.

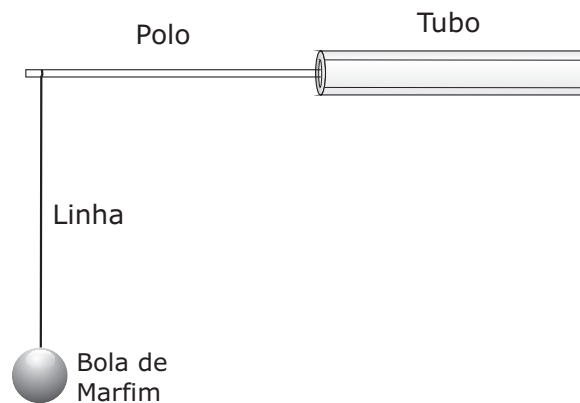


Figura 57: Linha amarrada à vara fixada no tubo de vidro eletrizado, como se fosse uma grande vara de pesca.

a outra ponta desta [segunda] linha foi presa ao tubo [de vidro] por meio de um laço. De forma que a parte da linha próxima à bola [ficasse] pendurada na perpendicular e o restante dela na horizontal. Então, as lâminas de latão foram colocadas embaixo da bola e o tubo [foi] atritado, apesar disso não foi percebido nem o mínimo sinal de atração.<sup>34</sup> Diante disso, concluí que quando a virtude elétrica veio [do tubo] para o laço que estava suspenso na viga, ela subiu para esta mesma viga; de tal modo que nada, ou no mínimo muito pouco dela, desceu para a bola.<sup>35</sup> Isso foi confirmado posteriormente, [tal] como aparecerá pelos experimentos que serão mencionados a seguir. Frente a isso, desisti de fazer tentativas adicionais de transportar a eletricidade horizontalmente. Planejei que no meu retorno a Londres, caso conseguisse auxílio, tentaria o experimento do topo da cúpula da [catedral de] *St. Paul*, não duvidando que a atração elétrica [p. 26] seria levada para baixo perpendicularmente, deste lugar para o solo.

Em 30 de junho de 1729, fui para *Otterden-Place*, para aguardar o Sr. Wheler, levando comigo um pequeno bastão maciço de vidro de aproximadamente onze polegadas [28 cm] de comprimento, e sete oitavos de polegada [2,2 cm] de diâmetro, com alguns outros materiais necessários, planejando dar ao Sr. Wheler somente uma amostra dos meus experimentos. O primeiro foi [feito] a partir da janela na longa galeria que se abria para o salão, a uma altura de aproximadamente dezesseis pés [4,8 m]. O [experimento] seguinte foi [feito] a partir da ameia<sup>36</sup> da casa para baixo em frente ao pátio, [com a altura] de vinte e nove pés [8,7 m]. Então [fizemos outro experimento] a partir da torre do relógio para o solo, o qual tinha trinta e quatro pés [10,2 m], [sendo que] esta foi a maior altura

<sup>34</sup>Ver a Figura 58.

<sup>35</sup>Do ponto de vista da “física atual”, o sistema está aterrado pela linha condutora que está presa à viga, por isso não ocorre acúmulo de cargas elétricas na bola e ela não atrai as lâminas de latão. (ASSIS, 2010, p. 248-9).

<sup>36</sup>Ameia: *s.f.* Cada um dos pequenos parapeitos, intervalados, na parte superior das muralhas e castelos.

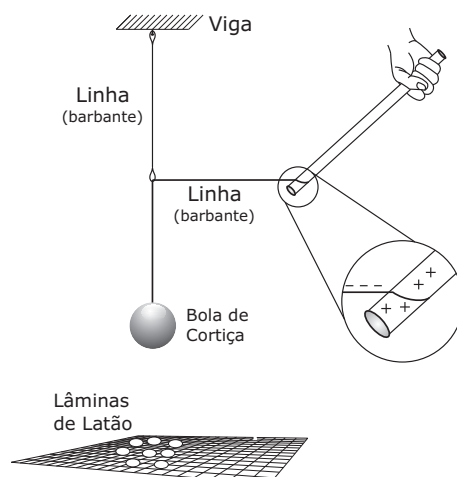


Figura 58: Representação esquemática do experimento. A primeira linha (barbante) vertical superior está presa à viga por um gancho e tem um laço em sua extremidade inferior. A segunda linha (barbante) tem a bola de cortiça em uma extremidade e o tubo de vidro eletrizado na outra extremidade. Ela passa dentro do laço da extremidade inferior da primeira linha, ficando com a metade presa à bola de cortiça na vertical e com a metade presa ao tubo de vidro na horizontal. Em detalhe há uma representação qualitativa das cargas elétricas no tubo e na extremidade da segunda linha próxima ao tubo. Nesta configuração a bola de cortiça não atrai as lâminas de latão que estão abaixo dela.

que pudemos conseguir. E apesar da pequenez do tubo [de vidro], as lâminas de latão foram atraídas e repelidas além do que eu esperava. Como não tínhamos maiores alturas aqui, o Sr. Wheler estava ansioso para verificar se não poderíamos levar a virtude elétrica horizontalmente. Então, contei-lhe as tentativas que havia feito com esse propósito, mas sem sucesso. Contei-lhe, [ainda,] o método e os materiais utilizados, como mencionado acima. Wheler, então, propôs uma linha de seda para sustentar a linha [presa ao tubo de vidro e à bola, provavelmente feita de barbante] pela qual passaria a virtude elétrica. Eu lhe disse que isso poderia melhorar [o experimento] devido à pequena espessura [da linha de seda], de forma que haveria menos virtude [elétrica] levada da linha de comunicação,<sup>37</sup> com o que, junto com o método apropriado [que o] Sr. Wheler planejou, com [o] grande esforço que ele mesmo empregou e [com] a assistência de seus empregados, obtivemos sucesso muito além da nossa expectativa.

O primeiro experimento foi feito na galeria atapetada em 2 de julho de 1729, por volta das dez da manhã. Aproximadamente à quatro pés [1,2 m] [p. 27] da extremidade da galeria havia uma linha cruzada que foi fixada pelas [suas] pontas em cada lado da galeria por dois pregos. A parte do meio da linha era [de] seda, e o restante em cada

<sup>37</sup>Gray passa a chamar de “linha de comunicação” a linha que está conectada entre o tubo de vidro atritado e a bola. Esta linha de comunicação normalmente é *packthread*, isto é, barbante. Tanto a linha de comunicação quanto a bola presa em sua extremidade se comportam como materiais condutores nos experimentos de Gray.



extremidade [era de] barbante. Então, a linha [de comunicação] na qual a bola de marfim foi pendurada, e pela qual a virtude elétrica seria transmitida até ela a partir do tubo, com comprimento de oitenta pés e meio [24,1 m], foi colocada sobre a linha de seda cruzada, de tal forma que a bola [ficasse] pendurada à aproximadamente nove pés [2,7 m] abaixo dela. Então, a outra extremidade da linha [de comunicação] foi suspensa no bastão de vidro por um laço, e as lâminas de latão colocadas sob a bola [e] sobre um pedaço de papel branco. Quando o tubo foi atritado, a bola atraiu as lâminas de latão e as manteve suspensas nela por algum tempo.<sup>38;39</sup>

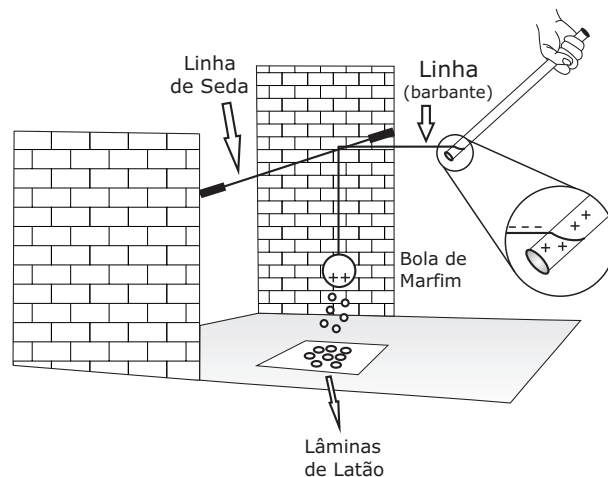


Figura 59: Representação esquemática do experimento. A linha (barbante) amarrada ao tubo de vidro eletrizado está apoiada por uma linha de seda presa às paredes da galeria por pregos. Desta forma, as lâminas de latão são atraídas pela bola de marfim que está eletrizada. Em detalhe há uma representação qualitativa das cargas elétricas no tubo, na extremidade da linha próxima ao tubo, assim como na bola de marfim.

[Com] este experimento ocorrendo tão bem, e a galeria não nos permitindo ir mais longe em comprimento, o Sr. Wheler pensou em outro meio, pelo qual poderíamos aumentar o comprimento da nossa linha, o qual [consistia] em colocar uma outra linha cruzada próxima à outra extremidade da galeria. E sobre a parte de seda de ambas as linhas [cruzadas] foi colocada uma linha [de comunicação] suficientemente comprida para ser retornada até a outra ponta, onde a bola estava pendurada. Embora, agora, as duas pontas

<sup>38</sup>Ver as Figuras 59 e 60.

<sup>39</sup>Neste experimento, o barbante está apoiado sobre uma linha de seda, que é um material isolante para estes experimentos, e por isso o sistema não está aterrado como no experimento anterior (Figura 58). O barbante e a bola de marfim comportam-se como condutores neste experimento. Do ponto de vista da “física atual”, o sistema composto pelo barbante e pela bola de marfim fica polarizado devido à influência do tubo de vidro eletrizado. Como a carga elétrica resultante na bola é diferente de zero, ocorre a atração das lâminas de latão que estão sob ela. (ASSIS, 2010, p. 250). Note que é o primeiro experimento em que Gray consegue um material isolante para apoiar a linha de condução. Como veremos mais adiante, isso o levará à importante diferenciação entre os materiais denominados atualmente de *condutores* e *isolantes* elétricos.



Figura 60: Esta figura ilustra Gray na galeria atritando um tubo de vidro que está sendo segurado por sua mão (FIGUIER, 1867, p. 441);(FIGUIER, 1985, p. 321);(BORVON, 2006);(FERREIRA; MAURY, 1991, p. 88). Um barbante preso ao tubo está apoiado sobre cordões de seda.

da linha estivessem na mesma extremidade da galeria,<sup>40</sup> foi tomado cuidado [para] que o tubo estivesse suficientemente distante [da bola e das lâminas de latão], para não ter qualquer influência sobre as lâminas de latão, exceto a [influência] que passasse pela linha de comunicação. Então, [com] o bastão [de vidro] sendo atritado e as lâminas de latão mantidas embaixo da bola de marfim, a virtude elétrica passou pela linha de comunicação para a outra extremidade da galeria e voltou novamente para a bola de marfim, a qual atraiu as lâminas de latão e suspendeu-as como antes. O comprimento total da linha [de comunicação] era de 147 pés [44,1 m].

[p. 28] Então, pensamos em testar se a atração não seria mais forte sem dobrar ou retornar a linha. Encontramos meios de fazer isso no celeiro, onde tínhamos uma linha de 124 pés [37,2 m] de comprimento, quatorze pés [4,2 m] dos quais pendurados perpendicularmente à linha de seda. Agora, a atração foi, como concluímos, mais forte do que quando a linha foi retornada, como na galeria atapetada.

Em 3 de julho, tendo agora trazido comigo o tubo de vidro grande, entre dez e onze [horas] da manhã, fomos novamente para o celeiro levando conosco o bastão maciço [de vidro], e repetimos o último experimento mencionado, tanto com o tubo quanto com o bastão. Mas a atração não foi tão forte quanto na noite anterior, nem foi tão grande a diferença na atração comunicada pelo bastão maciço e [pelo] tubo de vidro, como esperávamos, considerando a diferença de seus comprimentos e diâmetros.

Procedemos, então, [para levar a virtude atrativa] mais longe, adicionando muito mais linha [de comunicação] para fazer um retorno na outra extremidade do celeiro, [sendo

<sup>40</sup>Com uma ponta da linha de comunicação presa ao tubo de vidro, enquanto que sua outra ponta estava presa à bola de marfim.

que,] agora o comprimento total da linha era de 293 pés [88 m]. Embora a linha [de comunicação] fosse muito alongada, não encontramos nenhuma diferença perceptível na atração, [pois] a bola atraiu tão fortemente quanto antes. Isso nos encorajou a adicionar outro retorno, mas ao começarmos a atritar o tubo a nossa linha de seda se rompeu, não sendo forte o suficiente para suportar o peso da linha [de comunicação], quando chacoalhada pelo movimento dado a ela pelo atrito do tubo [de vidro]. Diante disso, tendo trazido comigo fios [ou arames] de latão e de ferro, colocamos um fio fino de ferro no lugar da [linha de] seda, mas esse [fio] era muito fraco para suportar o peso da linha [de comunicação]. Então, colocamos um fio de latão um pouco mais grosso do que [p. 29] o [fio] de ferro. Esse suportou a nossa linha de comunicação, mas embora o tubo fosse bem atritado, não houve o menor movimento ou atração [das lâminas de latão] dada pela bola, nem [mesmo] com o grande tubo [de vidro com 1 m de comprimento], que utilizamos quando notamos que o pequeno bastão maciço [de vidro com 28 cm de comprimento] era ineficaz. *Por isso, agora ficamos convencidos de que o sucesso que tivemos anteriormente dependia [do tipo] das linhas que sustentavam a linha de comunicação, que eram de seda, e não devido a elas serem finas, como eu imaginava que poderia ser antes de [realizar] o teste.* O mesmo efeito ocorreu aqui, como quando a linha [de comunicação] que [deveria] transmitir a virtude elétrica foi sustentada por barbante [como no caso da Figura 58]; a saber, quando os eflúvios [elétricos] chegam ao fio [metálico] ou barbante que sustenta a linha [de comunicação], eles passam por eles [e vão] para a madeira na qual estão fixadas as pontas do fio ou do barbante, e assim [os eflúvios elétricos] não vão mais adiante [ao longo] da linha [de comunicação] que [deveria] levá-los para a bola de marfim.<sup>41</sup>

Ao descobirmos que as nossas linhas de seda eram muito fracas para suportar muitos retornos da linha [de comunicação], o Sr. Wheler pensou em outro modo de realizar [o experimento] com elas, de forma que poucos retornos pudessem ser [colocados] em cada linha de seda. Isto foi [feito] colocando duas outras linhas cruzadas alguns pés abaixo das linhas superiores, de modo que todas as outras voltas da linha [de comunicação] foram suspensas pela linha cruzada mais abaixo. Com este método ficou metade do peso da linha [de comunicação] sobre cada [linha] de seda, em relação [ao peso] que havia quando somente duas linhas cruzadas foram utilizadas. Com este artifício, conseguimos

<sup>41</sup>Neste momento Gray explicita duas importantes conclusões: i) que existem materiais *condutores de eletricidade* (chamados à época de *não-elétricos*) e materiais *não-condutores de eletricidade* (chamados à época de *elétricos*). Alguns materiais (*e.g.*, barbante, fios metálicos, madeira, etc.) permitem a dissipação ou condução da eletricidade quando utilizados como suporte para a linha de comunicação. Outros materiais (como a seda) não permitem essa dissipação. ii) Que a característica de o material permitir ou não a condução elétrica não está relacionada à espessura do fio, mas sim à natureza do material de que é feito este fio (por exemplo, se é feito de metal ou de seda). Estas são as descobertas mais importantes deste artigo.

acrescentar um comprimento maior na linha [de comunicação], sem o risco de romper nossa [linha de] seda. Então, colocamos uma linha [de comunicação] que tinha 666 pés [200 m] de comprimento, com oito retornos. Em seguida, as lâminas de latão foram colocadas sobre um pedaço de papel branco embaixo da bola de marfim, e o tubo, com a outra ponta da linha [de comunicação] pendurada [p. 30] nele, foi atritado por algum tempo. [Desta forma,] as lâminas de latão foram atraídas tão notoriamente quanto tinham sido com linhas [de comunicação] muito mais curtas. Repetimos então o experimento com o pequeno bastão maciço [de vidro], e notamos que havia uma certa atração, mas nem de perto tão grande quanto [a atração que ocorria] com o tubo maior.<sup>42</sup>



Figura 61: A linha de comunicação, feita de um material condutor, com vários retornos e apoiada sobre fios de material isolante (GAUDENZI; SATOLLI, 1989; BLONDEL; WOLFF, 2005). Em uma das extremidades da linha de comunicação há uma bola atraindo corpos leves e nas proximidades da outra extremidade há alguém segurando o tubo eletrizado.

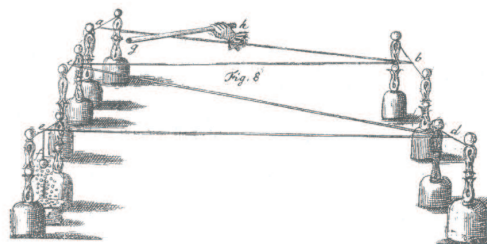


Figura 62: Linha de condução apoiada sobre fios isolantes. Em uma das extremidades da linha de comunicação há uma bola atraindo corpos leves e nas proximidades da outra extremidade está o tubo eletrizado. Figura extraída de (DOPPELMAYR, 1774).

Embora a ida e volta dos eflúvios elétricos fosse muito surpreendente, ainda queríamos testar quão distante a virtude atrativa poderia ser levada em uma linha reta contínua.

<sup>42</sup>As Figuras 61 e 62 ilustram os experimentos em que a linha de condução fazia retornos. No entanto, elas não representam exatamente os experimentos descritos aqui.

Para isso utilizamos o seguinte método: aquela ponta da linha onde a atração estava para ocorrer foi suspensa sobre uma linha de seda que estava fixada cruzada na janela do sótão, no lado norte da casa, [e] tinha, por estimativa, aproximadamente quarenta pés [12 m] de altura. À aproximadamente cem pés [30 m] desse ponto duas estacas ou postes de aproximadamente dez pés [3 m] de comprimento foram fincadas na terra, à uma distância de dois pés [0,6 m] entre elas, de forma que ficassem de pé quase na perpendicular. Isto foi [feito] no grande jardim. Além dessas, foi fixado outro par de estacas no grande campo, que é separado do jardim por um profundo fosso, a aproximadamente à mesma distância do primeiro [par, *i.e.*, cerca de 30 m]. Então, [foram fixados] quatro outros [pares] à mesma distância. Nas pontas dessas estacas foram amarradas linhas cruzadas de seda, para sustentarem a linha de comunicação. Estando a linha de comunicação apoiada sobre a linha de seda, a bola de marfim passando pela janela do sótão e a outra ponta da linha [de comunicação] pendurada no tubo por um laço, as lâminas de latão foram colocadas embaixo da bola. Depois que o tubo tinha sido atritado por algum tempo, eles me chamaram para informar que havia uma atração das lâminas de latão. Isto foi repetido várias vezes com sucesso. Então o Sr. Wheler veio ao campo e atritou o tubo ele próprio, [p. 31] [para] que eu pudesse ver que havia uma atração. A qual eu vi, embora notasse que ela não fosse tão forte como quando a atração foi levada por uma linha mais comprida [feita por meio] de retornos, como no experimento mencionado anteriormente. O comprimento da linha era de 650 pés [195 m]. Este [experimento] foi repetido várias vezes, mas como o experimento foi feito à noite, afinal o orvalho começou a cair. Começamos por volta das sete horas, ou pouco tempo depois, mas antes das oito [horas] a atração cessou. Mas se isso foi causado pela queda do orvalho, ou por estar muito quente,<sup>43</sup> não podemos dizer categoricamente, mas prefiro atribuí-lo à última causa. Este experimento foi feito no dia 14 de julho de 1729.

Note que, embora chamemos o transporte da virtude elétrica por linhas nesta posição como sendo horizontal, você não deve entender isso em um sentido estrito, como pode ser facilmente percebido pela descrição do método. Além disso, como a linha [de comunicação] encurvava (*swagged down*) muito abaixo das linhas de seda que a suportavam, na parte central entre estas linhas [de seda que funcionam como suporte]; a linha [de comunicação] era alguns pés maior do que a distância entre as estacas.<sup>44</sup>

Alguns dias depois este experimento foi repetido da janela fechada da pequena torre,

<sup>43</sup>No original: “*or by my being very hot*”.

<sup>44</sup>A curva formada por um fio preso em seus dois extremos e sujeito somente à ação do seu peso é denominada *catenária*.

quando a linha [de comunicação] tinha 765 pés [230 m], e a atração não foi menos perceptível do que no experimento mencionado anteriormente.

*Mais experimentos feitos [na casa do] Sr. Wheler mostrando que grandes superfícies podem ser impregnadas com os eflúvios elétricos.*

Um grande mapa-múndi de vinte e sete pés quadrados [2,4 m<sup>2</sup>], e uma toalha de mesa de cinquenta e nove pés quadrados [5,3 m<sup>2</sup>], foram pendurados no tubo [de vidro] por [p. 32] barbantes e tornaram-se elétricos. Um guarda-chuva suspenso por um barbante amarrado ao seu cabo tornou-se fortemente elétrico.

*Um experimento proposto pelo Sr. Wheler para verificar se a virtude elétrica seria de alguma forma impedida pelos eflúvios magnéticos de um ímã.*

Este [ímã] tinha uma pequena chave pendurada por um de seus braços de ferro,<sup>45</sup> e o ímã, juntamente com a chave pendurada a ele, foram suspensos no tubo [de vidro] por um barbante. Então, o tubo foi atritado e tanto a chave quanto o ímã atraíram as lâminas de latão, e a atração foi a mesma que a de outros corpos.<sup>46;47;48</sup>

*Um experimento feito para mostrar que a virtude elétrica é transportada ao mesmo tempo por vários caminhos, e pode ser transmitida para distâncias consideráveis.*

Foram feitos três suportes, cada um composto de duas peças verticais de abeto fixadas perpendicularmente, próximos às extremidades de uma grande tábua quadrada, distantes uma da outra perto de um pé e meio [45 cm, sendo esta a distância entre as duas peças verticais que compõem cada suporte]. No topo delas foram amarradas linhas de seda para sustentar as linhas de comunicação com o tubo e os corpos de atração (*attracting bodies*).

<sup>45</sup>*Arming irons.* Gray pode ter feito o experimento com um ímã na forma de ferradura.

<sup>46</sup>Ver a Figura 63.

<sup>47</sup>Do ponto de vista da “física atual”, o tubo eletrizado positivamente polariza todo o conjunto formado pelo barbante, ímã e chave, que são todos condutores elétricos. Dessa forma, a parte superior do barbante em contato com o tubo fica eletrizada negativamente, enquanto que a parte inferior da chave fica carregada positivamente. Estas cargas na parte inferior da chave são as responsáveis pela atração das lâminas de latão.

<sup>48</sup>Neste experimento, podemos questionar se as lâminas metálicas não foram atraídas magneticamente pelo próprio ímã. Para que tivesse ocorrido esta atração magnética, as referidas lâminas metálicas teriam que ser de material magnético. Apesar delas serem denominadas de “latão” no texto, não é possível dizer qual a composição dessa liga à época de Gray. Portanto, tanto elas poderiam ser de algum material não magnético quanto de algum material magnético. Caso elas fossem feitas de algum material não magnético, a atração magnética exercida pelo ímã estaria descartada e a atração observada teria de ser elétrica. Vamos agora supor que estas lâminas fossem feitas de alguma material magnético. Neste caso, se a atração fosse magnética e não elétrica, assim que o aparato fosse posicionado sobre as lâminas, a uma determinada distância delas, teria ocorrido a atração. Porém, o texto reporta que esta atração ocorreu somente após o atrito do tubo de vidro. Se supormos, ainda, que a distância entre as lâminas e a chave não variou durante a realização do experimento, podemos atribuir a atração das lâminas à eletrização da chave e do ímã. Ou seja, podemos descartar a hipótese de esta atração das lâminas ter sido magnética.

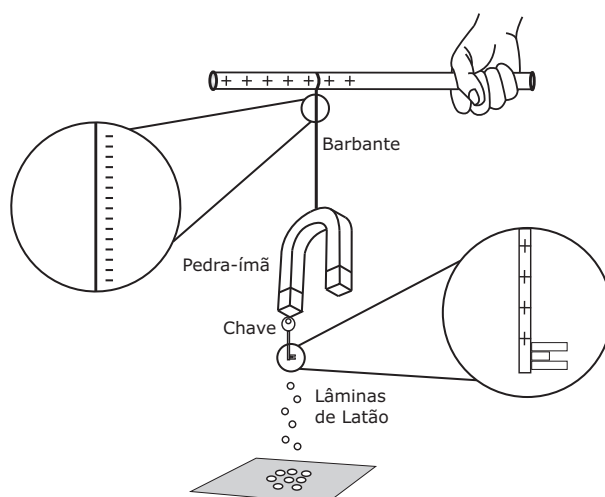


Figura 63: Ilustração de uma possível conformação do sistema formado pelo tubo de vidro eletrizado, barbante, ímã e chave. Abaixo da chave estão as lâminas de latão sendo atraídas devido à eletrização da parte inferior do ímã e da chave. Em detalhe há uma representação qualitativa das cargas elétricas na parte superior do barbante e na parte inferior da chave.

Um desses suportes foi colocado na grande sala, próximo à extremidade mais distante, o outro [foi colocado] na pequena sala, e o terceiro no *hall*, que ficava entre as duas salas. Como os outros dois [suportes] foram [colocados] um deles à direita e o outro à esquerda, este último foi colocado próximo da janela do *hall* à frente. Os dois primeiros [suportes] tinham aproximadamente cinquenta pés [15 m], o outro aproximadamente vinte pés [6 m] [de distância] do lugar onde [p. 33] o tubo estava colocado. Então, pegamos três pequenos pedaços quadrados de madeira, que foram amarrados a três linhas de barbante, as quais tinham aproximadamente o comprimento mencionado acima. Elas foram colocadas sobre as linhas de seda e as outras pontas foram presas ao tubo por um laço. Então, com as lâminas de latão colocadas embaixo dos pedaços de madeira e o tubo atritado, todos eles atraíram as lâminas de latão ao mesmo tempo. Algum tempo depois, na minha ausência, o Sr. Wheler testou um atizador de brasas quente já vermelho (*red hot poker*) e descobriu que a atração era a mesma que quando [estava] frio. Ele também suspendeu no tubo um pintinho vivo pelas pernas e descobriu que o peito dele era fortemente elétrico.

*[Na casa do] Sr. Godfrey fiz os experimentos a seguir, mostrando que a virtude elétrica pode ser transportada a partir do tubo sem tocar a linha de comunicação, apenas mantendo-o próximo a ela.*

O primeiro desses experimentos foi feito em 5 de agosto de 1729. Mencionarei aqui alguns dos mais consideráveis, mas como nem sempre anotei o dia do mês, alguns deles podem não ser relatados na ordem temporal em que foram feitos, [da mesma forma] nem sempre menciono o comprimento das linhas, [pois] pensei que estes não são absolutamente

necessários.

Peguei um pedaço de *linha muito fina*,<sup>49</sup> como [aquelas] em que se secam roupas de linho, de aproximadamente onze pés [3,3 m] de comprimento, a qual, por um laço em sua ponta superior, foi suspensa em um prego que estava fixado em uma das vigas do sótão, e tinha em sua ponta inferior [p. 34] um peso de chumbo de quatorze libras [6,3 kg] pendurado nela por uma argola de ferro. Então, as lâminas de latão foram colocadas embaixo do peso, e o tubo foi atritado, e ao ser mantido próximo da linha [mas] sem tocá-la, o peso de chumbo atraiu e repeliu as lâminas de latão várias vezes seguidas, à altura de no mínimo três [7,6 cm], se não quatro polegadas [10 cm]. Se o tubo fosse mantido três [90 cm] ou quatro pés [1,2 m] acima do peso, haveria uma atração, mas se ele fosse mantido mais acima, de modo a ficar próximo à viga onde o peso estava pendurado pela linha muito fina, não haveria atração.<sup>50;51;52</sup>

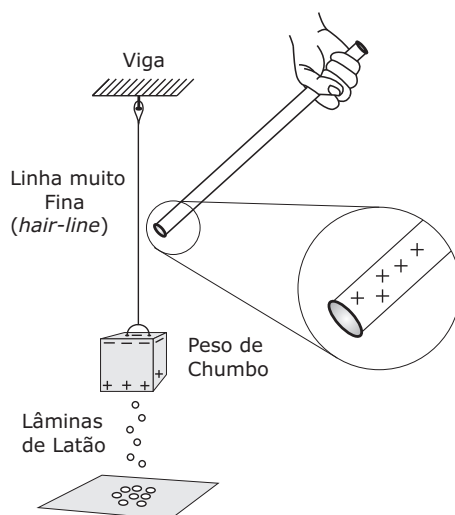


Figura 64: Ilustração do sistema formado pelo peso de chumbo preso ao teto por uma linha muito fina. Na Figura o peso de chumbo preso a uma viga por uma linha muito fina atrai lâminas de latão sem o tubo eletrizado encostar na linha ou no peso. Em detalhe e no peso de chumbo há uma representação qualitativa das cargas elétricas. O peso de chumbo foi feito em forma de cubo por opção dos tradutores.

*Um experimento mostrando que a virtude elétrica pode ser transportada ao mesmo*

<sup>49</sup>*Hair-line* no original. Não fica evidente de que material estas *linhas muito finas* eram compostas, mas elas funcionavam como isolantes (ASSIS, 2010, p. 256). Esta linha pode ser de seda ou de crina de cavalo (ASSIS, 2010, p. 258). Sempre que nos referirmos a uma *linha fina* ou *muito fina* neste trabalho, estamos nos referindo a esta *hair-line* de Gray.

<sup>50</sup>Ver a Figura 64.

<sup>51</sup>Com este experimento Gray evidencia uma forma de eletrização que até então não era conhecida, que é a eletrização sem que haja contato. Atualmente este tipo de eletrização é denominado de *eletrização por indução*, *eletrização por influência*, *polarização por indução*, ou *polarização por influência*.

<sup>52</sup>Do ponto de vista da “física atual”, o tubo eletrizado positivamente polariza, por indução, o peso de chumbo. Com isso, a parte superior do peso de chumbo fica carregada negativamente e sua parte inferior fica carregada positivamente. Então, as lâminas de latão são atraídas pela parte inferior do peso de chumbo, que apresenta cargas de mesma natureza que as cargas do tubo de vidro.



tempo por vários caminhos, por uma linha de comunicação, sem tocar a referida linha.

Pegamos duas linhas muito finas, entre quatro [1,2 m] e cinco pés [1,5 m] de comprimento. Para cada uma dessas foi amarrado um pedaço quadrado de cortiça por meio de barbante. As linhas foram suspensas por laços em suas pontas superiores em dois pregos, e próximo às suas extremidades inferiores foi amarrado um pedaço de barbante, pelo qual havia a comunicação entre as duas linhas muito finas. Então, as lâminas de latão foram colocadas sob as cortiças, o tubo foi atritado e mantido próximo a uma das linhas, [com isso] ambas as cortiças atraíram; mas aquela que estava mais distante [atraiu] muito mais forte do que aquela que estava próxima ao tubo.<sup>53</sup> [Colocando o tubo atritado] próximo ao meio da linha de comunicação [i.e., do barbante], ambas [as cortiças] atraíram com mesma força.

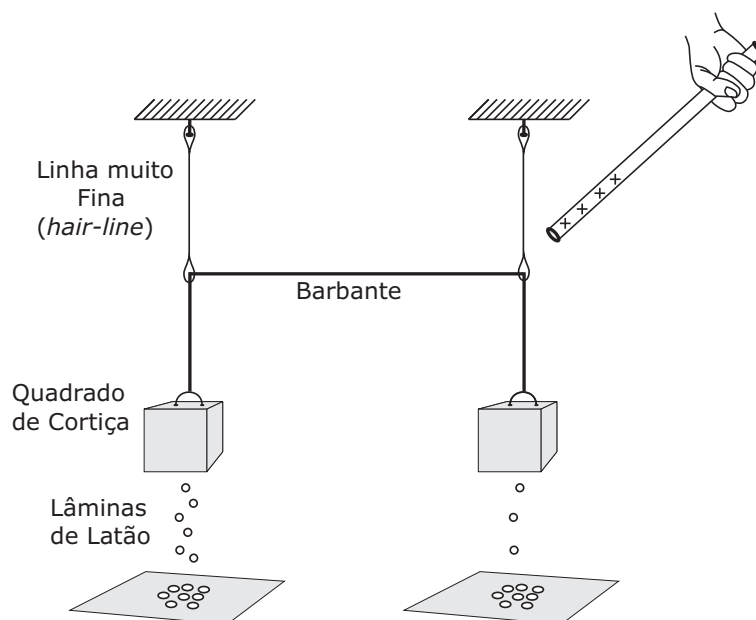


Figura 65: Ilustração do sistema formado por dois quadrados de cortiça presos por um barbante. Este barbante está preso ao teto por duas linhas finas verticais. Na Figura é possível ver as lâminas de latão sendo atraídas devido à eletrização das cortiças. As lâminas que estão sob a cortiça mais afastada do tubo eletrizado são atraídas mais fortemente do que as lâminas abaixo da cortiça mais próxima do tubo.

### [p. 35]

*Algum tempo depois, [na casa do] Sr. Wheeler, fizemos os experimentos a seguir, a fim de testar se a atração elétrica é proporcional à quantidade de matéria nos corpos.*

Foram feitos dois cubos de carvalho, de [faces com] aproximadamente seis polegadas quadradas [15,2 cm<sup>2</sup>], um maciço e o outro oco. Estes [cubos] foram suspensos por duas

<sup>53</sup>Ver a Figura 65.

linhas muito finas, quase que da mesma maneira que no experimento mencionado acima. A distância entre os cubos era, por estimativa, de aproximadamente quatorze [4,2 m] ou quinze pés [4,5 m]. A linha de comunicação foi amarrada a cada linha muito fina e as lâminas de latão [foram] colocadas embaixo dos cubos. O tubo foi atritado e mantido acima da parte central da linha [*i.e.*, acima da parte central do barbante horizontal que interligava as linhas finas verticais presas ao teto], e tão próximo quanto se possa imaginar, a iguais distâncias dos cubos, os quais atraíram e repeliram as lâminas de latão ao mesmo tempo e à mesma altura. *De forma que pareceu não haver mais atração no cubo maciço do que no oco.* Apesar disso, estou inclinado a pensar que os eflúvios elétricos passam através de todas as partes interiores do cubo maciço, *apesar de nenhuma parte, exceto a superfície, atrair.*<sup>54;55;56</sup> *A partir de vários experimentos parece que se algum outro corpo tocar aquele que atrai, sua atração cessa até que o corpo seja removido, e [aquele que atraía] seja novamente excitado pelo tubo.*<sup>57;58</sup>

*Uma continuação dos experimentos feitos [na casa do] Sr. Godfrey.*

Prossigui com um experimento para verificar se a virtude elétrica não poderia ser transmitida para uma vara, sem inseri-la no buraco do tubo, ou sem tocar a vara. Obtive êxito [p. 36] suspendendo a vara ou por linhas de seda ou por pedaços de linha de pesca de crina de cavalo (*horse-hair fishing-lines*), [e] colocando uma bola de cortiça na extremidade menor da vara.

Em 13 de agosto, peguei uma grande vara que tinha vinte e sete pés [8,1 m] de comprimento, duas polegadas e meia [6,3 cm] de diâmetro na extremidade maior, e cerca de meia polegada [1,3 cm] [de diâmetro na extremidade] menor. Ela era de uma espécie de

<sup>54</sup>Ver a Figura 66.

<sup>55</sup>Este trecho traz uma descoberta muito importante, a saber, a de que o excesso de cargas elétricas em um condutor sólido (no caso deste experimento os cubos de carvalho) em equilíbrio eletrostático (sem movimento de cargas) se distribui inteiramente sobre a superfície. (CLARK; MURDIN, 1979, p. 396);(ASSIS, 2010, p. 262). “Embora esta propriedade elétrica fundamental de condutores em equilíbrio eletrostático seja atribuída a Michael Faraday (1791-1867), sua descoberta é na verdade devida a Gray.” (ASSIS, 2010, p. 262).

<sup>56</sup>Do ponto de vista da “física atual”, o tubo eletrizado positivamente quando aproximado do ponto médio do barbante, que é condutor, causa uma concentração de cargas negativas nesta região e uma concentração de cargas positivas nas superfícies inferiores dos dois cubos condutores. Então, as lâminas de latão são atraídas tanto pela parte inferior do cubo maciço quanto pela parte inferior do cubo oco, as quais apresentam em igual quantidade cargas de mesmo sinal que as cargas do tubo de vidro eletrizado.

<sup>57</sup>Assis (2010) traduz o trecho em itálico da seguinte forma: “[...] pois a partir de várias experiências parece que se qualquer outro corpo [C] toca aquele [corpo B eletrizado por contato com o corpo A] que atrai, sua atração cessa até que este corpo [C, que tocou o corpo eletrizado B] tenha sido removido, e o outro [corpo B, que estava inicialmente eletrizado e que foi descarregado pelo toque] tenha sido novamente excitado pelo tubo [de vidro A que era carregado pelo atrito]” (ASSIS, 2010, p. 81-2).

<sup>58</sup>Este trecho traz uma descoberta importante, a saber, o fato de um condutor eletrizado ser descarregado quando é aterrado (no caso de Gray o aterramento ocorre quando algum outro corpo condutor encosta no corpo que estava atraindo) (ASSIS, 2010, p. 262).

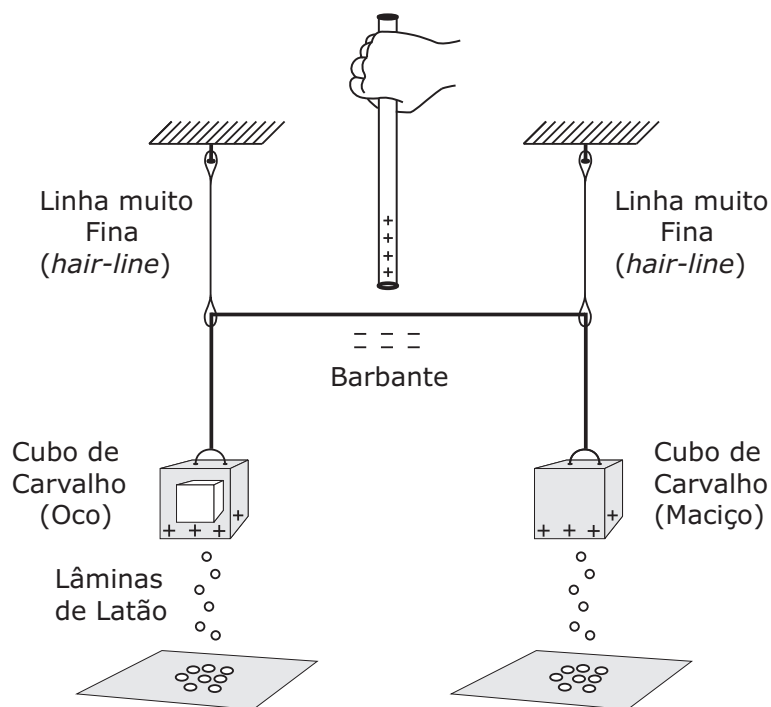


Figura 66: Ilustração do sistema formado por dois cubos de carvalho presos por um barbante condutor. O barbante está preso ao teto por linhas muito finas. Na Figura é possível ver as lâminas de latão sendo atraídas devido à eletrização dos cubos de carvalho. Apresenta-se também uma representação qualitativa das cargas elétricas.

madeira chamada de faia (*horse-beech*), [e estava] com casca. Esta [vara] foi pendurada por duas linhas muito finas de aproximadamente quatro pés e meio [1,4 m] de comprimento. A primeira linha estava a cerca de dois pés [60 cm] da extremidade maior da vara, e a outra a cerca de oito pés [2,4 m] da extremidade menor, de forma que a vara [ficasse] pendurada na horizontal. Na extremidade menor da vara foi pendurada uma bola de cortiça de aproximadamente uma polegada e meia [3,8 cm] de diâmetro, por um barbante de aproximadamente um pé [30 cm] de comprimento, e uma pequena bola de chumbo [foi colocada] na cortiça para manter o barbante estendido. Então, as lâminas de latão foram colocadas embaixo da cortiça, o tubo foi atritado e mantido próximo da maior extremidade da vara, [com isso] a bola de cortiça atraiu as lâminas de latão fortemente para a altura de uma polegada [2,54 cm], se não mais. Em seguida, as lâminas foram colocadas embaixo de várias partes da vara, e foram atraídas por ela, como o Sr. Godfrey observou, mas não foram atraídas tão fortemente quanto haviam sido pela [bola de] cortiça.<sup>59;60</sup>

<sup>59</sup>Ver a Figura 67.

<sup>60</sup>Do ponto de vista da “física atual”, o tubo eletrizado positivamente, quando aproximado da vara de madeira, que se comporta como um condutor, causa uma concentração de cargas negativas na região da vara que está mais próxima do tubo. Desta forma, a parte inferior da bola de cortiça, na outra extremidade do conjunto, fica carregada positivamente, uma vez que o barbante e a cortiça também são condutores e há movimentação de cargas. Então, as lâminas de latão são atraídas pela parte inferior da bola, que apresenta cargas de mesma natureza que as cargas do tubo de vidro.

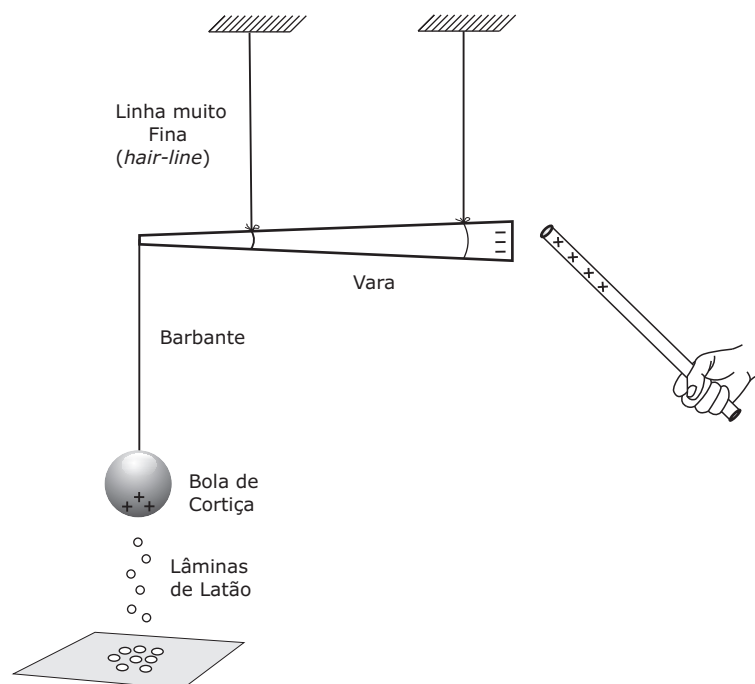


Figura 67: Ilustração do sistema formado por uma vara presa ao teto por linhas muito finas e um barbante ligando uma bola de cortiça à vara. Na Figura é possível ver as lâminas de latão sendo atraídas devido à eletrização da bola de cortiça. É apresentada também uma representação qualitativa das cargas elétricas.

*Aproximadamente no começo de setembro fiz o experimento a seguir, que mostra que os eflúvios elétricos serão transportados em um círculo, e serão comunicados de um círculo para outro.*

Foi pego um aro de aproximadamente dois pés e duas polegadas [65 cm] de diâmetro, o suspendi por uma linha muito fina em um prego fixado em uma viga.<sup>61</sup> A linha tinha aproximadamente quatro pés [1,2 m] de comprimento. As lâminas de latão foram colocadas embaixo do aro, o tubo foi atritado e mantido [p. 37] dentro do aro, próximo à parte superior dele e sem tocá-lo por várias polegadas. Então, a parte inferior do aro atraiu e repeliu as lâminas de latão fortemente.<sup>62;63</sup> Mas quando [o tubo foi] colocado próximo à parte inferior do aro, houve uma atração muito pequena, se [é que houve] alguma atração.<sup>64;65</sup> Se o tubo fosse mantido próximo ao lado de fora do aro, ele atraía; mas mais

<sup>61</sup>Gray não explicita de que material este aro é composto, mas provavelmente é de um material condutor elétrico para experimentos de eletrostática como, por exemplo, madeira ou metal.

<sup>62</sup>Ver a Figura 68(a).

<sup>63</sup>Do ponto de vista da “física atual”, o tubo eletrizado positivamente, quando aproximado da parte superior do aro, causa uma concentração de cargas negativas nesta região, uma vez que a linha que o prende à viga é isolante. Desta forma, a parte inferior do aro fica carregada positivamente. As lâminas de latão são essencialmente atraídas pelas cargas mais próximas a elas localizadas na parte inferior do aro.

<sup>64</sup>Ver a Figura 68(b).

<sup>65</sup>Do ponto de vista da “física atual”, nesta situação pode não ocorrer a atração das lâminas metálicas porque o tubo eletrizado positivamente induz uma concentração de cargas negativas na parte inferior do aro, de tal forma que a presença de cargas positivas e negativas faz com que a carga líquida naquela

fortemente quando ao mesmo tempo ele era mantido próximo ao nó da linha muito fina que suspendia o aro. Neste aro, foi amarrado um aro menor de aproximadamente um pé e meio [45 cm] de diâmetro, que foi amarrado [ao aro maior] por um barbante, ficando pendurado abaixo dele por cerca de duas polegadas [5 cm]. Eles foram suspensos, juntos, por uma linha muito fina, então as lâminas de latão e o tubo foram preparados, como já mencionado anteriormente. O tubo foi mantido próximo ao aro de cima, então a parte inferior do aro de baixo atraiu fortemente, e quando [o tubo foi] mantido perto da parte de cima do aro de baixo, [a parte inferior do aro de baixo atraiu] muito pouco. Mas, quando [o tubo foi] mantido perto da parte inferior do arco de baixo, não houve atração. [Ver a Figura 69.]

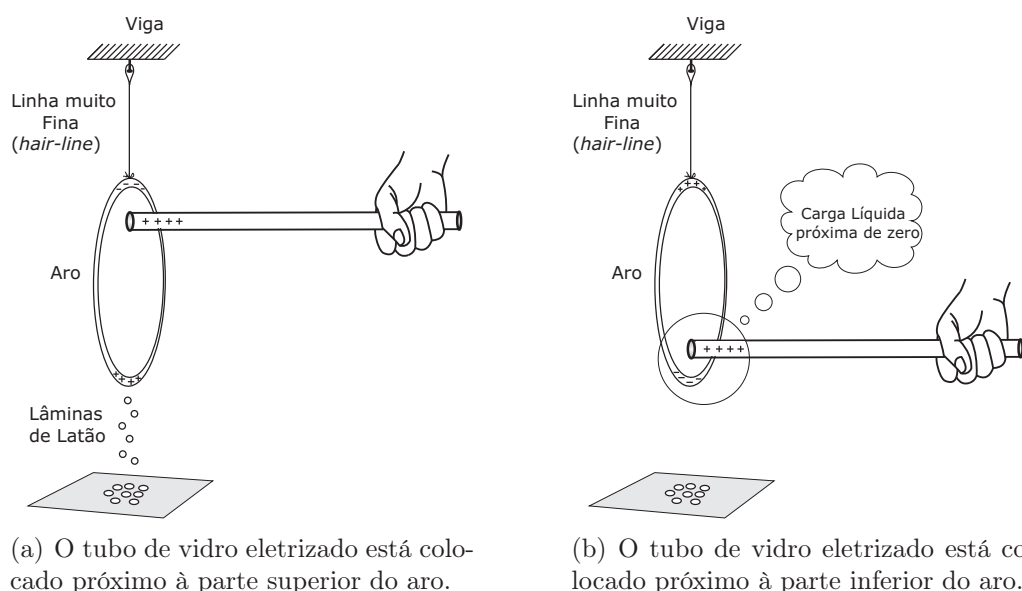


Figura 68: Ilustração do sistema formado por um aro preso à viga por uma linha muito fina. Na Figura há uma representação qualitativa das cargas elétricas.

*Em 15 de setembro fiz o experimento a seguir, o qual mostrou que os eflúvios elétricos têm o mesmo efeito em um círculo, quando sua posição é horizontal.*

Peguei um grande aro, de um pouco mais do que três pés [90 cm] de diâmetro, e perto de duas polegadas e meia [6,4 cm] de largura. Nele foram amarradas quatro linhas em distâncias aproximadamente iguais. [Estas linhas] são o que chamam de cordel,<sup>66</sup> que é [composta] de três linhas de barbante (*threads of packthread*) torcidas, cada uma com aproximadamente dois pés e oito polegadas [80,3 cm] de comprimento. Estes [quatro cordéis] foram amarrados com suas extremidades juntas a uma linha muito fina de aproximadamente dois pés e meio [75 cm] de comprimento, pela qual o aro foi [p. 38]

região seja próxima a zero. Ver a Figura 68(b).

<sup>66</sup>*Twine* no original.

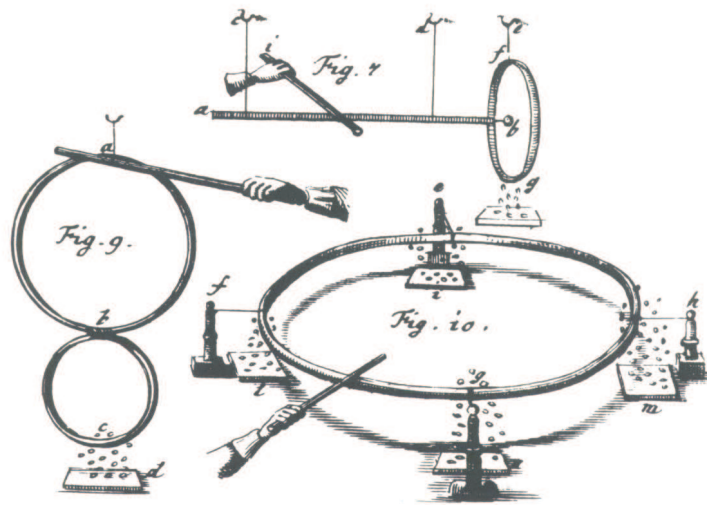


Figura 69: Ilustração dos experimentos de Gray com aros suspensos. Figura extraída de (DOPPELMAYR, 1774), também disponível em (HEILBRON, 1979, p. 249).

pendurado em um prego, como em outros experimentos, de forma que o aro agora [estivesse] pendurado na posição horizontal.<sup>67</sup> Então, as lâminas de latão foram colocadas embaixo da borda do aro, entre duas [5,0 cm] e três polegadas [7,6 cm] abaixo dela. O tubo foi atritado e colocado entre as cordas (*corde*s) sem tocá-las, [com isso] as lâminas foram atraídas e repelidas várias vezes seguidas. Mas quando [o tubo foi] mantido próximo ao lado de fora do aro, na parte oposta àquela onde estavam colocadas as lâminas de latão, a atração foi muito mais forte.<sup>68</sup>

Próximo ao fim do outono e começo do inverno de 1729, reiniciei minhas investigações atrás de outros corpos elétricos, para verificar qual adição eu poderia fazer ao catálogo daqueles mencionados anteriormente, nas páginas 21 e 22.<sup>69</sup> Encontrei muitos outros que têm a mesma propriedade e podem ser excitados para atrair pelo mesmo método. Como, por exemplo, folhas secas do junco (*reed*) e da íris (*flag*), da grama e do milho, tanto folhas quanto palha; as folhas das árvores, como as de loureiro, carvalho, imbuia (*walnut*), castanheiro (*chesnut*), aveleira (*hazle-nut*), macieira e folhas de árvore de pera. De forma que podemos concluir que as folhas de todos vegetais têm esta virtude atrativa.

*Agora, darei uma descrição dos experimentos feitos em meu quarto<sup>70</sup> no ano de 1730.*

Em 23 de março, dissolvi sabão na água do [rio] Tâmis, então pendurei um cachimbo por uma linha muito fina, de forma que [ficasse] suspenso quase na horizontal, com a boca do forninho para baixo. Mergulhei o cachimbo em uma solução de sabão e assoprei

<sup>67</sup>Ver a Figura 70.

<sup>68</sup>Ver a Figura 70.

<sup>69</sup>Estas páginas referem-se à paginação do artigo original, na tese encontra-se à página 146.

<sup>70</sup>Gray, provavelmente, refere-se ao seu quarto na *Charter-house* em Londres.

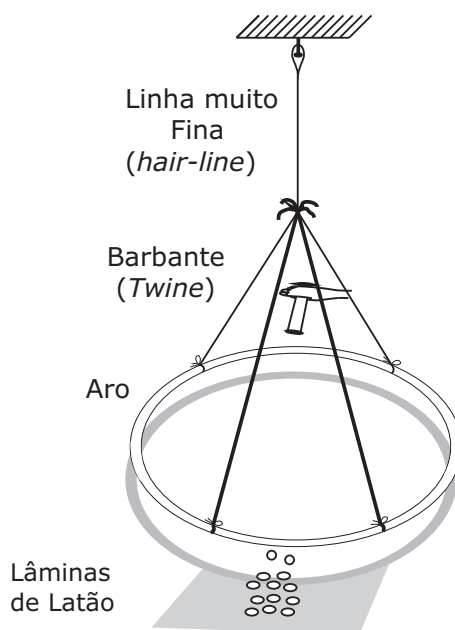


Figura 70: Ilustração do aro na posição horizontal preso a um prego no teto por meio de uma linha muito fina e de quatro barbantes. O tubo eletrizado é colocado próximo do aro, na parte oposta àquela onde estavam colocadas as lâminas metálicas abaixo de outra parte do aro. Estas lâminas são atraídas pelo aro.

uma bolha. As lâminas de latão [foram] colocadas em um suporte abaixo da bolha. O tubo foi então atritado e as lâminas de latão foram atraídas pela bolha, quando [p. 39] o tubo foi colocado próximo da linha muito fina.<sup>71</sup> Em seguida, repeti o experimento com outra bolha, mantendo o tubo próximo à extremidade pequena do cachimbo, e agora a atração foi muito maior, sendo que as lâminas de latão foram atraídas à altura de aproximadamente duas polegadas [5 cm].

Em 25 de março, repeti este experimento de uma maneira um pouco diferente. Agora, o cachimbo foi pendurado por duas linhas de costura de seda branca, de aproximadamente cinco pés e meio [1,7 m] de comprimento. Estas [linhas] foram penduradas em dois pregos fixados na viga do meu quarto, distantes uma da outra cerca de um pé [30 cm], por laços na outra ponta das linhas, pelas quais o cachimbo foi pendurado. Então, a bolha foi assoprada, e mantendo o tubo [próximo] à extremidade menor do cachimbo, a bolha atraiu as lâminas de latão à altura de aproximadamente quatro polegadas [10 cm]. Este experimento foi feito para verificar se os corpos fluidos não teriam uma eletricidade comunicada para eles.<sup>72</sup>

Em 8 de abril de 1730, fiz o experimento a seguir com um garoto entre oito e nove anos de idade. Seu peso, com roupa, era de quarenta e sete libras e dez onças [21,6 kg].

<sup>71</sup>Ver a Figura 71(a).

<sup>72</sup>Ver a Figura 71(b).

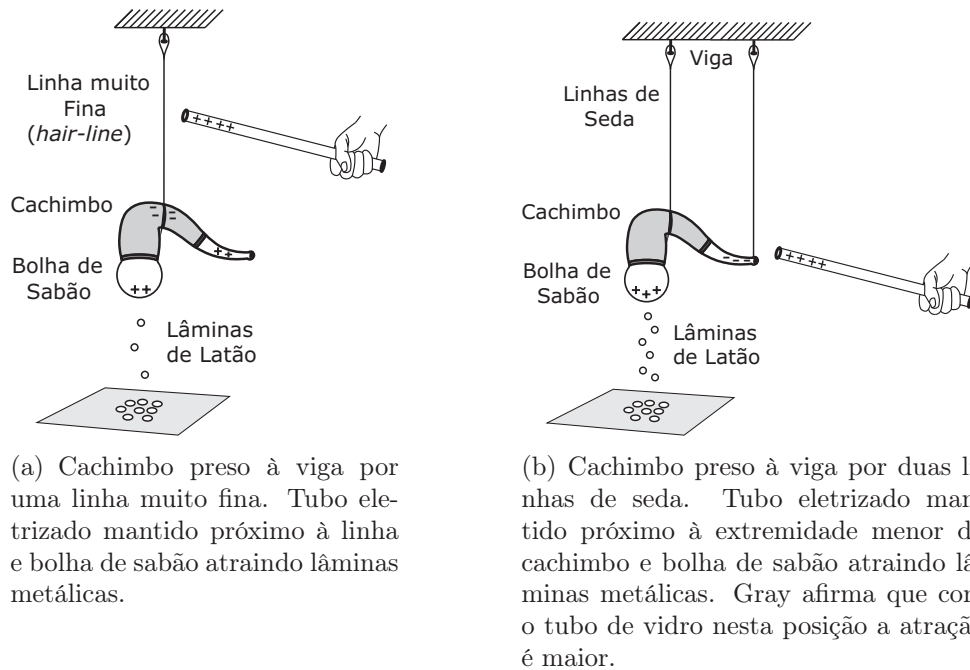


Figura 71: Ilustração do cachimbo preso à viga por uma linha muito fina ou por duas linhas de seda. Na Figura há uma representação qualitativa das cargas elétricas. Figura adaptada de (ASSIS, 2010, p. 258, Figura B.16).

Pendurei-o na posição horizontal, por [meio de] duas linhas muito finas, como [aquelas] em que roupas são secas. Elas tinham aproximadamente treze pés de comprimento [4 m], com laços em cada ponta. Havia fixado na viga do meu quarto, que tinha um pé [30 cm] de espessura, um par de ganchos [colocados] um de frente para o outro, e a dois pés [60 cm] destes [foi colocado] outro par, da mesma maneira. As linhas foram penduradas nesses ganchos pelos seus laços, de modo a ficar na forma de dois balanços, a parte de baixo [estava] pendurada a cerca de dois pés [60 cm] do chão do quarto. Então, o menino foi pendurado nessas linhas com a face voltada para baixo, uma das linhas foi colocada embaixo do peito dele, e a outra [p. 40] embaixo das suas coxas.<sup>73</sup> Em seguida, as lâminas de latão foram colocadas em um suporte, que era uma tábua redonda de um pé [30 cm] de diâmetro, com papel branco colado nela, e apoiada sobre um pedestal de um pé [30 cm] de altura, o qual frequentemente utilizo em outros experimentos, embora ainda não o tenha mencionado. Ao atritar o tubo e mantê-lo próximo aos pés [do garoto] sem tocá-los, as lâminas de latão foram atraídas pela face do menino com muito vigor, de modo a subir até a altura de oito [20,3 cm], e algumas vezes dez polegadas [25,4 cm]. Coloquei muitas lâminas juntas sobre a tábua, e quase todas subiram juntas ao mesmo tempo. Então, o menino foi colocado com a face voltada para cima, [desta forma] a parte de trás da cabeça dele, que tinha cabelos curtos, atraiu [as lâminas], mas não a tão grande altura como sua

<sup>73</sup>Ver a Figura 72.



face tinha atraído. Em seguida, as lâminas de latão foram colocadas embaixo dos seus pés, ele estava com sapatos e meias. O tubo foi colocado perto da cabeça dele, e seus pés atraíram, mas não, em geral, a tão grande altura quanto a sua cabeça. Então, as lâminas de latão foram colocadas novamente sob a sua cabeça, e o tubo [foi] mantido sobre ela, mas não houve nenhuma atração, nem houve qualquer [atração] quando as lâminas de latão foram colocadas embaixo dos seus pés e o tubo mantido sobre eles.

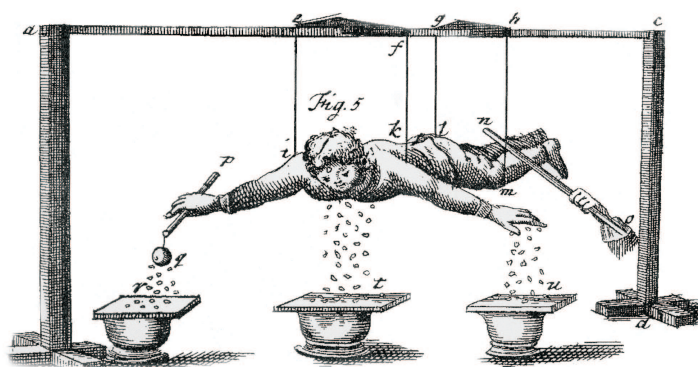


Figura 72: Ilustração dos experimentos de Gray com o garoto suspenso em linhas muito finas. Um tubo de vidro atritado é mantido próximo às suas pernas. As mãos e o rosto do garoto atraem lâminas de latão. Figura extraída de (DOPPELMAYR, 1774), também disponível em (HEILBRON, 1979, p. 247).

Em 16 de abril, repeti o experimento com o garoto, mas agora a atração não foi tão forte quanto inicialmente, as lâminas não subiram mais do que seis polegadas [15,2 cm], aproximadamente. As mãos [do garoto] foram esticadas quase na horizontal, coloquei um pequeno suporte com lâminas de latão embaixo de cada mão, e embaixo de sua face [coloquei] o suporte grande, montado como os outros. Quando o tubo excitado foi colocado próximo aos pés [do garoto], houve uma atração pelas suas mãos e face ao mesmo tempo. Então, dei a ele a ponta de uma vara de pesca para que segurasse em sua mão, havia uma [p. 41] bola de cortiça presa na extremidade menor dela, sob a qual as lâminas de latão foram colocadas. O tubo foi atritado e colocado próximo aos seus pés, a bola atraiu as lâminas para a altura de duas polegadas [5 cm], e repeliu-as, atraindo por várias vezes seguidas com bastante vigor.

Em 21 de abril, repeti novamente o experimento com o garoto, e agora ele atraiu muito mais forte do que antes. As lâminas de latão subiram para sua face a uma altura de mais de doze polegadas [30,5 cm]. Então, dei ao garoto para segurar, em cada mão, a ponta de duas varas de pesca, com uma bola de cortiça em cada uma das extremidades menores. Um pequeno suporte foi colocado sob cada bola, com as lâminas de latão sobre

eles [isto é, sobre cada um dos suportes]. O tubo foi atritado e mantido próximo aos pés do garoto, ambas as cortiças atraíram e repeliram juntas fortemente. O comprimento de cada uma das varas era de aproximadamente sete pés [2,1 m]. Então, o garoto foi colocado em seu lado esquerdo, e uma vara de pesca, de aproximadamente doze pés [3,6 m] de comprimento, foi dada a ele para segurar com as duas mãos. Na ponta da vara havia uma pequena bola de cortiça, que tinha uma polegada e três quartos [4,4 cm] de diâmetro. Todas as coisas foram preparadas e o tubo [foi] mantido próximo aos pés do garoto, [com isso] a bola de cortiça atraiu e repeliu as lâminas de latão com força à altura de no mínimo duas polegadas [5 cm].

Note que, quando falei em manter o tubo próximo aos pés do garoto, quis dizer defronte à sola dos seus pés; e quando [disse] próximo à sua cabeça, deve ser entendido a coroa da sua cabeça. Pois quando o tubo é mantido acima (*above*), ou sobre (*over*) as suas pernas, a atração não é tão fortemente comunicada para as outras partes do seu corpo.<sup>74</sup>



Figura 73: Representação do experimento de Gray no livro de Nollet. Figura extraída de (NOLLET, 1754).

[p. 42] Por [meio] desses experimentos verificamos que animais recebem uma grande quantidade de eflúvios elétricos, e que eles podem ser transmitidos a partir [dos animais] por vários caminhos diferentes ao mesmo tempo e por distâncias consideráveis, onde quer que eles encontrem uma passagem adequada para suas transmissões, e lá exercem o seu

<sup>74</sup>Estes experimentos de Gray ficaram famosos na época. Uma ilustração sobre eles foi utilizada por Jean Antoine Nollet (1700-1770) no frontispício de seu livro “*Essai sur l'Électricité des Corps*”, ver a Figura 73 (ASSIS, 2010, p. 259).

poder de atração.

Nesses experimentos, além do grande suporte mencionado anteriormente,<sup>75</sup> [também] utilizei dois suportes pequenos, os quais, como os julgo muito úteis, não pode ser inapropriado descrevê-los. As extremidades superiores deles têm três polegadas [7,6 cm] de diâmetro; são sustentados por uma coluna de aproximadamente um pé [30 cm] de altura; e suas bases têm aproximadamente quatro polegadas e meia [11,4 cm]. Eles foram feitos de *lignum vitae*.<sup>76</sup> Suas extremidades superiores e suas bases [foram] feitas para parafusar, devido à conveniência para o transporte. Sobre as extremidades superiores foi colado papel branco. Quando as lâminas de latão são colocadas sobre qualquer um desses suportes, percebo que elas são atraídas para uma altura muito maior do que quando [são] colocadas sobre uma mesa, e no mínimo três vezes mais alto do que quando colocadas no chão de um quarto.<sup>77;78</sup>

*Em 20 de junho, fiz o experimento a seguir, mostrando que a atração e a repulsão são tão fortes, se não mais fortes, e que os eflúvios podem ser levados para grandes extensões sem tocar a linha pelo tubo.*

Pegamos uma linha de barbante (*line of packthread*) de 231 pés [69,3 m] de comprimento, que foi apoiada em duas linhas cruzadas de seda azul, [sendo que] a distância [entre] essas linhas [de seda] era de aproximadamente dezoito pés [5,4 m]. À aproximadamente quatro pés [1,2 m] abaixo de uma dessas linhas [de seda] foi colocada outra linha de seda da mesma cor, sendo que nesta [última linha de seda] foi amarrada uma das pontas do barbante, [e] na outra ponta [do barbante foi] pendurada a bola de marfim. A linha [de comunicação] foi retornada sobre **[p. 43]** as linhas cruzadas treze vezes,<sup>79</sup> então as lâminas de latão foram colocadas embaixo da bola [de marfim], em um dos pequenos suportes, e o tubo [foi] excitado. A bola atraiu e repeliu à altura de um diâmetro seu, que era de aproximadamente uma polegada e um quarto [3,2 cm].

Tenho encontrado, em vários testes realizados ultimamente, que atritando o tubo e

<sup>75</sup>Uma tábua com 30 cm de diâmetro apoiada sobre um pedestal com 30 cm de altura.

<sup>76</sup>Espécie de madeira, também conhecida como guáiaço.

<sup>77</sup>Gray está apresentando aqui o que talvez seja a descrição mais antiga do chamado “poder das pontas” ou “efeito das pontas.” (ASSIS, 2010, p. 262-264, Seção B.9: Descoberta do Efeito das Pontas).

<sup>78</sup>Aqui, Gray não reporta o material de que a mesa e o chão são feitos, por isso não é possível uma discussão acerca desta diferença de atração descrita. No entanto, chamamos a atenção do leitor para uma interessante questão: “*Um papelzinho é atraído com mais força quando está sobre um isolante ou sobre um condutor?*”. Esta questão é respondida por Assis (2010) fazendo um experimento em que um canudo de refresco eletrizado é aproximado de pedacinhos de papel colocados sobre uma folha de papel (material condutor para experimentos de eletrostática) e sobre uma chapa de isopor (material isolante). Conclui-se que a maior força é exercida sobre os pedacinhos de papel colocados sobre uma superfície condutora (ASSIS, 2010, p. 220-3).

<sup>79</sup>Isto é, foram feitos 13 retornos na linha de comunicação.

colocando-o em vários lugares entre os retornos da linha, antes de ir com o tubo para a extremidade da linha, isto facilita bastante e provoca atração muito mais rápido do que quando alguém fica com o tubo e aplica-o apenas na extremidade da linha.

*Em meados de julho, fui para o interior do país [Inglaterra], e em primeiro de agosto, [na casa do] Sr. Wheler [em Otterden-Place], fizemos o experimento a seguir, que foi uma tentativa de verificar quão distante a virtude elétrica poderia ser levada adiante em uma linha sem tocar a mesma.*

Este experimento foi feito levando a linha [de comunicação] para fora da janela da grande sala para o jardim, e ao longo do grande campo em frente a ele. A linha estava apoiada por quinze pares de estacas, cada par tinha uma linha de seda azul amarrada de uma estaca até a outra, [com] o comprimento de aproximadamente quatro pés [1,2 m], igual à distância [entre] as duas estacas. À aproximadamente dez pés [3 m] da janela havia uma linha de seda colocada de forma cruzada na sala, na qual [estava] aquela parte pendurada da linha [de comunicação] que tinha a bola de marfim. Abaixo da linha cruzada do par de estacas mais distante foi colocada outra linha cruzada, à quatro pés [1,2 m] acima da terra, na qual foi presa a outra ponta da linha de comunicação, como mencionado no experimento anterior. Então, as lâminas de latão e o tubo foram preparados [p. 44] como de costume. O tubo foi mantido sobre a linha em várias distâncias, começando por aquela extremidade onde a bola [estava] pendurada e prosseguindo em direção à extremidade mais distante da linha. As lâminas de latão foram atraídas muito fortemente nas posições que não excediam duzentos [60 m] ou trezentos pés [90 m], mas [a atração] tornou-se mais fraca à medida que nos dirigíamos à extremidade mais distante da linha. No entanto, mesmo na extremidade da linha as lâminas de latão eram levantadas pela bola, quando o tubo tocava a linha, cujo comprimento era de 886 pés [266 m].

Deveria fornecer agora alguma descrição da descoberta que fiz no ano passado a respeito da atração de corpos coloridos, mostrando que eles atraem mais ou menos, de acordo com suas cores, embora o material seja o mesmo, e tenha o mesmo peso e tamanho. Só observarei que descobri que o vermelho, laranja ou amarelo atraem no mínimo três ou quatro vezes mais fortemente que o verde, o azul ou o violeta. Mas, tendo recentemente descoberto um método novo e mais preciso para fazer estes experimentos, devo pedir licença para prosseguir com eles antes de comunicá-los. Eu sou,

Senhor, Seu Humilde Servidor,

Stephen Gray.

Charter-House, 8 de fevereiro de 173<sup>0</sup>/<sub>1</sub>.

## 6.2 Experimentos

### 6.2.1 Introdução

Nesta seção apresentamos a reconstrução de alguns experimentos descritos neste artigo que é considerado o mais importante de Gray (1731-2c, p. 18-44). Em especial, destacamos os experimentos reproduzidos que possibilitam o estudo de como Gray chegou à proposição dos materiais isolantes e condutores, à época denominados, respectivamente, de materiais *elétricos* e *não-elétricos*. Neste artigo fundamental Gray também obteve as principais propriedades dos materiais isolantes e condutores. Nesta temática, chamamos a atenção do leitor para o fato de alguns experimentos evidenciarem que vários materiais habitualmente denominados de isolantes elétricos se comportam como condutores elétricos nos experimentos usuais de eletrostática. Um exemplo bastante interessante é a madeira.

### 6.2.2 Experimentos com Materiais Acessíveis

**Experimento 6.1** *Eletrização de uma rolha de cortiça colocada na extremidade de um tubo de PVC*

✓ MATERIAIS UTILIZADOS	
⇒ Tubo de PVC	⇒ Eletroscópio
⇒ Poliamida	⇒ Palito de madeira
⇒ Rolha de cortiça	⇒ Linha de algodão
⇒ Poste de sustentação	⇒ Linha de seda

Este experimento busca verificar se há eletrização de uma cortiça colocada à ponta de um tubo de PVC eletrizado por atrito. Para realizar o experimento fixamos uma rolha de cortiça em uma das extremidades de um tubo de PVC de 25 mm de diâmetro e o atritamos com poliamida.<sup>80</sup> Para a verificação da eletrização da cortiça, utilizamos dois instrumentos elétricos: eletroscópio e linha pendular. Montamos uma linha pendular com um canudo

<sup>80</sup>As rolhas que utilizamos tinham diâmetro menor do que o diâmetro do tubo, por isso fizemos uma adaptação para encaixá-las. Por meio de um estilete cortamos um pedaço da camada externa de uma rolha, com espessura de cerca de 5 mm, e então o colocamos junto à rolha no cano de PVC. A Figura 74 ilustra esta adaptação.

de refresco como haste horizontal, um *suporte com base de gesso*<sup>81</sup> e linha de algodão (*i.e.*, condutor elétrico), como ilustra a Figura 75. Após o tubo de PVC ser atritado com poliamida, aproximamos a cortiça da linha para verificar se haveria atração. A linha foi atraída pela cortiça e ao encostar nela se comportou de duas maneiras distintas: i) ficava grudada na cortiça por alguns segundos e, então, era repelida; ou ii) tocava a cortiça e imediatamente era repelida. Depois de ser repelida pela cortiça a linha só voltava a ser atraída se fosse descarregada, por exemplo, com a mão. A Figura 76 mostra a situação em que a linha fica grudada na cortiça por alguns instantes antes de ser repelida.



(a) À esquerda e ao centro pedaços da camada externa de uma rolha de cortiça; à direita uma rolha.



(b) A rolha de cortiça e a camada externa de uma rolha encaixadas no tubo de PVC.

Figura 74: Encaixe da rolha de cortiça no cano de PVC de 25 mm de diâmetro.

A outra maneira utilizada para verificar a eletrização da cortiça foi por meio de um eletroscópio<sup>82</sup>. Após atritar o tubo de PVC com a rolha de cortiça fixada em uma das suas extremidades, encostamos a cortiça na cartolina do eletroscópio e esfregamos um pouco. Desta forma, a tirinha de papel de seda se levantou, mostrando que a cortiça também estava eletrizada. Uma terceira maneira para verificar a eletrização da rolha colocada à ponta do tubo de PVC seria utilizando um *versório*<sup>83</sup>, que também é um instrumento bastante sensível para verificação da eletrização.

## Experimento 6.2

<sup>81</sup>Também chamado por nós de *poste de sustentação*, cuja construção foi descrita na seção 2.2.2 à página 45 desta tese.

<sup>82</sup>A construção deste instrumento foi descrita na seção 2.2.2 à página 45 desta tese.

<sup>83</sup>A construção deste instrumento foi descrita na seção 2.2.1 à página 43 desta tese.



Figura 75: Linha pendular de algodão presa a um suporte por meio de um canudo.

#### ✓ MATERIAIS UTILIZADOS

- |                        |                 |
|------------------------|-----------------|
| ⇒ Tubo de PVC          | ⇒ Papel sulfite |
| ⇒ Poliamida            | ⇒ Papel de seda |
| ⇒ Poste de sustentação | ⇒ Linha de seda |
| ⇒ Canudo de refresco   | ⇒ Penugem       |

À página 20 do texto original (GRAY, 1731-2c, p. 18-44) é descrito um experimento em que uma penugem é atraída e repelida por uma cortiça fixada à ponta do tubo de vidro atritado. Na nota de rodapé 10 à página 143, apresentamos três interpretações discutidas por Assis (2010) para esse experimento. Aqui, reproduzimos a interpretação “b” de duas formas distintas. Primeiramente, fizemos o experimento utilizando uma penugem de cerca de 1 cm presa a uma linha de seda, um cano de PVC com uma rolha à ponta atritado com poliamida e um anteparo de papel de sulfite (ou cartolina) aterrado, tal como ilustra a Figura 77. Aproxima-se a rolha colocada na extremidade do tubo eletrizado da penugem pendurada em linha de seda. A penugem, por sua vez, é atraída para a rolha e permanece grudada por alguns segundos (cerca de 3 a 5 segundos), em seguida é repelida e gruda no anteparo aterrado, permanecendo ali também por alguns



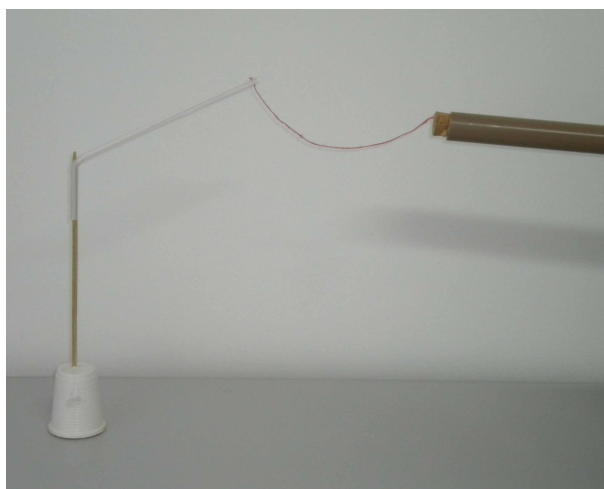


Figura 76: A figura ilustra uma linha pendular de algodão grudada em uma cortiça colocada à extremidade de um tubo de PVC após ser atritado com poliamida. A linha permanece desta forma por poucos instantes, logo em seguida é repelida pela cortiça.

segundos (cerca de 3 a 5 segundos), em seguida retorna à cortiça. Este movimento de atração e repulsão ocorre por algumas vezes, dependendo da eletrização do tubo e da cortiça.

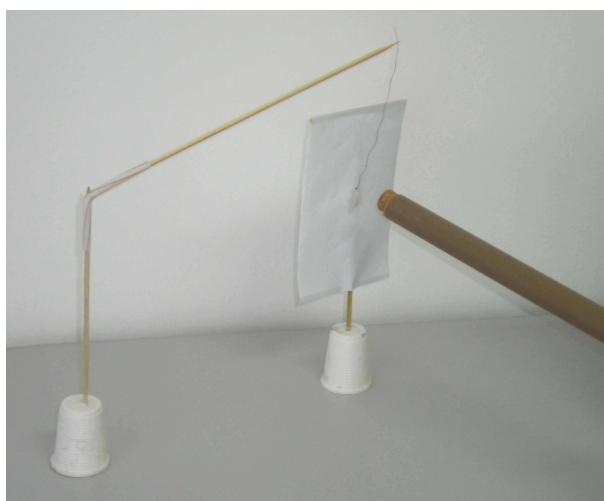


Figura 77: A penugem está presa à linha de seda (*i.e.*, isolante elétrico), ao fundo temos o anteparo de papel sulfite aterrado e à frente a cortiça fixada ao tubo de PVC atritado com poliamida.

Tendo em vista o tempo em que a penugem ficava grudada na cortiça e no anteparo, a substituímos por um pequeno disco de papel de seda (material condutor) de cerca de 1 cm de diâmetro, também preso à linha de seda. Realizamos o mesmo procedimento, sendo que desta vez a atração e a repulsão ocorreu de forma rápida e repetidas vezes, entre a cortiça e o anteparo. A Figura 78 ilustra o experimento.

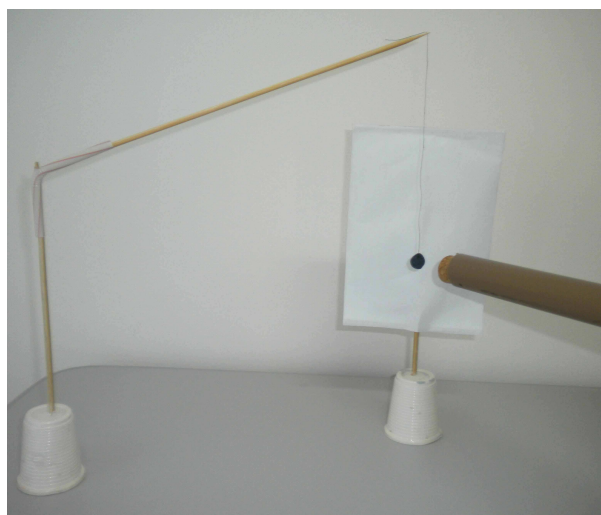


Figura 78: O disco de papel de seda (material condutor) está preso à linha de seda (*i.e.*, isolante elétrico). Ao fundo temos o anteparo de papel sulfite aterrado e à frente a cortiça fixada ao tubo de PVC atritado com poliamida.

**Experimento 6.3** *Experimento em que uma vareta de madeira é fixada na cortiça que arrolha o tubo de PVC*

#### ✓ MATERIAIS UTILIZADOS

- |                      |                              |
|----------------------|------------------------------|
| ⇒ Tubo de PVC        | ⇒ Papel sulfite              |
| ⇒ Poliamida          | ⇒ Papel de seda              |
| ⇒ Suporte            | ⇒ Linha de seda              |
| ⇒ Canudo de refresco | ⇒ Palito de madeira de 30 cm |
| ⇒ Rolha de cortiça   |                              |

Gray descreve, à página 20 do seu artigo, um experimento em que coloca uma vareta de abeto (*i.e.*, uma espécie de madeira) em uma cortiça colocada na extremidade de um tubo de vidro, e na outra extremidade da vareta coloca uma bola de marfim. Ao atritar o tubo de vidro verifica que a bola de marfim fica eletrizada. Para a reprodução deste experimento com material de baixo custo utilizamos o tubo de PVC com a rolha de cortiça em sua extremidade. Esta primeira rolha será chamada de rolha “A”. Encaixamos uma das extremidade de um palito de madeira nesta primeira rolha e na outra extremidade do palito colocamos uma segunda rolha, chamada aqui de rolha “B”<sup>84</sup>. A Figura 79 ilustra

<sup>84</sup>A partir das leituras dos textos de Gray concluímos que a bola de marfim comporta-se como um material condutor elétrico para os experimentos descritos. Sendo assim, utilizamos uma cortiça no lugar do

o instrumento construído com tubo de PVC, vareta e cortiças. O objetivo é verificar se o atrito do tubo de PVC provoca a eletrização da cortiça **B** que está colocada na extremidade do palito de madeira.



Figura 79: Tubo de PVC com uma rolha de cortiça (“A”) em sua extremidade, uma vareta de madeira colocada nesta cortiça e uma segunda rolha (“B”) colocada na extremidade da vareta que está mais afastada do tubo de PVC.

Para a verificação da eletrização utilizamos o aparato mencionado nos experimentos anteriores, isto é, um anteparo de papel sulfite e um disco de papel de seda preso a uma linha de seda. Após atritar o tubo de PVC com poliamida e aproximar a cortiça **B** do disco de papel de seda, este oscilou entre o anteparo e a cortiça por algumas vezes. Desta forma, é possível verificar que o atrito do tubo provoca a eletrização de um objeto condutor elétrico colocado na extremidade da vareta de madeira. A Figura 80 apresenta os materiais utilizados neste experimento.

**Experimento 6.4** *Experimento em que fios diversos são fixados na cortiça que arrolha o tubo de PVC*

---

marfim por três motivos: (I) Tanto a cortiça quanto o marfim comportam-se como condutores para os experimentos de eletrostática; (II) é muito mais fácil encontrar cortiça do que marfim; (III) a cortiça é um material de baixo custo.



Figura 80: A figura mostra o tubo de PVC com uma rolha (A), vareta de madeira e a segunda rolha (B); o material de poliamida utilizado para a eletrização do tubo; e os instrumentos para verificação da eletrização, *i.e.*, anteparo de papel sulfite aterrado e disco de papel de seda preso em uma linha de seda fixada em um suporte.

#### ✓ MATERIAIS UTILIZADOS

- |                     |                         |
|---------------------|-------------------------|
| ⇒ Tubo de PVC       | ⇒ Fio de cobre bem fino |
| ⇒ Poliamida         | ⇒ Linha de poliamida    |
| ⇒ Agulha de costura | ⇒ Linha de seda         |
| ⇒ Papel sulfite     | ⇒ Linha de algodão      |
| ⇒ Papel de seda     |                         |

À página 21 do texto original, (página 144 desta tese), Gray relata que substituiu a vareta de madeira por fios metálicos. Sendo assim, neste experimento substituímos a vareta de madeira utilizada no experimento anterior (Experimento 6.3) por fios de material condutor e isolante, todos com aproximadamente 60 cm de comprimento. Utilizamos dois tipos de fio condutor, *i.e.*, fio de cobre e linha de algodão; e dois tipos de fio isolante, *i.e.*, linha de poliamida e linha de seda.<sup>85</sup> Para fixar os fios nas rolhas de cortiça utilizamos agulhas de costura, as quais foram fincadas nas rolhas e as linhas presas a elas. Utilizamos agulhas de costura por conveniência, pois facilitam a fixação das linhas/fios na cortiça. A

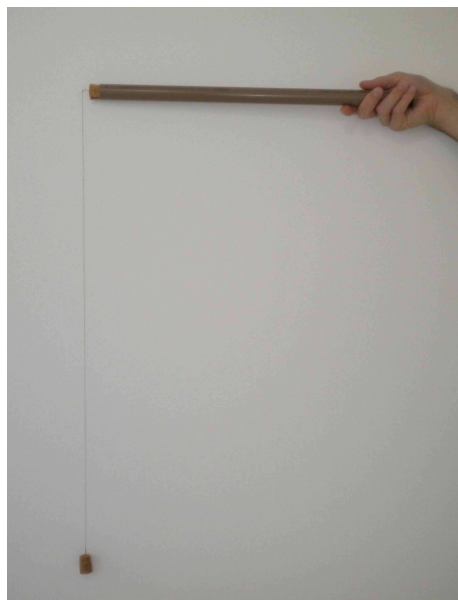
<sup>85</sup>Fizemos o instrumento com um fio de cobre retirado de um “cabinho” (fio de cobre flexível vendido em lojas de eletrônica), mas também poderia ter sido feito com um fio de cobre retirado de um *cabo* de cobre flexível de 1,5 mm para instalação elétrica residencial. A linha de algodão utilizada foi do tipo utilizado para soltar *pipa* (também chamado de *papagaio*). A linha de poliamida utilizada foi do tipo utilizado para pesca, usualmente chamada de linha de náilon.

Figura 81 ilustra o instrumento.

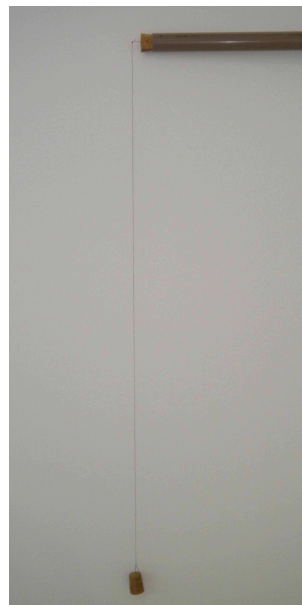


Figura 81: Fio de cobre preso à agulha de costura fincada na rolha de cortiça.

O objetivo do experimento é o mesmo do experimento anterior, isto é, verificar se a rolha de cortiça colocada na extremidade das linhas/fios ficaria eletrizada após o atrito do tubo de PVC com a poliamida. Para a detecção da eletrização utilizamos pedacinhos de papel de seda, os quais foram colocados sobre uma folha de papel sulfite. Para realizar o experimento montamos o instrumento ilustrado na Figura 82, em seguida atritamos o tubo com a poliamida e aproximamos a rolha presa à extremidade inferior do fio aos papeizinhos colocados sobre o papel sulfite.



(a) Instrumento completo.



(b) Destaque para o fio e para as cortiças.

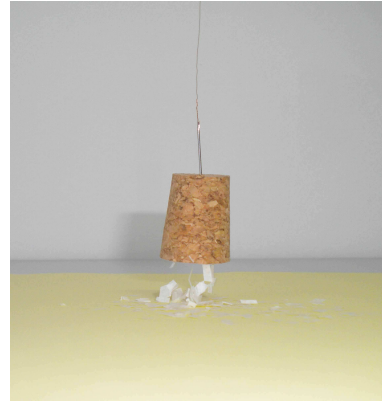
Figura 82: Instrumento feito com tubo de PVC, cortiça fixada na extremidade do tubo, fio (condutor ou isolante) e uma rolha de cortiça na extremidade inferior do fio.

As rolhas presas às linhas isolantes não apresentaram eletrização perceptível, uma vez que os papeizinhos não foram atraídos. Já as rolhas presas aos fios condutores atraíram

os pedacinhos de papel de seda. Portanto, apresentaram eletrização após o atrito do cano de PVC. A Figura 83 ilustra a atração dos papeizinhos atraídos pelas rolhas presas aos fios de materiais condutores.



(a) Atração de pedacinhos de papel de seda pela cortiça eletrizada.



(b) Atração de pedacinhos de papel de seda pela cortiça eletrizada.

Figura 83: Cortiça presa a um fio de material condutor, por meio de uma agulha de costura, atraindo pedacinhos de papel de seda após o tubo de PVC ser atritado com poliamida.

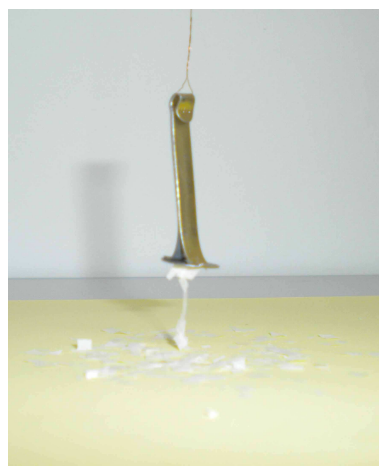
Utilizamos também uma linha pendular, a qual é apresentada na Figura 75, como detector de eletrização, uma vez que tal instrumento é mais sensível do que os pedacinhos de papel de seda. Os resultados encontrados foram os mesmos, ou seja, as cortiças presas às linhas isolantes não apresentaram qualquer eletrização perceptível e aquelas presas às linhas condutoras apresentaram eletrização. No entanto, ao aproximar tanto o fio de cobre quanto o de algodão da linha pendular, verificamos que esta era atraída. Desta forma, podemos dizer que os fios, pelo menos na região mais próxima à cortiça, também ficaram eletrizados. Cabe ressaltar que quanto mais fina for a linha utilizada no instrumento de detecção, mais acentuado fica o fenômeno da atração pelo fio.

À página 21 do artigo original, Gray menciona que após fazer os testes com a bola de marfim, utilizou uma bola de cortiça e outra de chumbo. A cortiça é o material que optamos por utilizar nos experimentos, tendo em vista a facilidade de acesso e de manipulação. No caso da bola de chumbo o leitor poderá utilizar, por exemplo, uma chumbada de pesca. Também pode ser utilizada uma bolinha de papel alumínio ou um colchete tipo bailarina como objeto metálico colocado na extremidade do fio vertical. A Figura 84 ilustra uma bola de chumbo e um colchete atraindo pedacinhos de papel de seda, o que evidencia a eletrização dos referidos objetos após o atrito do tubo de PVC.

Tal como já mencionamos, com a utilização da bola de chumbo no lugar do marfim Gray conseguiu que metais atraíssem corpos leves, ou seja, conseguiu eletrizar metais, que



(a) Bola de chumbo (chumbada de pesca) atraindo pedacinhos de papel de seda.



(b) Colchete do tipo bailarina atraindo pedacinhos de papel de seda.

Figura 84: Objetos metálicos presos a um fio de material condutor atraindo pedacinhos de papel de seda após o tubo de PVC ser atritado com poliamida.

era algo perseguido sem sucesso há muito tempo. Além desses materiais, também testamos uma folha de árvore seca e outra verde, um pedaço de tijolo e um giz. Todos atraíram a linha pendular após o atrito do tubo de PVC com poliamida. Utilizamos a linha pendular como instrumento de detecção de eletrização porque a atração dos pedacinhos de papel de seda foi muito pequena. Testamos a condutividade elétrica desses quatro materiais, sendo que todos se comportaram como condutores. O teste de condutividade foi feito com um eletroscópio, tal como descrito no Experimento 2.2 à página 57 desta tese. Um ponto crucial para o sucesso deste experimento é evitar-se a oscilação da cortiça no momento em que se atrita o tubo de PVC. Sendo assim, a ação de atritar deve ser feita de forma que o fio com a cortiça oscile o mínimo possível, uma vez que uma grande oscilação pode inviabilizar o experimento. Um segundo ponto crucial é a distância entre a cortiça e os detectores de eletrização, sejam os pedacinhos de papel de seda ou a linha pendular, pois a eletrização só passa a ser detectada quando esta distância é pequena.

### **Experimento 6.5** *Primeira tentativa de condução na horizontal - infrutífera no caso de Gray*

✓ MATERIAIS UTILIZADOS

---

- |                         |                         |
|-------------------------|-------------------------|
| ⇒ Tubo de PVC           | ⇒ Papel sulfite         |
| ⇒ Poliamida             | ⇒ Papel de seda         |
| ⇒ Canudinho de refresco | ⇒ Fio de cobre bem fino |
| ⇒ Agulha de costura     | ⇒ Linha de algodão      |
| ⇒ Disco de cortiça      | ⇒ Linha de seda         |
| ⇒ Vareta de madeira     | ⇒ Linha de poliamida    |

À página 25 do artigo original (página 149 desta tese), Gray descreve a primeira tentativa de condução da eletricidade com a *linha de transmissão*<sup>86</sup> na posição horizontal. O nosso objetivo com este experimento feito com material de baixo custo é construir um aparato com as mesmas características de condutividade dos materiais envolvidos no experimento descrito por Gray, no qual uma *linha*<sup>87</sup> é presa a um gancho fixado a uma viga, provavelmente de madeira, sendo que na extremidade inferior desta linha é presa a linha de condução. Nesta tese vamos chamar de *linha de sustentação* ou *linha de apoio* a esta linha vertical que sustenta a linha de transmissão. Uma ilustração deste experimento pode ser vista na Figura 58 desta tese. Gray não obteve sucesso na condução da eletricidade neste caso.

Para reproduzir sua experiência, fizemos um suporte com palitos de madeira, linha de algodão (linha de pipa) e um suporte com base de gesso, o qual deve estar aterrado – ver a Figura 85.

Neste suporte foi fixada uma linha de sustentação vertical, em cujas extremidades foram feitos laços, sendo que um dos laços foi colocado no suporte e outro, da extremidade inferior, foi utilizado para suspender a linha de condução. Então, uma das extremidades da linha de condução foi presa ao tubo de PVC por meio de uma cortiça, e foi esticada horizontalmente até a linha de sustentação vertical, na qual foi presa ao passar pelo laço,

<sup>86</sup>Utilizamos neste texto as expressões *linha de condução* e *linha de transmissão* como sinônimas, ambas significando a linha condutora (*i.e.*, uma linha de algodão ou um fio bem fino de cobre) utilizada para testar a *condução* ou *transmissão* da eletricidade do tubo de PVC atritado para uma cortiça colocada a certa distância do tubo, quando a cortiça e o tubo estão conectados por esta linha de condução ou de transmissão.

<sup>87</sup>No texto original não é relatado de que material esta linha é feita. Apesar disso, supomos que seja uma *linha de barbante* (*line of packthread*) que havia sido citada um pouco antes no texto. Ou seja, uma linha de material condutor.



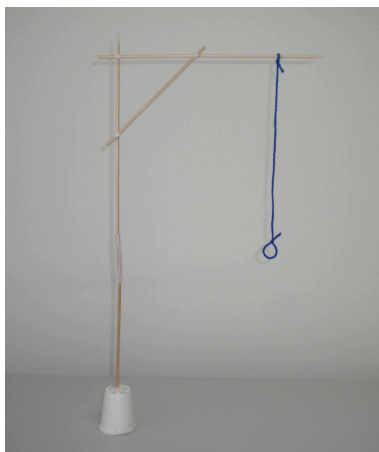


Figura 85: Aparato utilizado para sustentar o fio condutor, feito com suporte com base de gesso, palitos de madeira e linha de algodão.

ficando com uma parte também na posição vertical abaixo do laço. Nesta extremidade da linha de condução foi fixado um disco de cortiça por meio de uma agulha de costura<sup>88</sup>. O aparato completo é ilustrado na Figura 86. Utilizamos pedacinhos de papel de seda como detectores de eletricidade, os quais foram colocados sob o disco de cortiça e sobre uma folha de papel sulfite.

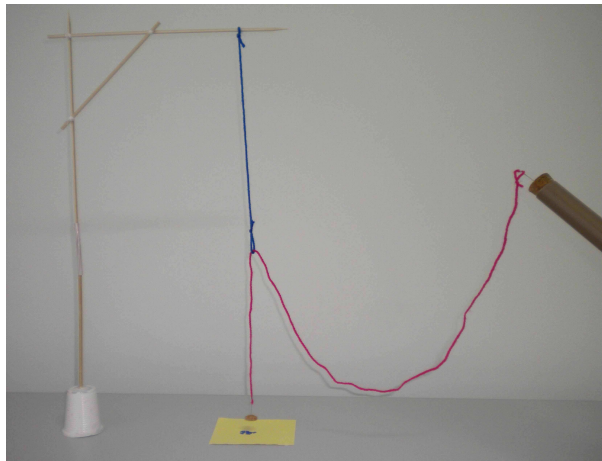


Figura 86: Aparato completo utilizado para experimentos de condução na horizontal. Temos uma linha de sustentação presa ao palito superior e uma linha de transmissão presa ao PVC e com uma cortiça presa em sua outra extremidade.

O experimento consiste em atritar o tubo de PVC com poliamida. Se os pedacinhos de papel de seda não forem atraídos pelo disco de cortiça, significa que não há transmissão de eletricidade do tubo para a cortiça de detecção colocada na extremidade oposta da linha de transmissão. Um primeiro ponto crucial para o experimento é a altura da cortiça em

<sup>88</sup> Chamaremos esse disco de cortiça de *cortiça de detecção* para diferenciar da rolha colocada na extremidade do tubo de PVC para prender a linha de condução. Este disco foi feito cortando-se uma rolha de cortiça (um *corte de seção reta*) de cerca de 2 mm de altura.

relação aos pedacinhos de papel de seda. Após vários testes, passamos a trabalhar com a altura de aproximadamente 7 mm, que é o diâmetro de um canudinho de refresco que tínhamos para o experimento, de tal forma que utilizamos o diâmetro deste canudinho para regular a altura da cortiça (*i.e.*, distância entre a cortiça e os pedacinhos de papel de seda). Um segundo ponto crucial é agitação do sistema no momento em que se procede ao atrito do tubo de PVC, o que pode balançar demais a cortiça de detecção e dificultar ou impedir a atração dos pedacinhos de papel de seda. O terceiro ponto crucial é a linha de transmissão não encostar na mesa ou em qualquer outro objeto condutor no momento do atrito, o que pode acontecer devido a ela não ficar exatamente na horizontal (*i.e.*, formando uma curva *catenária*), como adverte o próprio Gray à página 31 do seu artigo (página 156 desta tese). O leitor precisa ficar atento a esses pontos cruciais, pois podem inviabilizar o experimento com bastante facilidade.

No experimento realizado por Gray, ele utilizou apenas uma linha condutora na posição vertical (estamos nos referindo à linha de sustentação com laço na extremidade inferior, linha esta que sustenta um pedaço da linha de transmissão). Nós, por outro lado, fizemos os testes com linhas de sustentação feitas de materiais condutores e isolantes. As linhas de sustentação condutoras foram feitas de linhas de algodão ou de fio de cobre bem fino. As linhas de sustentação isolantes foram feitas de linha de poliamida (ou seja, náilon de pesca) ou linha de seda. A Tabela 8 apresenta os resultados que obtivemos ao fazer o experimento com os diferentes materiais e diferentes distâncias entre a cortiça e os pedacinhos de papel de seda.

Tabela 8: Condução da eletricidade.

Nº	Linha de sustentação	Altura de 7 mm	Altura < 7 mm
1	Linha de algodão	não atrai	atrai
2	Fio de cobre	não atrai	não atrai
3	Linha de poliamida	atrai	atrai
4	Linha de seda	atrai	atrai

Nos chamou a atenção o fato de a cortiça suspensa por linha de sustentação de algodão (*i.e.*, condutora elétrica) atrair pedacinhos de papel de seda quando estava bem próxima (< 7 mm) a eles. No entanto, em qualquer distância entre a cortiça de detecção e os papeizinhos quando era utilizada uma linha de sustentação vertical de algodão, se o palito de madeira de um suporte com base de gesso aterrado (palito de madeira + base de gesso) fosse colocado encostado na linha de comunicação, já bem próximo à linha de sustentação vertical, não era verificada qualquer atração dos papeizinhos de seda.

O fato de os papeizinhos serem atraídos quando a linha de algodão foi utilizada para suspender a linha de condução evidencia que houve transmissão da eletricidade para a cortiça de detecção. O fato de a atração ocorrer apenas para distâncias bem pequenas evidencia que a cortiça eletrizou menos do que quando foi utilizado um fio de sustentação vertical de material isolante. Por algum motivo aquela linha de algodão não estava aterrando completamente o sistema formado pelo tubo de PVC, linha de condução e cortiça de detecção, e isso fica evidente quando o palito de madeira é encostado na linha de condução fazendo com que a atração dos papeizinhos cesse. Após vários testes, feitos devido ao fato de ocorrer atração quando utilizada uma linha de sustentação condutora para suspender a linha de transmissão, nos pareceu que há diferença no aterramento do sistema dependendo da forma como a linha de condução é presa à linha vertical. Nos pareceu que se a linha de condução apenas ficar apoiada no laço (como ilustra a Figura 87(a)) ocorre a atração que reportamos, mas se ela der uma volta completa no laço (como ilustra a Figura 87(b)) a atração deixa de ocorrer. Uma hipótese explicativa para tal fato é que o aumento da superfície de contato entre a linha vertical e a linha de transmissão melhora o aterramento do sistema. Cabe destacar que só percebemos o efeito de atração dos papeizinhos pela cortiça enquanto o tubo era atritado, tão logo cessávamos o atrito a atração parava.

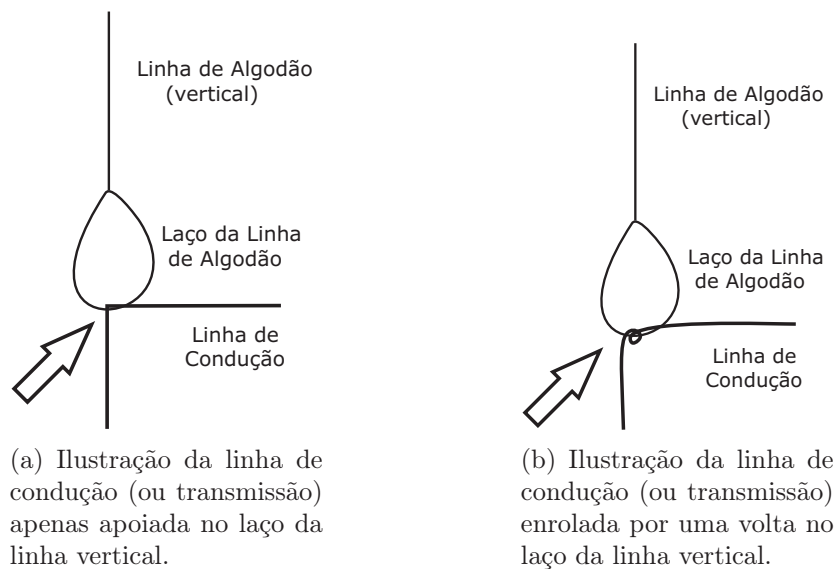


Figura 87: Ilustração das diferentes maneiras que se pode suspender a linha de condução por meio do laço da linha de sustentação vertical.

De qualquer forma, quando apoiamos o fio de transmissão por um fio de sustentação condutor feito de cobre, não houve transmissão da eletricidade até a cortiça. Ou seja, conseguimos reproduzir a experiência de Gray na qual não verificou a transmissão da eletricidade quando a linha de transmissão estava apoiada por um barbante.

**Experimento 6.6** *Experimento em que foi obtido êxito na condução da eletricidade na horizontal*

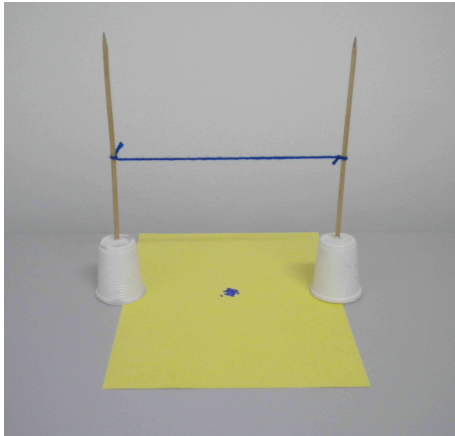
✓ MATERIAIS UTILIZADOS	
⇒ Tubo de PVC	⇒ Papel sulfite
⇒ Poliamida	⇒ Papel de seda
⇒ Canudinho de refresco	⇒ Fio de cobre bem fino
⇒ Agulha de costura	⇒ Linha de algodão
⇒ Disco de cortiça	⇒ Linha de seda
⇒ Vareta de madeira	⇒ Linha de poliamida

Este experimento ilustra aquele em que Gray e Wheler conseguiram obter a condução da eletricidade com a linha de transmissão na posição horizontal, que foi descrito à página 26 do texto original (página 150 desta tese). Wheler propôs a utilização de uma *linha de seda* como suporte para a linha de transmissão, sendo que fixaram a referida linha de seda nas paredes de uma galeria por meio de pregos. Novamente vamos chamar de linha de sustentação (ou de apoio) à linha que suporta a linha de transmissão.

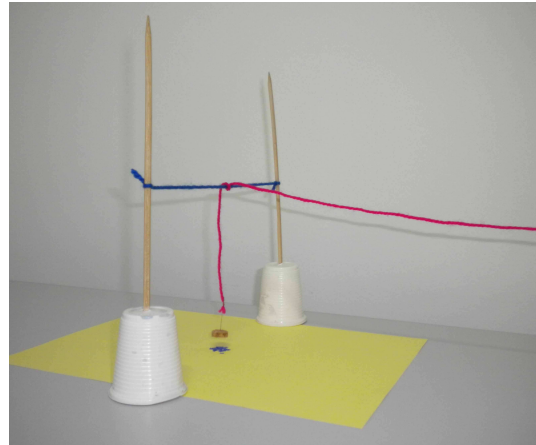
Em nosso experimento utilizamos dois postes de sustentação e uma linha de apoio presa entre eles, a qual é utilizada como suporte para a linha de transmissão – tal como ilustra a Figura 88(a).

A linha de transmissão foi presa a uma das extremidades do tubo de PVC por meio de uma cortiça, e foi esticada horizontalmente até a linha de apoio presa entre os dois postes de sustentação, de tal forma que a sua parte final ficasse na posição vertical – ver Figura 88(b). Nesta extremidade da linha de condução foi preso um disco de cortiça por meio de uma agulha. O aparato completo é ilustrado na Figura 89. Este experimento é bastante importante, pois possibilitou a Gray chegar na proposição dos materiais condutores e isolantes.

O experimento consiste em atritar o tubo de PVC com poliamida. Se os pedacinhos de papel de seda forem atraídos pelo disco de cortiça, significa que há transmissão de eletricidade do tubo para a cortiça de detecção colocada na extremidade oposta da linha de transmissão. Um ponto crucial para o experimento é a altura da cortiça em relação



(a) Aparato utilizado para sustentar a linha condutora, feito com dois suportes com base de gesso e uma linha de apoio disposta na horizontal presa aos suportes.



(b) Na vertical está a linha de transmissão, presa a um disco de cortiça por meio de uma agulha, que está apoiada na linha de apoio horizontal colocada entre os suportes com base de gesso e segue horizontalmente até o tubo.

Figura 88: Aparato utilizado para o experimento que ilustra como Gray e Wheler chegaram à condução da eletricidade com o fio condutor disposto na posição horizontal.

aos pedacinhos de papel de seda, o outro ponto crucial é evitar que a linha de transmissão encoste em objetos condutores durante o atrito. Tal como no experimento anterior (Experimento 6.5), trabalhamos com a altura de 7 mm (*i.e.*, distância entre os pedacinhos de papel de seda e a cortiça de detecção), que é o diâmetro de um canudinho de refresco. No experimento realizado por Gray, ele utilizou apenas uma linha isolante como suporte para a linha de transmissão. Nós, por outro lado, fizemos os testes com linhas condutoras e isolantes, cujos materiais são: 1) linha de algodão; 2) fio de cobre bem fino; 3) linha de poliamida (*i.e.*, linha de pesca); 4) linha de seda. A Tabela 9 apresenta os resultados que obtivemos ao fazer o experimento com os diferentes materiais para a linha de sustentação e diferentes distâncias entre a cortiça e os pedacinhos de papel de seda.

Tabela 9: Condução da eletricidade.

Nº	Linha de sustentação	Altura de 7 mm	Altura < 7 mm
1	Linha de algodão	não atrai	não atrai
2	Fio de cobre	não atrai	não atrai
3	Linha de poliamida	atrai	atrai
4	Linha de seda	atrai	atrai

Neste experimento não foi verificada qualquer atração dos papezinhos de seda quando as linhas de sustentação condutoras (*i.e.*, de algodão e fio de cobre) foram utilizadas como suporte para a linha de transmissão. Cabe destacar que só percebemos o efeito de atração

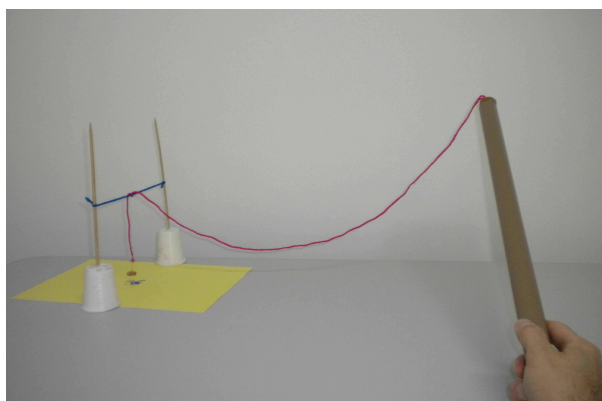


Figura 89: Aparato completo utilizado para o experimento com o qual se ilustra a maneira como Gray e Wheler chegaram à condução da eletricidade com o fio condutor disposto na posição horizontal. À esquerda há dois suportes com base de gesso e uma linha de apoio presa entre eles na posição horizontal. À direita há um tubo de PVC que prende a linha de condução, a qual é esticada até o lado esquerdo e fica apoiada na linha de sustentação horizontal entre os suportes com base de gesso. No final da linha de condução há um disco de cortiça preso a ela por meio de uma agulha de costura.

dos papezinhos pela cortiça enquanto o tubo era atritado, tão logo cessávamos o atrito, a atração parava.

Ou seja, conseguimos reproduzir a experiência de Gray na qual havia a condução da eletricidade pela linha de transmissão quando esta linha era apoiada por uma outra linha de sustentação feita de material isolante (linha de poliamida ou de seda no nosso caso).<sup>89</sup>

### Experimento 6.7 *Superfície condutora*

#### ✓ MATERIAIS UTILIZADOS

- |                             |                            |
|-----------------------------|----------------------------|
| ⇒ Tubo de PVC               | ⇒ Papel sulfite            |
| ⇒ Poliamida                 | ⇒ Canudinho de refresco    |
| ⇒ Suporte com base de gesso | ⇒ Linha pendular (algodão) |
| ⇒ Vareta de madeira         | ⇒ Linha de algodão         |
| ⇒ Caixa de papelão          | ⇒ Fita isolante            |

À página 31 do artigo original (página 156 desta tese), é descrito um experimento em que Gray reporta que *“grandes superfícies podem ser impregnadas com os eflúvios*

<sup>89</sup>Um interessante vídeo sobre a reprodução dos experimentos de Gray sobre a condução elétrica pode ser visto em: <<http://www.youtube.com/watch?v=CXth6EBxBCw&feature=endscreen&NR=1>> (HIPST-TUBE, 2010).

*elétricos*”. Para a reconstrução com material de baixo custo deste experimento, utilizamos uma folha de papel sulfite, tamanho A4, pendurada por linhas de algodão presas a palitos de madeira fixos em uma caixa de papelão – tal como ilustra a Figura 90.



(a) Folha de papel sulfite (A4) presa por linhas de algodão a palitos de madeira que estão fixados em uma caixa de papelão. A figura também ilustra a linha pendular utilizada como detector de eletrização. Foto frontal do aparato.



(b) Folha de papel sulfite (A4) presa por linhas de algodão a palitos de madeira que estão fixados em uma caixa de papelão. A figura também ilustra a linha pendular utilizada como detector de eletrização. Foto lateral do aparato.

Figura 90: Instrumento utilizado para o experimento em que uma superfície de papel sulfite é eletrizada a partir da aproximação do tubo de PVC atritado com poliamida.

Utilizamos uma caixa de papelão como suporte por conveniência e fácil acesso ao material, sendo que o leitor interessado em fazer o experimento pode utilizar outro suporte, caso seja mais conveniente. Os palitos de madeira foram fincados na caixa de papelão na região bem próxima à parte superior, para que pudessem ficar apoiados no teto da mesma e, assim, suportassem a folha sem movimentarem-se. A ponta dos palitos, na região em que as linhas de algodão estavam fixadas, foi envolta com fita isolante, pois sem esse artifício não foi possível realizar o experimento aproximando o tubo da parte de cima das linhas. Como detector de eletrização utilizamos uma linha pendular de algodão, a qual estava presa a um suporte com base de gesso, como ilustra a Figura 90. Tentamos inicialmente verificar a eletrização da folha de papel A4 colocando pequenos pedaços de papel de seda sob a folha, mas não houve qualquer atração dos papeizinhos. Sendo assim, recorreremos à linha pendular, a qual foi atraída pela folha mostrando a eletrização da superfície em vários pontos.

Para realizar o experimento o tubo de PVC foi atritado com poliamida e, após ficar eletrizado, foi aproximado da parte superior das linhas de algodão, na região amarrada ao palito. Vale destacar que a distância na qual ocorria a atração entre a linha pendular

e a folha de sulfite variava em cada teste, no entanto, só foi possível verificar a eletrização da folha com a linha bem próxima a ela. Desta forma, o leitor deverá estar atento a isso, pois a má regulagem desta distância pode inviabilizar o experimento. No experimento descrito por Gray, o barbante preso à superfície de teste está amarrado ao tubo de vidro. Inicialmente, tentamos fazer o experimento da mesma forma, isto é, fixando as linhas de algodão que prendem a folha de papel sulfite diretamente no tubo de PVC. No entanto, o atritar do tubo balança demais a folha de papel, de tal maneira que inviabiliza o experimento. Por este motivo optamos por prender as linhas de algodão em um suporte fixo e aproximar o tubo de PVC eletrizado das linhas.

### Experimento 6.8 *Atração elétrica por um ímã*

✓ MATERIAIS UTILIZADOS	
⇒ Tubo de PVC	⇒ Papel sulfite
⇒ Poliamida	⇒ Canudinho de refresco
⇒ Suporte com base de gesso	⇒ Linha pendular (algodão)
⇒ Vareta de madeira	⇒ Linha de algodão
⇒ Caixa de papelão	⇒ Fita isolante
⇒ Ímã	⇒ Objeto metálico magnetizado

À página 32 do artigo original (página 157 desta tese), é descrito um experimento em que Gray verifica “*se a virtude elétrica seria de alguma forma impedida pelos eflúvios magnéticos de um ímã*”. Para a reconstrução deste experimento com material de baixo custo utilizamos um aparato muito semelhante ao do experimento anterior (Experimento 6.7), mas em vez de prender uma folha de papel sulfite (A4) na linha de algodão, prendemos um ímã – tal como ilustra a Figura 91.

No experimento descrito por Gray, a exemplo do anterior, o barbante que suspende o ímã é fixado diretamente no tubo de vidro. Aqui, optamos por prendê-lo em um suporte fixo porque o intenso chacoalhar da linha devido ao atrito do tubo de PVC inviabiliza o experimento. A ponta do palito de madeira, na região em que a linha de algodão estava fixada, foi envolta com fita isolante, pois sem este artifício (*i.e.*, isolar a região em que a





(a) Ímã preso por uma linha de algodão a um palito de madeira que está fixado em uma caixa de papelão. A figura também ilustra a linha pendular utilizada como detector de eletrização.



(b) Ímã preso por uma linha de algodão a um palito de madeira que está fixado em uma caixa de papelão. A figura também ilustra a linha pendular utilizada como detector de eletrização e a tesoura “fixada” ao ímã.

Figura 91: Instrumento utilizado para o experimento em que se verifica “*se a virtude elétrica seria de alguma forma impedida pelos eflúvios magnéticos de um ímã*”.

linha estava presa) não foi possível realizar o experimento aproximando o tubo atritado da parte de cima da linha. O detector de eletrização utilizado foi uma linha pendular de algodão presa a um suporte com base de gesso, já que os pedacinhos de papel de seda não funcionaram como detector neste caso. Utilizamos para este experimento um ímã de alto-falante, tendo em vista a facilidade de acesso ao mesmo. A Figura 91(b) mostra uma tesoura “presa” ao ímã, mas pode ser utilizado qualquer outro objeto que seja ferromagnético. Lembrando que no caso da tesoura a verificação da eletrização não deve ser feita no cabo de plástico, mas parte metálica dela.

Para realizar o experimento o tubo de PVC foi atritado com poliamida e, após ficar eletrizado, foi aproximado da parte superior da linha de algodão, na região amarrada ao palito. Vale destacar que a distância em que ocorria a atração entre a linha pendular e o ímã variava em cada teste, no entanto, só foi possível verificar a eletrização do ímã com a linha bem próxima a ele. Desta forma, o leitor deverá estar atento a isso, pois a má regulação desta distância pode inviabilizar o experimento. Os testes mostram que mesmo um objeto magnetizado pode apresentar atração elétrica quando colocado em situação que propicie tal feito. Isto também foi observado por Gray.

### **Experimento 6.9** *Condução da eletricidade por vários caminhos ao mesmo tempo*

✓ MATERIAIS UTILIZADOS

---

- |                             |                         |
|-----------------------------|-------------------------|
| ⇒ Tubo de PVC               | ⇒ Canudinho de refresco |
| ⇒ Poliamida                 | ⇒ Linha de algodão      |
| ⇒ Suporte com base de gesso | ⇒ Disco de cortiça      |
| ⇒ Agulha de costura         | ⇒ Cortiça               |

À página 32 do artigo original (página 157 desta tese), é descrito um experimento em que Gray mostra “*que a virtude elétrica é transportada ao mesmo tempo por vários caminhos*”. Para a reconstrução deste experimento com material de baixo custo utilizamos três pedaços de linha de algodão presas a um tubo de PVC. Para prender as linhas de algodão no tubo, foi utilizada uma rolha de cortiça, sendo que as linhas foram colocadas dentro do tubo e, em seguida, ele foi arrolhado, de tal maneira que as linhas ficassem presas. Na outra extremidade de cada linha foi colocado um disco de cortiça por meio de uma agulha de costura. À exemplo de outros experimentos descritos neste texto, a utilização da agulha de costura para prender a linha condutora (de algodão) ao disco de cortiça é por conveniência, pois facilita o encaixe e a remoção da peça de cortiça. Para suspender a linha de algodão foram utilizados três suportes com base de gesso, sendo utilizados canudinhos de refresco como haste horizontal, os quais são isolantes – Gray utilizou suportes feitos com linha de seda para suspender a linha de condução. É importante que seja utilizado um suporte isolante para a linha de condução, pois como evidencia o Experimento 6.6 (à página 186 desta tese), um suporte de material condutor inviabiliza a transmissão da eletricidade. Utilizamos pequenos pedaços de papel de seda como detectores de eletricidade, os quais foram colocados sob os discos de cortiça e sobre folhas de papel sulfite. A linha de condução segue horizontalmente entre o tubo de PVC e a haste horizontal, e após o ponto em que é fixada no canudo (*i.e.*, haste horizontal) segue verticalmente até próximo aos pedacinhos de papel de seda. A ilustração do aparato utilizado para este experimento pode ser vista na Figura 92.

Para realizar o experimento, o tubo de PVC foi atritado com poliamida e, após alguns segundos de eletrização, os discos de cortiça atraíram os pedacinhos de papel de seda colocados sob eles, como ilustra a Figura 93.

Um fator importante neste experimento, como já relatado em experimentos anteriores, é a distância entre a cortiça colocada na ponta das linhas de condução e os papezinhos de

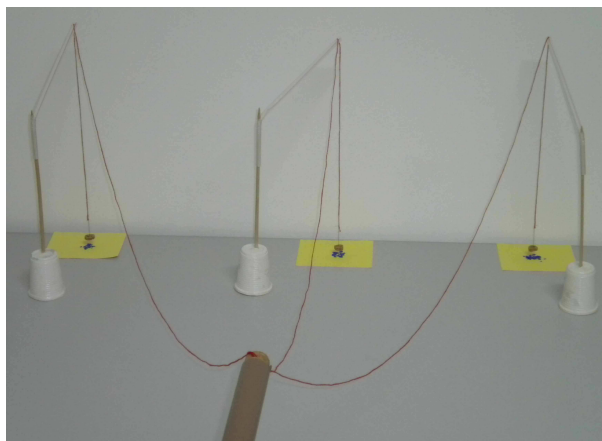


Figura 92: Aparato utilizado para o experimento em “*que a virtude elétrica é transportada ao mesmo tempo por vários caminhos*”. Três pedaços de linha de algodão são presos a um tubo de PVC, seguem horizontalmente até um suporte isolante e, então, seguem verticalmente até próximo à superfície. Nesta extremidade de cada linha condutora há um disco de cortiça preso a elas por meio de uma agulha, abaixo dos discos há pedacinhos de papel de seda colocados sobre um pedaço de papel sulfite.

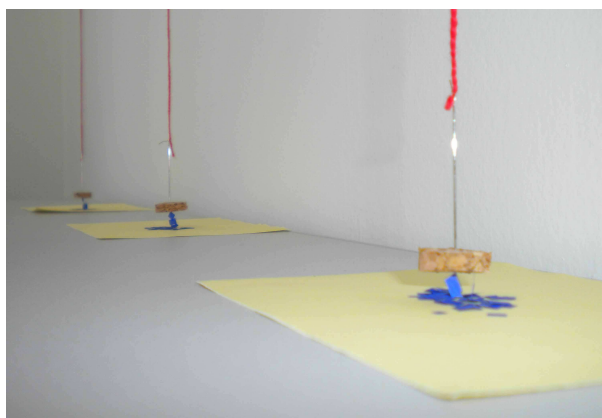


Figura 93: Os três discos de cortiça presos a linhas de algodão por meio de agulhas de costura atraindo pedacinhos de papel de seda colocados sobre um pedaço de papel sulfite após a eletrização do tubo de PVC por meio de atrito com poliamida.

seda. Esta distância tem de ser bem pequena para que se observe a atração. A distância utilizada por nós é de cerca de 7 mm, que é o diâmetro de um canudo de refresco utilizado para regular esta altura. Em nossos testes, distâncias maiores que 7 mm inviabilizaram o experimento. Outro fator crucial na realização do experimento é evitar que as linhas de condução toquem objetos condutores (como a mesa, por exemplo) enquanto o tubo é atritado, pois isso inviabiliza o experimento.

**Experimento 6.10** *Transporte de eletricidade sem que o tubo toque a linha de transmissão*

### ✓ MATERIAIS UTILIZADOS

- |  |                      |
|--|----------------------|
| ⇒ Tubo de PVC                          | ⇒ Vareta de madeira  |
| ⇒ Poliamida                            | ⇒ Papel sulfite      |
| ⇒ Garra “ <i>tipo boca de jacaré</i> ” | ⇒ Papel de seda      |
| ⇒ Agulha de costura                    | ⇒ Linha de seda      |
| ⇒ Disco de cortiça                     | ⇒ Linha de poliamida |
| ⇒ Suporte com base de gesso            |                      |

À página 33 do texto original (página 158 desta tese), Gray reporta um experimento em que prendeu um pedaço de chumbo ao teto por meio de uma *linha muito fina*<sup>90</sup>, tal como ilustra a Figura 64, à página 159 desta tese. Desta forma, prendemos um disco de cortiça ao suporte de madeira por meio de uma linha de seda de cerca de 50 cm, a qual é isolante. Sob a cortiça foram colocados pedacinhos de papel de seda, os quais estavam sobre uma folha de sulfite. O aparato é ilustrado na Figura 94.

Atritamos o tubo de PVC com poliamida e o aproximamos da linha, sem tocá-la, a várias alturas. A primeira constatação foi que os pedacinhos da linha de seda que sobraram do laço que a prendia no suporte de madeira (ou à *garra “tipo boca de jacaré”*) foram atraídos pelo tubo de PVC atritado.<sup>91</sup> Depois, verificamos que na medida em que o tubo de PVC eletrizado era aproximado da linha de seda, ela era atraída, movimentando-se de forma pendular. O mesmo ocorreu quando utilizamos uma linha de poliamida (*i.e.*, linha de pesca), mas o efeito de atração nos pareceu menos acentuado neste material. Após aproximar o tubo a várias alturas da linha de seda, observamos que, para alturas menores do que 20 cm, a cortiça atraía pedacinhos de papel de seda.

Uma hipótese explicativa para tal fato é que está ocorrendo polarização na linha de seda e, conseqüentemente, na cortiça, apesar de a linha de seda ser um isolante elétrico para experimentos de eletrostática. O Experimento 5.3, descrito à página 135 desta tese, corrobora nossa hipótese, pois evidencia que uma linha de seda presa a um palito de madeira é atraída por um tubo de PVC atritado colocado próximo a ela. Esta interação

<sup>90</sup>Estas linhas se comportam como materiais isolantes – ver nota 49 à página 159 desta tese.

<sup>91</sup>Não é necessária a utilização da *garra “tipo boca de jacaré”* neste experimento, pois a linha vertical pode ser presa diretamente ao suporte de madeira por meio de um laço ou nó. Utilizamos a *garra* apenas para facilitar a troca dos fios e a regulagem da altura do disco de cortiça em nossos testes.

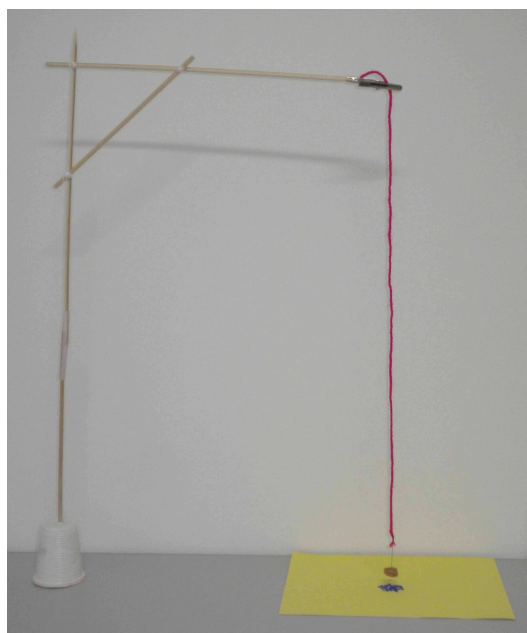
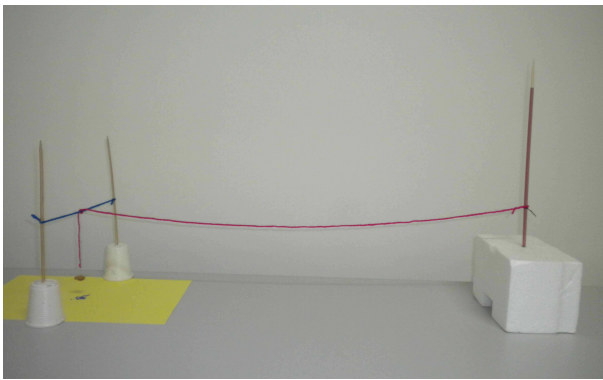


Figura 94: Aparato completo utilizado para o experimento em que há transporte de eletricidade sem que o tubo toque a linha de transmissão. Há um suporte de madeira feito com palitos de churrasco e base de gesso, uma linha de seda pendurada verticalmente ao suporte por meio de uma garra “tipo boca de jacaré” e, preso à extremidade inferior da linha, um disco de cortiça fixado por meio de uma agulha.

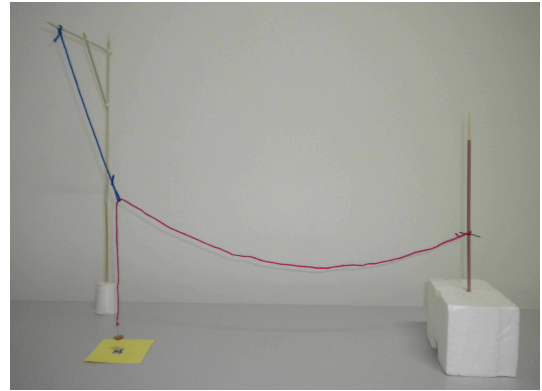
atrativa entre o tubo eletrizado e a linha de seda provavelmente se deve a uma polarização no material isolante. As Figuras 46 e 48, às páginas 137 e 139 desta tese, ilustram o fenômeno. Também seria possível levantar a hipótese de que a atração dos papezinhos ocorre devido à influência direta do próprio tubo atritado na cortiça, mas durante os testes verificamos que em alguns momentos o tubo atraía papezinhos à altura de cerca de 10 cm e a atração pelo disco de cortiça preso à linha se deu com o tubo à cerca de 20 cm de altura.

Para este experimento utilizamos os aparatos dos Experimentos 6.5 e 6.6, mas em vez de prender a linha condutora no tubo de PVC a fixamos em um suporte feito com base de isopor e um palito de madeira envolto por um canudinho de refresco, de tal forma que a linha ficasse presa a um suporte isolado eletricamente. A Figura 95 ilustra ambos os aparatos.

Utilizamos pedacinhos de papel de seda como detectores de eletricidade, os quais foram colocados sob o disco de cortiça e sobre uma folha de papel sulfite. Fizemos os testes com linhas de apoio condutoras e isolantes, cujos materiais são: 1) linha de algodão; 2) fio de cobre bem fino; 3) linha de poliamida (*i.e.*, linha de pesca); 4) linha de seda. A linha de transmissão é sempre de algodão. As Tabelas 10 e 11 apresentam os resultados que obtivemos ao fazer os experimentos com os diferentes materiais e diferentes distâncias



(a) À esquerda há dois suportes com base de gesso e uma linha de apoio presa entre eles na posição horizontal. À direita há um bloco de isopor com um palito de madeira que são utilizados como suporte para prender a linha de condução, a qual é esticada até o lado esquerdo e fica apoiada na linha de apoio horizontal entre os suportes com base de gesso. No final da linha de condução há um disco de cortiça preso a ela por meio de uma agulha de costura.



(b) À esquerda há um suporte de madeira com base de gesso e uma linha de apoio presa a ele na posição vertical. À direita há um bloco de isopor com um palito de madeira que são utilizados como suporte para prender a linha de condução, a qual é esticada até o lado esquerdo e fica apoiada na linha de apoio vertical presa ao suporte de madeira. No final da linha de condução há um disco de cortiça preso a ela por meio de uma agulha de costura.

Figura 95: Aparatos utilizados para o experimento em que a virtude elétrica pode ser transportada a partir do tubo sem tocar a linha de comunicação.

entre a cortiça e os pedacinhos de papel de seda.

Tabela 10: Condução da eletricidade sem contato entre o tubo e a linha de transmissão.

Nº	Linhas de sustentação	Altura de 7 mm	Altura < 7 mm
1	Linha de algodão	não atrai	atrai
2	Fio de cobre	não atrai	não atrai
3	Linha de poliamida	atrai	atrai
4	Linha de seda	atrai	atrai

A Tabela 10 reporta os resultados obtidos com o aparato da Figura 95(a), e a Tabela 11 reporta os resultados obtidos com o aparato da Figura 95(b). O experimento consiste em atritar o tubo de PVC com poliamida e aproximá-lo da extremidade da linha de condução que está presa ao suporte com base de isopor. Verifica-se então se a cortiça na outra extremidade da linha de condução atrai ou não os papeizinhos de seda colocados abaixo dela.

**Experimento 6.11** *Transporte de eletricidade por vários caminhos sem que o tubo toque a linha de transmissão*

Tabela 11: Condução da eletricidade sem contato entre o tubo e a linha de transmissão.

Nº	Linhas de sustentação	Altura de 7 mm	Altura < 7 mm
1	Linha de algodão	atrai	atrai
2	Fio de cobre	não atrai	atrai
3	Linha de poliamida	atrai	atrai
4	Linha de seda	atrai	atrai

### ✓ MATERIAIS UTILIZADOS

- |                             |                         |
|-----------------------------|-------------------------|
| ⇒ Tubo de PVC               | ⇒ Canudinho de refresco |
| ⇒ Poliamida                 | ⇒ Linha de algodão      |
| ⇒ Suporte com base de gesso | ⇒ Disco de cortiça      |
| ⇒ Agulha de costura         | ⇒ Cortiça               |
| ⇒ Peça de isopor            | ⇒ Palito de madeira     |

À página 34 do artigo original (página 159 desta tese), é descrito um experimento em que Gray mostra “*que a virtude elétrica pode ser transportada ao mesmo tempo por vários caminhos, por uma linha de comunicação, sem tocar a referida linha*”. Para este experimento utilizamos o mesmo aparato do Experimento 6.9 (à página 192 desta tese). No entanto, em vez de prendermos os barbantes no tubo de PVC, eles foram fixados em um suporte isolante. Este suporte foi feito com um bloco de isopor e um palito de madeira envolto por um canudinho de refresco, de tal forma que as linhas ficassem presas a um suporte isolado eletricamente. A Figura 96 ilustra este aparato.

Para realizar o experimento, o tubo de PVC foi atritado com poliamida e, então, aproximado do nó que prendia as linhas ao suporte isolado eletricamente. Com isso, os discos de cortiça atraíram os pedacinhos de papel de seda colocados sob eles. Um fator crucial neste experimento é a distância entre a cortiça colocada na ponta das linhas de condução e os papeizinhos de seda. Esta distância tem de ser pequena para que se observem as atrações. A distância utilizada por nós é de cerca de 7 mm, que é o diâmetro de um canudo de refresco utilizado para regular a altura. Um segundo fator crucial é evitar que as linhas de condução toquem objetos condutores, como por exemplo a mesa, pois isso inviabiliza o experimento.

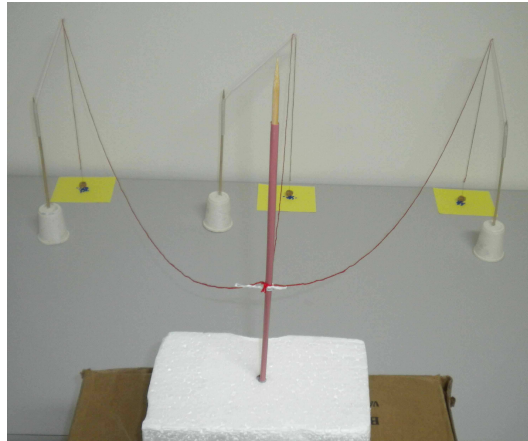


Figura 96: Aparato utilizado para o experimento em “*que a virtude elétrica pode ser transportada ao mesmo tempo por vários caminhos, por uma linha de comunicação, sem tocar a referida linha.*”. Três pedaços de linha de algodão são presos a um suporte isolado eletricamente, seguem horizontalmente até um segundo suporte isolante (suporte com base de gesso + canudo de refresco como haste horizontal) e, então, seguem verticalmente até próximo à superfície. Nesta extremidade de cada linha condutora há um disco de cortiça preso a elas por meio de uma agulha. Abaixo dos discos há pedacinhos de papel de seda colocados sobre um pedaço de papel sulfite.

### Experimento 6.12 *Vareta de madeira pendurada por linhas isolantes*

#### ✓ MATERIAIS UTILIZADOS

- |  |                     |
|--|---------------------|
| ⇒ Tubo de PVC                          | ⇒ Vareta de madeira |
| ⇒ Poliamida                            | ⇒ Papel sulfite     |
| ⇒ Garra “ <i>tipo boca de jacaré</i> ” | ⇒ Papel de seda     |
| ⇒ Agulha de costura                    | ⇒ Linha de seda     |
| ⇒ Disco de cortiça                     | ⇒ Linha de algodão  |
| ⇒ Caixa de papelão                     |                     |

À página 36 do artigo original (página 161 desta tese), Gray descreve um experimento em que uma vara de madeira é pendurada em *linhas muito finas*, as quais se comportam como materiais isolantes (ver nota 49 à página 159). Para a reconstrução deste experimento com material de baixo custo, utilizamos uma vareta de madeira de cerca de 50 cm pendurada por linhas de seda presas a palitos de madeira fixos em uma caixa de papelão. Em uma das extremidades da vareta de madeira prendemos um pedaço de linha de algodão de cerca de 20 cm por meio de uma garra “*tipo boca de jacaré*”. Na extremidade



inferior desta linha foi preso um disco de cortiça por meio de uma agulha de costura. Como detector de eletrização utilizamos pedacinhos de papel de seda colocados sob o disco de cortiça e sobre um pedaço de papel sulfite. O aparato é ilustrado na Figura 97.

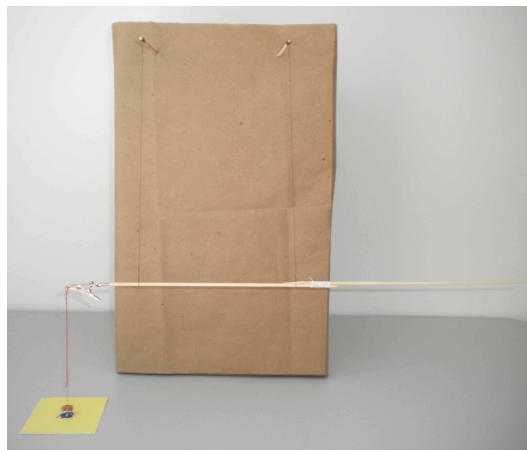


Figura 97: Vareta de cerca de 50 cm presa por linhas de seda a palitos de madeira fixados em uma caixa de papelão. Na extremidade esquerda da vareta há uma linha de algodão presa por meio de uma garra “*tipo boca de jacaré*”, e na extremidade inferior desta linha há um disco de cortiça preso à linha por meio de uma agulha de costura. A figura também ilustra os pedacinhos de papel de seda utilizados como detectores de eletrização, os quais estão posicionados sob o disco de cortiça e sobre um pedaço de papel sulfite.

Utilizamos uma caixa de papelão como suporte por conveniência, sendo que o leitor poderá utilizar outro suporte, caso seja mais conveniente. A garra “*tipo boca de jacaré*” também foi utilizada por conveniência, pois facilita a regulagem do tamanho da linha de algodão e, conseqüentemente, o ajuste da altura do disco de cortiça em relação à superfície da mesa. Os palitos de madeira foram fincados na caixa de papelão na região bem próxima à parte superior, para que pudessem ficar apoiados no teto da mesma e, assim, suportassem as peças penduradas neles. A vareta de madeira de cerca de 50 cm foi feita com a junção de dois palitos de madeira, presos um ao outro por meio de uma linha de algodão. As linhas de seda utilizadas para suspender a vareta de madeira podem ser substituídas por outro material que seja isolante elétrico, como por exemplo linha de poliamida (*i.e.*, linha de pesca).

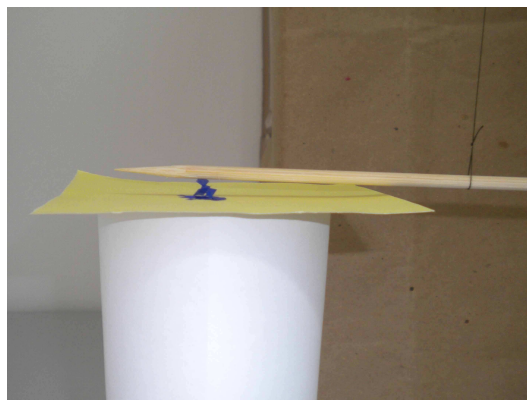
Para realizar o experimento, o tubo de PVC foi atritado com poliamida e, após ficar eletrizado, foi aproximado da extremidade da vareta oposta àquela em que estava presa a linha de algodão. Desta forma, o disco de cortiça, colocado em altura apropriada, atraiu pedacinhos de papel de seda. Tentamos realizar o experimento com uma linha de algodão de aproximadamente um metro, mas o intenso chacoalhar do instrumento no momento em que o tubo eletrizado é aproximado inviabilizou o experimento. É preciso ficar atento à altura do disco de cortiça em relação à superfície que suporta os papeizinhos,

pois a má regulagem desta distância coloca o experimento em xeque. Também é preciso aproximar o tubo eletrizado da extremidade da vareta com cuidado e vagarosamente, pois o instrumento balança bastante e o intenso chacoalhar do disco de cortiça impede a atração dos pedacinhos de papel de seda. Quanto maior a linha de algodão, maior é a dificuldade de realizar o experimento devido à oscilação da linha.

Fizemos um segundo experimento com este aparato, mas retirando a linha de algodão com o disco de cortiça, para verificar se a própria vareta de madeira atrairia os pedacinhos de papel de seda colocados sob ela. Como suporte para os pedacinhos de papel de seda foi utilizado um cilindro feito com uma folha de papel sulfite, o qual foi cortado em uma altura adequada para a realização do experimento. A Figura 98(a) ilustra o aparato utilizado para este experimento.



(a) Vareta de 50 cm presa por linhas de seda a palitos de madeira fixados em uma caixa de papelão. Abaixo da extremidade esquerda da vareta há pedacinhos de papel de seda utilizados como detectores de eletrização, os quais estão colocados sobre um pedaço de papel sulfite. Como suporte para os papeizinhos de papel de seda foi utilizado um cilindro feito com uma folha de papel sulfite.



(b) A figura ilustra em detalhe a atração dos pedacinhos de papel de seda pela vareta de madeira quando o tubo de PVC eletrizado é aproximado da extremidade oposta àquela que está sobre os papeizinhos.

Figura 98: Experimento em que uma vareta de madeira suspensa por linhas isolantes atrai pedacinhos de papel de seda quando sob ação de um tubo de PVC eletrizado por atrito com poliamida.

O procedimento é o mesmo utilizado anteriormente. Após atritar o tubo de PVC com poliamida, o aproximamos da extremidade da vareta oposta àquela na qual os pedacinhos de papel de seda estavam colocados. Na medida em que o tubo eletrizado era aproximado, os papeizinhos foram atraídos pela vareta, como apresenta a Figura 98(b).

### **Experimento 6.13** *Aro de madeira pendurado na posição vertical por linhas isolantes*

### ✓ MATERIAIS UTILIZADOS

- |                     |                    |
|---------------------|--------------------|
| ⇒ Tubo de PVC       | ⇒ Papel sulfite    |
| ⇒ Poliamida         | ⇒ Papel de seda    |
| ⇒ Caixa de papelão  | ⇒ Linha de seda    |
| ⇒ Vareta de madeira | ⇒ Linha de algodão |

À página 36 do artigo original (página 161 desta tese), Gray descreve um experimento em que um aro de madeira é suspenso verticalmente por uma *linha muito fina*. Para a reconstrução deste experimento com material de baixo custo utilizamos um aro de madeira feito com palitos de churrasco, que foi pendurado por uma linha de seda presa a um palito de madeira fixo em uma caixa de papelão. Como detector de eletrização utilizamos pedacinhos de papel de seda colocados sob o aro de madeira e sobre um pedaço de papel sulfite. O aparato é ilustrado na Figura 99.



Figura 99: Aro de madeira preso por uma linha de seda a um palito de madeira fixado em uma caixa de papelão. A figura também ilustra os pedacinhos de papel de seda utilizados como detectores de eletrização, os quais estão posicionados sob o aro de madeira e sobre uma folha de papel sulfite.

Para a confecção do aro de madeira, utilizamos um palito de churrasco, o qual foi dividido em três por meio de um estilete. Desta forma, ficamos com três palitos do

mesmo tamanho, porém mais finos. Isso foi feito para que fosse possível dobrá-los em forma de semicírculo, uma vez que o palito de churrasco que tínhamos era muito rígido e se quebrava quando envergado. Na montagem do aparato utilizamos apenas dois dos três palitos finos. Para unir os dois semicírculos foi utilizada uma linha de algodão, que serviu para amarrar as pontas sobrepostas dos palitos em forma de semicírculo. Não foi possível obter um círculo perfeito, ficando meio ovalado. O diâmetro médio aproximado do nosso aro é de 16 cm.

Para realizar o experimento, o tubo de PVC foi atritado com poliamida e, após ficar eletrizado, foi aproximado da parte superior do aro, ou seja, daquela que estava presa à linha de seda. Desta forma, a parte inferior do aro, quando colocado em altura apropriada, atraiu pedacinhos de papel de seda, como ilustra a Figura 100.

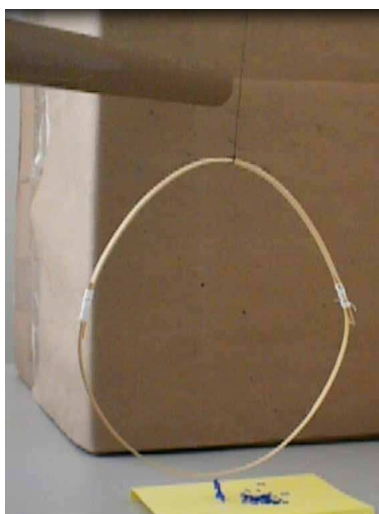


Figura 100: O aro de madeira preso a uma linha de seda atraindo pedacinhos de papel de seda colocados sobre um pedaço de papel sulfite após eletrizar o tubo de PVC por meio de atrito com poliamida e aproximá-lo da parte superior do aro.

Vale destacar que neste experimento é mais comum os pedacinhos de papel de seda serem atraídos e repelidos pelo aro, ou serem atraídos e caírem logo em seguida por ação da gravidade, ficando por pouco tempo enfileirados entre o aro e a superfície. Isto talvez seja devido ao balanço do aro quando o tubo de PVC eletrizado é colocado próximo a ele. Sendo assim, a Figura 100 foi feita a partir de um vídeo do experimento, pois fazer a fotografia no momento em que o fenômeno ocorria não nos foi possível. É preciso ficar atento à altura do aro em relação à superfície que suporta os papezinhos, pois a má regulagem desta distância inviabiliza o experimento. Também é preciso aproximar o tubo eletrizado da extremidade do aro com cuidado e vagarosamente, pois o instrumento balança bastante e o intenso chacoalhar do aro impede a atração dos pedacinhos de papel de seda. Não foi possível fazer o experimento em que Gray aproxima o tubo eletrizado da

parte inferior do aro, pois devida a proximidade desta região com os pedacinhos de papel de seda, a aproximação do tubo de PVC eletrizado os atraía.

**Experimento 6.14** *Aro de madeira pendurado na posição horizontal por linhas isolantes*

✓ MATERIAIS UTILIZADOS	
⇒ Tubo de PVC	⇒ Papel sulfite
⇒ Poliamida	⇒ Papel de seda
⇒ Caixa de papelão	⇒ Linha de seda
⇒ Vareta de madeira	⇒ Linha de algodão

À página 37 do artigo original (página 163 desta tese), Gray descreve um experimento em que um aro de madeira é suspenso horizontalmente por uma *linha muito fina*. Para a reconstrução deste experimento com material de baixo custo utilizamos o aro de madeira feito com palitos de churrasco do Experimento 6.13, que foi pendurado a um palito de madeira fixo em uma caixa de papelão. A suspensão do aro foi feita de duas maneiras: i) por quatro linhas de seda amarradas ao aro e presas ao palito fixo à caixa (ver a Figura 101); e ii) por quatro linhas de algodão presas ao aro e depois presas a um pedaço de linha de seda que estava amarrada ao palito de madeira fixo à caixa (ver a Figura 102).

Como detector de eletrização utilizamos pedacinhos de papel de seda colocados sob o aro de madeira e sobre um pedaço de papel sulfite. Como suporte para os papeizinhos de papel de seda foi utilizado um cilindro feito com uma folha de papel sulfite, o qual foi cortado em uma altura adequada para a realização do experimento.

Para realizar o experimento, o tubo de PVC foi atritado com poliamida e, após ficar eletrizado, foi aproximado da região do aro oposta àquela que estava sobre os papeizinhos de seda. Desta forma, o aro, quando colocado em altura apropriada, atraiu pedacinhos de papel de seda, tal como ilustra a Figura 103.

Vale destacar que neste experimento é mais comum os pedacinhos de papel de seda serem atraídos e repelidos pelo aro, ou serem atraídos e caírem logo em seguida por ação da gravidade, ficando por pouco tempo enfileirados entre o aro e a superfície. Isto talvez seja devido ao balanço do aro quando o tubo de PVC eletrizado é colocado próximo a ele. Sendo assim, a Figura 103 foi feita a partir de um vídeo do experimento, pois



(a) Aro de madeira na posição horizontal preso por quatro linhas de seda a um palito de madeira fixado em uma caixa de papelão. A figura também ilustra os pedacinhos de papel de seda utilizados como detectores de eletrização.



(b) Em detalhe o aro de madeira na posição horizontal preso por quatro linhas de seda, juntamente aos pedacinhos de papel de seda utilizados como detectores de eletrização, os quais estão posicionados sob o aro de madeira e sobre um pedaço de papel sulfite. Como suporte para os papezinhos de papel de seda foi utilizado um cilindro feito com uma folha de papel sulfite.

Figura 101: Aro de madeira na posição horizontal preso por quatro linhas de seda.

fazer a fotografia no momento em que o fenômeno ocorria não nos foi possível. É preciso ficar atento à altura do aro em relação à superfície que suporta os papezinhos, pois a má regulagem desta distância inviabiliza o experimento. Também é preciso aproximar o tubo eletrizado da extremidade do aro com cuidado e vagarosamente, pois o instrumento balança bastante e o intenso chacoalhar do aro impede a atração dos pedacinhos de papel de seda.

### **Experimento 6.15** *Eletrização de uma bolha de sabão*

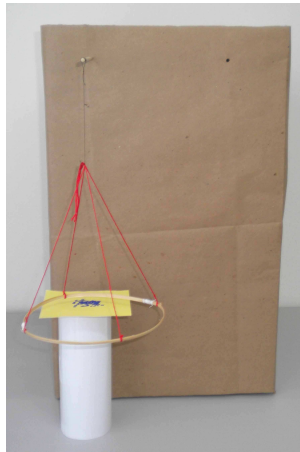


Figura 102: Aro de madeira na posição horizontal preso por quatro linhas de algodão amarradas a uma linha de seda. Esta está fixada a um palito de madeira fincado em uma caixa de papelão. A figura também ilustra os pedacinhos de papel de seda utilizados como detectores de eletrização, os quais estão posicionados sob o aro de madeira e sobre uma folha de papel sulfite. Como suporte para os papezinhos de papel de seda foi utilizado um cilindro feito com uma folha de papel sulfite.

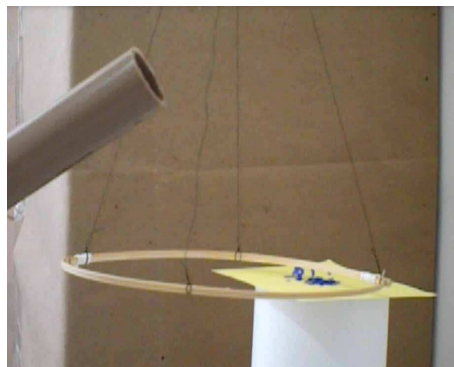


Figura 103: O aro de madeira preso a quatro linhas de seda atraindo pedacinhos de papel de seda colocados sobre um pedaço de papel sulfite após eletrizar o tubo de PVC por meio de atrito com poliamida e aproximá-lo do aro.

#### ✓ MATERIAIS UTILIZADOS

- |                                    |                             |
|------------------------------------|-----------------------------|
| ⇒ Tubo de PVC                      | ⇒ Papel de seda             |
| ⇒ Poliamida                        | ⇒ Papel alumínio            |
| ⇒ Água                             | ⇒ Suporte com base de gesso |
| ⇒ Detergente líquido               | ⇒ Suportes de madeira       |
| ⇒ Xarope de milho ( <i>Karo</i> ®) | ⇒ Linha de seda             |
| ⇒ Cachimbo de madeira              | ⇒ Canudinho de refresco     |
| ⇒ Varetas de madeira               | ⇒ Rolha de cortiça          |

Às páginas 38 e 39 do artigo original (página 165 desta tese) Gray descreve um experimento em que uma bolha de sabão soprada em um cachimbo de madeira é eletrizada pela aplicação de um tubo de vidro atritado. Para a reprodução deste experimento, utilizamos um cachimbo de madeira suspenso por linhas de seda em uma haste horizontal de um suporte de madeira, tal como ilustra a Figura 104.

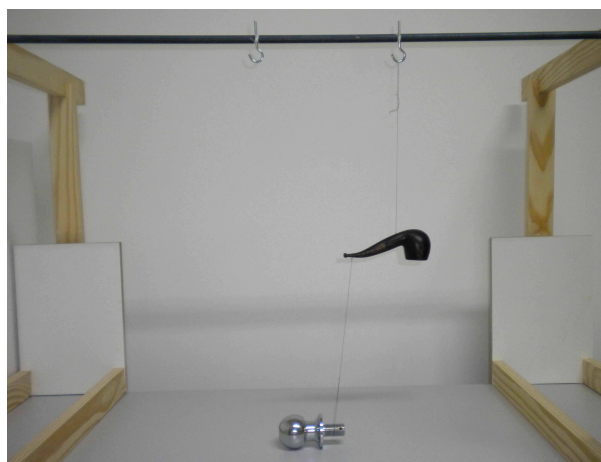


Figura 104: Aparato utilizado para suspender o cachimbo de madeira. Ao alto da figura há uma haste horizontal presa à dois suportes laterais de madeira. O cachimbo, ao centro da figura, está suspenso por uma linha isolante de seda presa à haste horizontal. Uma segunda linha de seda, presa à piteira, o prende em uma peça de ferro colocada sobre a mesa, para que o cachimbo fique na posição correta.

Para fazer a bolha de sabão, utilizamos uma mistura de detergente líquido, água e xarope de milho (*e.g.*, uma marca encontrada no comércio é a *Karo*®) na proporção 1:1:0,5. Esta mistura deixa a bolha mais resistente e duradoura, permitindo a realização dos experimentos. É possível encontrar na Web outras receitas para a mistura. Para fazer a bolha, o fornildo do cachimbo deve ser imerso na mistura e, em seguida, a bolha é feita soprando através da piteira. Cabe destacar que em nossos experimentos era comum a bolha se contrair com o passar do tempo. A Figura 105 ilustra a bolha soprada no fornildo do cachimbo suspenso.

Para o primeiro teste que fizemos buscando verificar se a bolha de sabão ficaria eletrizada, colocamos pedacinhos de papel de seda sobre um pequeno suporte de madeira (base + haste vertical) e os colocamos sob o fornildo do cachimbo suspenso em linhas de seda, tal como ilustram as Figuras 106 e 107.<sup>92</sup>

<sup>92</sup>O pequeno suporte de madeira foi feito em uma marcenaria. Na extremidade superior da haste vertical colocamos papel alumínio por conveniência.



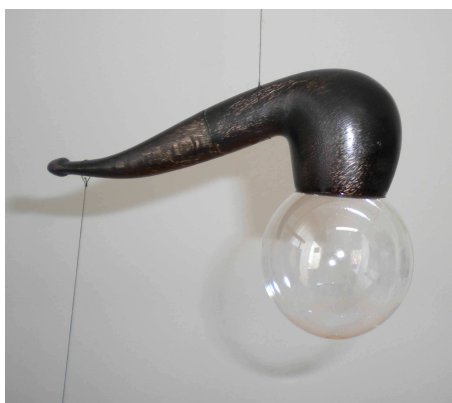


Figura 105: Bolha de sabão soprada no forninho do cachimbo suspenso.

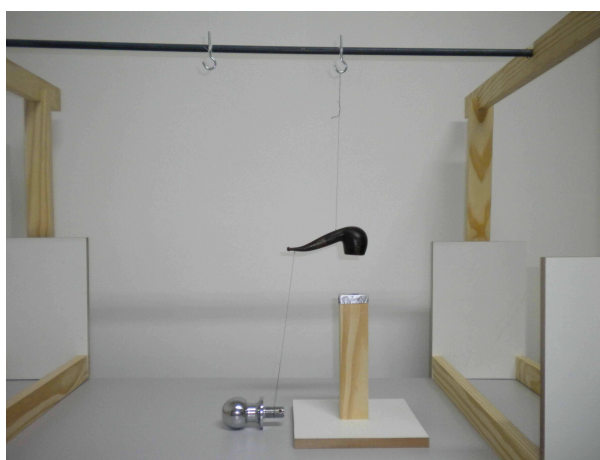


Figura 106: Cachimbo suspenso por linhas de seda, abaixo do forninho há um pequeno suporte de madeira.

Antes de iniciar o experimento, verificamos se haveria atração dos papezinhos de seda pelo forninho ao aproximar um tubo de PVC eletrizado da piteira do cachimbo, o que de fato ocorreu. Tendo em vista isso, não seria possível afirmar que a bolha estaria eletrizada, já que a atração dos papezinhos, caso ocorresse, poderia ser por ação direta do forninho e não da bolha. Sendo assim, pensamos em duas soluções. *i)* Como o pequeno suporte de madeira tem altura fixa de 20 cm e não é possível diminuí-la, utilizamos um canudinho de refresco eletrizado em vez do tubo de PVC. Desta forma, os papezinhos não foram atraídos pelo forninho quando o canudo foi aplicado na piteira. *ii)* Fizemos um outro suporte utilizando uma pequena base de madeira, um palito de madeira e uma rolha de cortiça, tal como ilustra a Figura 108.

Fizemos este suporte em uma altura em que fosse possível utilizar o tubo de PVC eletrizado no experimento, ou seja, em uma altura em que o forninho não atraía os papezinhos de seda posicionados sobre a cortiça.<sup>93</sup> Independentemente do suporte utilizado

<sup>93</sup>Uma terceira opção seria aumentar a altura do cachimbo.

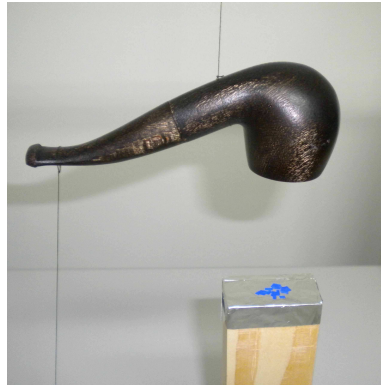


Figura 107: Em detalhe o cachimbo suspenso e os papezinhos de seda colocados sobre o pequeno suporte de madeira.



Figura 108: Cachimbo suspenso por linhas de seda, abaixo do forninho há uma rolha de cortiça presa a um palito e pequena base de madeira.

para fazer o experimento, para realizá-lo fazíamos uma bolha no cachimbo e aproximávamos o indutor (*i.e.*, tubo de PVC ou canudo eletrizado por meio de atrito com poliamida, dependendo do suporte utilizado) da piteira do cachimbo, mas de forma que *não houvesse contato físico entre elas*. Desta forma, a bolha de sabão atraía os pedacinhos de papel.<sup>94</sup> Isso evidencia que ela estava eletrizada. Ressaltamos que a distância entre a parte de baixo da bolha e os papezinhos de seda era maior quando o tubo de PVC e o suporte com rolha eram utilizados, tendo em vista a maior eletrização do tubo em relação ao canudo de refresco.

Quando aproximávamos o tubo de PVC atritado da piteira do cachimbo, em geral, ocorria um estalido, fenômeno que indica a ocorrência de uma descarga elétrica entre o

<sup>94</sup>Em geral, a bolha estourava quando os papezinhos chocavam-se contra ela.

tubo e o cachimbo.<sup>95</sup> Isso nos levou a testar se a bolha ficaria eletrizada mesmo com o tubo longe do cachimbo. Para isso, após a aproximação do tubo e a ocorrência do estalido, aproximamos da bolha uma tirinha de papel alumínio bem fina, a qual foi atraída, evidenciando que a bolha estava eletrizada.<sup>96</sup> Isso nos levou a verificar se a bolha seria repelida pelo tubo atritado após o mesmo ter eletrizado o sistema *cachimbo-bolha*. Atritamos o tubo com poliamida e o aproximamos da piteira do cachimbo cerca de três vezes, procuramos eletrizar bem o tubo para que em todas as aproximações ocorressem estalidos. Então, após o sistema ficar carregado com as descargas elétricas, aproximamos o tubo da bolha, a qual foi repelida. Algumas vezes, ela foi repelida pelo tubo enquanto estávamos carregando o sistema, ou seja, ao aproximar o tubo atritado da piteira pela segunda ou terceira vez a bolha já era repelida.<sup>97</sup>

---

<sup>95</sup>Neste caso a eletrização ocorre a partir da aproximação do indutor (*i.e.*, o tubo eletrizado), sem que haja contato físico ou toque com o corpo isolado. Do ponto de vista da “física atual”, isso ocorre porque na medida em que o tubo atritado é aproximado da extremidade do cachimbo de madeira isolado eletricamente, o cachimbo fica polarizado. Isto é, a parte mais próxima ao tubo fica com carga de sinal oposto à do tubo, e a parte mais afastada do cachimbo fica eletrizada com cargas de mesmo sinal que a do tubo. Este fenômeno é conhecido como *polarização* ou *indução elétrica*. A partir de uma certa distância entre o tubo e o objeto, ocorre uma descarga elétrica entre eles, o que faz com que o sistema isolado fique carregado eletricamente com carga de mesma natureza que a do tubo.

<sup>96</sup>Em geral, a bolha estourava quando a tirinha chocava-se contra ela.

<sup>97</sup>Durante a repulsão, era possível ver a bolha se movendo lateralmente, mas ela não se desprendia do forninho. Ela voltava à posição inicial após a remoção do tubo ou estourava.

## 7 Tradução 4

### 7.1 Tradução 4 - Uma Carta a Respeito da Eletricidade da Água, do Sr. Stephen Gray para Cromwell Mortimer, M. D. Secr. R. S.

Senhor,<sup>1;2;3</sup>

A aprovação recebida pela comunicação anterior [sobre] meus experimentos elétricos para a *Royal Society* (*Philosophical Transactions* N.º. 417),<sup>4</sup> pelos seus mais generosos encorajamentos, foi um grande incentivo para que eu desse continuidade a eles, para verificar quais descobertas adicionais posso fazer sobre o assunto dessa espécie de atração. Neste momento comunicarei somente dois experimentos. O primeiro mostrando que a água pode ter uma virtude atrativa comunicada para ela a partir de um corpo elétrico. O outro, [mostrando] que a água é não apenas atraída pelo tubo [de vidro eletrizado], ou por qualquer outro corpo totalmente elétrico, mas que esta atração ocorre com várias circunstâncias notáveis.

I. Na apresentação anterior dos meus experimentos, descrevi uma maneira de comunicar uma atração para uma bolha de água com sabão.<sup>5</sup> Mas agora encontrei que até mesmo *um corpo de água recebe uma virtude atrativa e também uma virtude repulsiva pela aplica-*

<sup>1</sup>Tradução do texto: (GRAY, 1731-2a, p. 227-230).

<sup>2</sup>O *texto original* em inglês apresenta várias palavras iniciadas com letra maiúscula no meio das frases, as quais optamos por grafar com letra minúscula para facilitar a leitura. Além disso, a pontuação gramatical foi alterada para facilitar a sua compreensão.

<sup>3</sup>Os destaques em *itálico* no texto são dos tradutores, assim como as palavras entre colchetes. Os colchetes [p. ] indicam a página original do texto em inglês.

<sup>4</sup>(GRAY, 1731-2c, p. 18-44).

<sup>5</sup>Gray pendurou um cachimbo por meio de uma linha isolante, de forma que ficasse suspenso na posição horizontal e com a boca do forninho para baixo. Então, mergulhou o cachimbo em uma solução de sabão e água e assoprou uma bolha, colocando lâminas de latão em um suporte abaixo dela. O tubo de vidro eletrizado foi colocado próximo à linha isolante, desta forma as lâminas foram atraídas (ver a Figura 109(a)). Em outro experimento, o cachimbo foi pendurado por meio de duas linhas de seda e o tubo atritado foi colocado próximo à extremidade menor do cachimbo, sendo que as lâminas também foram atraídas (ver a Figura 109(b)). Este experimento foi descrito por Gray no artigo (GRAY, 1731-2c, p. 38-9), nesta tese encontra-se à página 165.

ção do tubo excitado próximo a ele, da mesma maneira que adquirem os corpos sólidos.<sup>6</sup> Para executar este experimento girei um prato (*dish*) de madeira [para fazer] um buraco com rosca no fundo, de forma que [o buraco] não atravessasse a madeira. Este [prato] foi parafusado na extremidade superior de um dos suportes que tenho mencionado em outros experimentos, sendo retirada a outra extremidade superior.<sup>7</sup> O prato tinha aproximadamente [p. 228] quatro polegadas [10,2 cm] de diâmetro e uma polegada [2,54 cm] de profundidade. Então, o suporte foi fixado sobre um pedaço de resina, ou sobre uma placa de vidro, ou sobre a borda de um copo (*drinking-glass*), ou sobre um copo cilíndrico, tais como são utilizados para copos de água (*water glasses*). O vidro deve ser inicialmente aquecido, então o prato é enchido com água. O tubo atritado é movimentado embaixo do prato e em cima da água três ou quatro vezes, sem tocá-los.<sup>8</sup> Depois de ter sido excitado, não só o prato, mas também a água torna-se elétrica.<sup>9</sup> E se um pequeno pedaço de linha,<sup>10</sup> ou uma estreita tira de papel fino, ou um pedaço de folha de latão (*sheet-brass*), geralmente chamado de ouropel,<sup>11</sup> for mantido sobre a água em uma posição horizontal,<sup>12</sup> dentro de aproximadamente uma polegada [2,54 cm] ou algumas vezes mais, qualquer um dos corpos citados<sup>13</sup> será atraído para a superfície da água, e será repellido, mas não tão frequentemente como por [corpos] sólidos. Se uma *linha pendular*<sup>14</sup> for colocada a certa distância do lado de fora do prato, ela será atraída e repelida [pelo prato] muitas vezes seguidas com um movimento muito rápido,<sup>15</sup> mas não a uma distância tão grande como

<sup>6</sup>Grifo do autor. Ou seja, assim como um sólido pode receber uma virtude atrativa ou repulsiva pela aproximação de um tubo de vidro eletrizado, o mesmo pode ocorrer com um volume de água.

<sup>7</sup>Gray parece estar se referindo a algum outro objeto que estava preso à parte superior do suporte nas experiências anteriores.

<sup>8</sup>Uma ilustração deste procedimento pode ser vista na Figura 110.

<sup>9</sup>Uma ilustração de como Gray pode ter concluído que o prato com água havia se eletrizado encontra-se na Figura 111.

<sup>10</sup>“*Thread*” no original. Provavelmente trata-se de um pequeno pedaço de uma linha de algodão ou de linho. Estes materiais comportam-se como condutores nas experiências usuais de eletrostática.

<sup>11</sup>“*Tinsel*” no original. Ou seja, uma tira ou folha delgada de latão.

<sup>12</sup>Provavelmente estes materiais (pedaço de linha, tira de papel ou folha de latão) são mantidos na horizontal ao ficarem presos por algum isolante elétrico.

<sup>13</sup>Todos os corpos aqui citados (linha de algodão, tira de papel e lâmina de latão) comportam-se como condutores.

<sup>14</sup>O que estamos traduzindo como “*linha pendular*” aparece como “*pendulous thread*” no original.

<sup>15</sup>Gray não especificou de que material foi feita esta linha pendular. Contudo, neste exemplo em particular, afirma que a linha pendular “será atraída e repelida [pelo prato] muitas vezes seguidas com um movimento muito rápido.” Para que ocorra este movimento repetido de atração e repulsão, o que nos parece mais provável é que esta linha pendular seja similar ao pêndulo elétrico que descreveu em 1720 (GRAY, 1720-1, p. 107) [ver a página 128 desta tese]. Isto é, uma vareta de madeira tinha uma fina linha de seda presa em sua ponta. Na extremidade inferior da linha de seda era presa uma penugem. Gray segurava a vareta com a mão e a linha de seda ficava na vertical, com a penugem na extremidade inferior. Embora a vareta de madeira se comporte como um condutor, isto não é relevante neste caso. Os aspectos cruciais são que a linha de seda se comporta como um isolante, enquanto que a penugem se comporta como um condutor.

Pode ser obtida uma sequência de atrações e repulsões com um pêndulo elétrico ao colocá-lo entre um corpo eletrizado e um condutor aterrado (ASSIS, 2010, p. 88-89, experiência 4.15). No caso específico

quando o prato está vazio.<sup>16</sup>

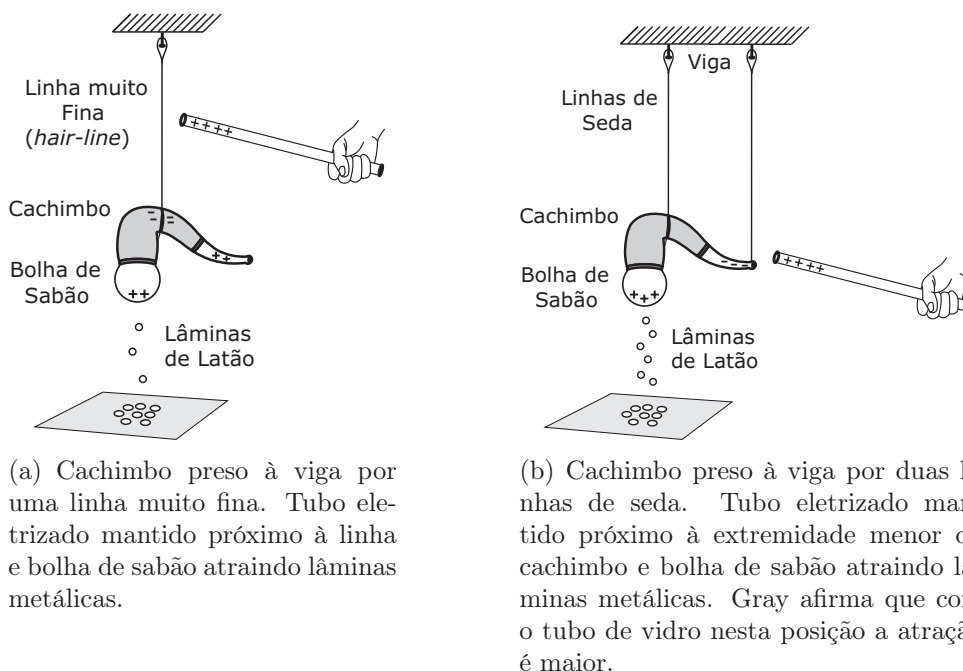


Figura 109: Ilustração do cachimbo preso à viga por uma linha muito fina ou por duas linhas de seda. Na Figura há uma representação qualitativa das cargas elétricas. Figura adaptada de (ASSIS, 2010, p. 258, Figura B.16).

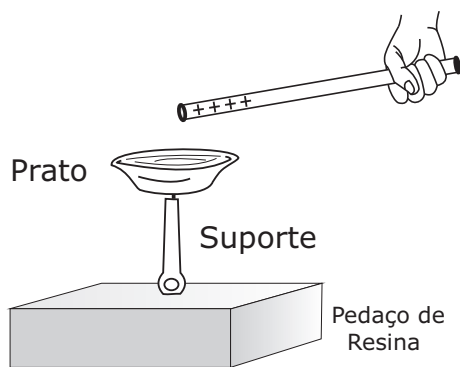


Figura 110: Prato com água fixado ao suporte que está sobre um pedaço de resina. Movimenta-se o tubo eletrizado tanto por cima da água quanto por baixo do prato, sem que o tubo toque o prato ou a água.

desta experiência de Gray, a penugem de seu pêndulo elétrico seria mantida na mesma altura do prato eletrizado pela linha de seda. A penugem ficaria entre o prato eletrizado e um corpo aterrado, que vamos supor que seja um dedo de uma das mãos de Gray. Ao aproximar o pêndulo do prato eletrizado, a penugem é atraída pelo prato, toca nele, adquire uma carga de mesmo sinal que o prato, passa a ser repelida por ele, toca no dedo de Gray que está do outro lado da penugem, sendo então descarregada neste aterramento. Ela então volta a ser atraída pelo prato eletrizado e todo o procedimento se repete. Este movimento vibratório de atração e repulsão continuará até que o prato tenha sido descarregado, quando então deixará de atrair a penugem. Ver a Figura 111.

<sup>16</sup>Neste experimento, provavelmente o suporte é de madeira. Sendo assim, a menos da base de resina que é isolante, os outros corpos, *i.e.*, a água, o prato e o suporte, são condutores elétricos. Com isso, é possível que o tubo tenha eletrizado não somente a água, mas todo o conjunto. A eletrização provavelmente ocorreu devido a faíscas ou pequenas descargas elétricas entre o tubo de vidro eletrizado e a água.

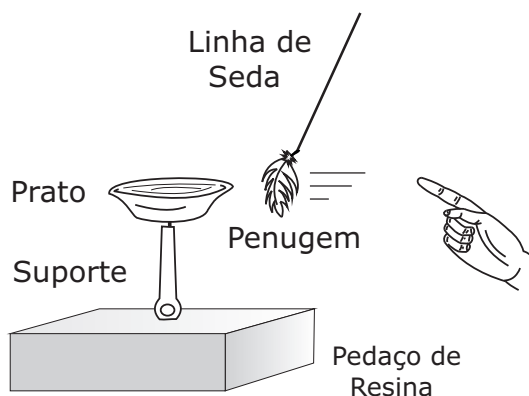


Figura 111: Depois que o prato com água estiver eletrizado, uma penugem condutora presa a uma linha de seda isolante é colocada nas proximidades do prato, ficando entre o prato e um dedo aterrado do outro lado. A penugem será então atraída pelo prato, ficará eletrizada ao tocar nele, sendo então repelida. Ela é descarregada ao tocar no dedo do outro lado, sendo então todo o procedimento repetido até que o prato tenha sido descarregado.

II. *Um experimento mostrando que a água é atraída pelo tubo e que a atração é acompanhada de vários fenômenos notáveis e surpreendentes.*

Este experimento deve ser feito com pequenas quantidades de água. Primeiro, usei algum dos pequenos pratos côncavos de latão, em que anteriormente poli [lentes de] microscópios. Desde então fiz um aparato mais conveniente, que consiste em um pequeno pedestal de aproximadamente quatro polegadas e meia [11,4 cm] de comprimento, e base de marfim com aproximadamente duas polegadas [5 cm] de diâmetro. Sobre a extremidade superior, como no suporte maior, há uma rosca, [p. 229] sobre a qual é parafusado um dos pequenos pratos (*dishes*) que são feitos de marfim. Destes tenho vários tamanhos, com diâmetros [que variam] de três quartos a um décimo de polegada [2 a 0,2 cm]. Quando qualquer um desses pequenos recipientes é enchido com água, de modo que ela possa ficar acima da borda do copo (*cup*)<sup>17</sup> e tenha adquirido uma superfície esférica (como ela fará nos copos menores), deixe-o imóvel sobre a mesa com o pequeno suporte ao qual tinha sido parafusado anteriormente. Ou [ainda], [o] que é melhor, sobre o suporte maior mencionado anteriormente, sendo retirado o prato grande<sup>18</sup> e sendo parafusado [no suporte] o pequeno plano superior (*plain top*). Estando tudo preparado desta forma, seja o tubo excitado e colocado sobre a água à distância de aproximadamente uma polegada [2,54 cm] ou mais.<sup>19</sup> Se for um tubo grande, inicialmente levantará uma pequena montanha de água a partir do topo da água que está acima da borda do recipiente (*top of the drop*), tendo uma forma cônica. A partir do vértice [da montanha de água] procede uma luz (muito

<sup>17</sup>Aparentemente Gray está se referindo ao mesmo objeto quando diz prato (*dish*) e copo (*cup*).

<sup>18</sup>Supõe-se que seja o prato citado no **Experimento I** e que ainda estivesse preso ao suporte.

<sup>19</sup>Uma ilustração da conformação deste experimento pode ser vista na Figura 112. Supomos que sobre o plano é colocado um dos pequenos pratos de marfim.

visível quando o experimento é realizado em um quarto escuro) e um barulho [estalido], quase como aquele [emitido] quando os dedos são colocados próximos ao tubo, mas não tão alto, e de um som mais grave (*flat sound*). Logo após isto acontecer, a montanha, se posso chamá-la assim, cai dentro do restante da água, e a coloca em movimento trêmulo e ondulatório. Alguns dias depois repeti este experimento de dia, enquanto a luz do Sol ainda brilhava. Percebi que existiam pequenas partículas de água lançadas para fora do topo da montanha, e que às vezes surgia uma corrente muito fina de água a partir do vértice do cone, na forma de uma fonte, a partir da qual saía uma fina exalação, ou vapor, cujas partículas eram tão pequenas que não podiam ser vistas. Mas é certo que tem de ser assim, já que o lado de baixo do tubo estava molhado, como encontrei quando fui atritá-lo novamente. Notei desde então, que embora não surja [p. 230] sempre aquele filete de água, ainda assim sempre há um vapor de partículas invisíveis lançadas sobre o tubo, e às vezes [em uma] intensidade para serem visíveis sobre ele. Quando são utilizados alguns dos grandes copos, eles devem ser preenchidos tão alto quanto possível sem derramar. A superfície será plana aproximadamente na parte central [do grande recipiente]. Mas quando o tubo é colocado sobre ela [a superfície], a parte central será comprimida [de forma a ficar] côncava, e as partes na direção da borda serão levantadas.<sup>20</sup> E quando o tubo é colocado defronte à borda da água (*over against the side of the water*), a pequena protuberância cônica de água sai com seu eixo na horizontal.<sup>21</sup> Depois do barulho [estalido], [a protuberância cônica] retorna para o restante da água, e às vezes saem dela pequenas partículas da mesma, como a partir das menores porções de água mencionadas anteriormente. Eu sou,

*O mais obediente servidor  
do Senhor e da Sociedade.*

**Stephen Gray.**

*Charter-House,*

20 de janeiro de 173<sup>1</sup>/<sub>2</sub>.

#### ADENDO<sup>22</sup>

O último experimento foi repetido com água quente, quando a água foi atraída muito mais fortemente e à uma distância muito maior. O vapor saindo do vértice foi, neste

<sup>20</sup>Provavelmente o tubo eletrizado foi colocado sobre a borda do copo cheio de água. A água das bordas é atraída pelo tubo, fazendo com que a água na parte central se abaixe em relação à sua altura normal quando o tubo está afastado.

<sup>21</sup>Provavelmente o tubo foi colocado na mesma altura que a borda. Ao aproximar horizontalmente o tubo do copo, a protuberância passa a apontar lateralmente para o tubo ao ser atraída por ele.

<sup>22</sup>Na página 260 do periódico há um adendo relativo à página 230.



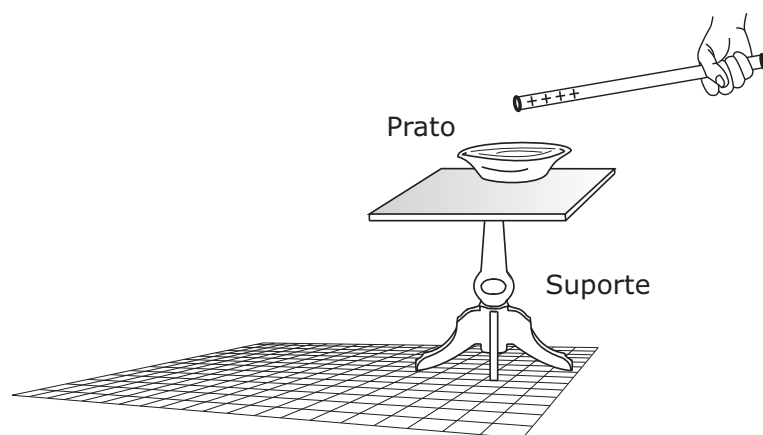


Figura 112: Suporte com base de marfim e com o pequeno plano parafusado na parte superior. Sobre o plano está o pequeno prato de marfim preenchido com água e sobre a água o tubo de vidro eletrizado.

caso, visível e o tubo foi pulverizado com grandes gotas de água. Testei o experimento da mesma maneira com mercúrio, o qual foi da mesma forma levantado, mas, devido ao seu grande peso, não à uma altura tão grande quanto a água. O barulho [estalido] foi mais alto e durou muito mais do que na água.

## 7.2 Experimentos

### 7.2.1 Introdução

Nesta seção iremos apresentar alguns experimentos que permitem discutir o caráter condutor da água quando colocada sob uma diferença de potencial apropriada. No livro “*Os fundamentos experimentais e históricos da eletricidade*”, destaca-se que a água da torneira comporta-se como um condutor elétrico para experimentos usuais de eletrostática, uma vez que descarrega um eletroscópio carregado (ASSIS, 2010, p. 149, Experiência 6.13). No entanto, quando sob uma diferença de potencial de poucos volts ou até algumas centenas de volts, ela se comporta como um isolante elétrico (ASSIS, 2010, p. 156-61, Seção 6.6). Nos experimentos usuais de eletrostática, como os descritos por Gray e reproduzidos nesta tese, estamos lidando com diferenças de potencial de milhares de volts. Segundo Assis (2010, p. 210), a água comporta-se como condutor porque em seu estado natural tem íons positivos  $\text{H}_3\text{O}^+$  e íons negativos  $\text{OH}^-$  além das moléculas de  $\text{H}_2\text{O}$ . Além disso, a água de torneira ou de chuva tem muitos íons provenientes de impurezas, sais, minerais, etc. Sendo assim, quando esta água é submetida a uma alta diferença de potencial (*i.e.*, de milhares de volts), os íons deslocam-se fazendo com que ela se comporte como um condutor elétrico (ASSIS, 2010, p. 210).

Vamos apresentar e discutir aqui alguns experimentos realizados originalmente por Gray que evidenciam esta característica condutora da água.

### 7.2.2 Experimentos com Materiais Acessíveis

**Experimento 7.1** *Experimento em que o tubo eletrizado faz levantar um montinho de água*

✓ MATERIAIS UTILIZADOS	
⇒ Tubo de PVC	⇒ Suporte de madeira
⇒ Poliamida	⇒ Colher de madeira
⇒ Água	

À página 228 e 229 do artigo original (página 212 desta tese), é descrito um experi-

mento em que um montinho de água é levantado quando um tubo de vidro eletrizado é aproximado de uma porção de água. Para a reprodução deste experimento, utilizamos um suporte de madeira (base + haste vertical) e uma colher de madeira, da qual serramos o cabo. O aparato utilizado no experimento é apresentado na Figura 113.



Figura 113: Suporte de madeira (base + haste vertical) com uma colher de madeira sem cabo sobre a haste vertical. O conjunto está sobre uma mesa de madeira.

Para realização do experimento, foi colocada uma certa quantidade de água dentro da colher de madeira. Então, eletrizamos um tubo de PVC por meio de atrito com poliamida e, em seguida, o aproximamos da água. Na medida em que o tubo era colocado bem próximo à superfície do líquido, ocorria a formação de um montinho de água e um estalido. É importante ressaltar que o montinho se formava e caía imediatamente, *não* ficava em pé por alguns instantes. Visualmente nos pareceu que a formação do montinho de água e a ocorrência do estalido eram fenômenos que se davam ao mesmo tempo.<sup>23;24</sup>

Uma segunda maneira de verificar o fenômeno da formação do montinho de água é utilizando uma grande gota de água. Para a realização do experimento colocamos um pedaço de papel alumínio sobre o suporte de madeira utilizado anteriormente e uma grande gota de água sobre ele, tal como ilustra a Figura 114.<sup>25</sup>

Então, o tubo de PVC eletrizado por meio de atrito com poliamida foi aproximado

<sup>23</sup>O experimento também pode ser feito com uma *base isolante*, por exemplo, de isopor, no lugar do *suporte de madeira* (base + haste vertical).

<sup>24</sup>Tendo em vista que este fenômeno é bastante difícil de ser fotografado para ser apresentado nesta tese, fizemos um vídeo sobre ele, o qual pode ser acessado no endereço: <[www.youtube.com/watch?v=wh77Vzw-24s](http://www.youtube.com/watch?v=wh77Vzw-24s)> (BOSS; ASSIS; CALUZI, 2011a). Acesso em: 16 out. 2011. Neste caso a colher de madeira com água está sobre uma base isolante de isopor.

<sup>25</sup>Utilizamos o papel alumínio na extremidade superior da haste vertical do suporte de madeira por conveniência, pois tanto a madeira quanto o papel alumínio comportam-se como condutores elétricos para estes experimentos.



Figura 114: Suporte de madeira (base + haste vertical) com a extremidade superior envolta por papel alumínio e uma grande gota de água colocada sobre o papel alumínio.

da água. Desta forma também foi possível ver o fenômeno do montinho de água e do estalido. Também fizemos um terceiro teste, colocando uma rolha de cortiça com papel alumínio na ponta sobre o suporte, como ilustra a Figura 115.<sup>26</sup>



Figura 115: Suporte de madeira (base + haste vertical) com a extremidade superior envolta por papel alumínio, uma rolha de cortiça também envolta com papel alumínio sobre a haste vertical e uma gota de água colocada sobre o papel alumínio da rolha.

Em ambos os experimentos descritos anteriormente, a porção de água está colocada sobre uma superfície condutora e não isolada eletricamente, ou seja, todo o sistema está aterrado. Quando o tubo eletrizado é aproximado da água, ela se deforma de tal maneira que surge uma saliência na superfície do líquido, a qual aponta para o objeto eletrizado. Vamos supor que nosso tubo esteja eletrizado negativamente. Do ponto de vista da “física atual”, podemos dizer que a aproximação do tubo de PVC eletrizado faz com que a porção de água se polarize eletricamente como um todo, ficando positiva na região mais próxima do tubo e negativa na região mais distante, a qual está em contato com a superfície. Como esta superfície também é condutora, ocorre a neutralização da parte da água em contato com ela. Sendo assim, a porção de água fica carregada eletricamente com uma

<sup>26</sup>William Gilbert (1544-1603) “parece ter sido o primeiro a observar um líquido sendo atraído pelo âmbar atritado em uma experiência análoga à que foi” apresentada aqui (ASSIS, 2010, p. 28).

carga de natureza contrária àquela do tubo eletrizado. Na medida em que cargas de sinais opostos se atraem, a porção de água se deforma, surgindo uma saliência no sentido do tubo atritado, podendo, inclusive, deslocar-se no sentido dele. (ASSIS, 2010, p. 210-1). Os estalidos que são escutados em nossos experimentos evidenciam que há uma descarga elétrica entre a porção de água e o tubo eletrizado. Sendo assim, se a água estiver em um recipiente condutor elétrico, mas este estiver sobre um suporte isolante, o conjunto *recipiente com água* ficará eletrizado, como será evidenciado no Experimento 7.2 desta seção. Caso a porção de água esteja sobre um recipiente isolante, ela ficará carregada eletricamente, como será evidenciado no Experimento 7.3 desta seção.

**Experimento 7.2** *Experimento em que o recipiente de madeira com água fica eletrizado*

✓ MATERIAIS UTILIZADOS	
⇒ Tubo de PVC	⇒ Água
⇒ Poliamida	⇒ Base de isopor
⇒ Colher de madeira	⇒ Linha de seda
⇒ Papel de seda	⇒ Suporte com base de gesso
⇒ Canudinho de refresco	

À página 228 do artigo original (página 212 desta tese), é descrito um experimento em que uma linha pendular é atraída e repelida por um recipiente isolado contendo água. Como discutido na subseção 2.4.1, neste caso a linha pendular de Gray funcionava como um pêndulo elétrico. Ou seja, provavelmente era uma linha isolante com um condutor leve preso em sua extremidade livre inferior. Para a reprodução do experimento, utilizamos uma base de isopor para isolar eletricamente a colher de madeira, a qual foi enchida com água. Utilizamos um pêndulo elétrico como sendo a linha pendular de Gray. Ou seja, uma linha de seda isolante com um disquinho condutor em sua extremidade inferior. Este disquinho, no nosso caso, era feito de papel de seda (apesar do nome, o papel de seda comporta-se como um material condutor). Este pêndulo foi apoiado em um suporte com base de gesso. O aparato é apresentado na Figura 116.

Para realizar o experimento, o tubo de PVC foi atritado com poliamida e aproximado da água colocada dentro da colher cerca de 3 ou 4 vezes, ou até que um montinho de



Figura 116: Sobre a base de isopor está posicionada uma colher de madeira sem cabo, dentro da colher há uma certa quantidade de água. A figura também mostra um pêndulo elétrico. Isto é, um suporte com base de gesso, fixado a ele tem um canudinho de refresco como haste horizontal no qual está presa uma linha de seda com disquinho de papel de seda na ponta inferior.

água e um estalido ocorressem. Até este momento, o pêndulo elétrico estava afastado da colher de madeira. Após ocorrer o montinho de água e o estalido, o pêndulo elétrico era colocado de forma que o disquinho de papel de seda ficasse na lateral direita da colher (ver Figura 116). Sendo assim, o disquinho era atraído por ela, a tocava e, em seguida, era repellido. Então, colocávamos a mão no mesmo plano horizontal do disco e próximo à colher, de tal forma que o disco ficasse posicionado entre a mão e a colher de madeira (ver Figura 117). Na medida em que a mão era colocada, o disquinho começava a oscilar entre ela e a colher. Este fenômeno evidencia que o conjunto *recipiente com água* estava eletrizado.



Figura 117: A figura mostra a posição da colher de madeira, do disco de papel de seda e da mão para a realização do experimento.

Também utilizamos um pêndulo elétrico com uma penugem presa na extremidade

inferior, em vez do disquinho de papel de seda. Neste caso, a oscilação foi mais lenta, pois a penugem grudava na colher e demorava alguns segundos para se deslocar para a mão. Uma vez em contato com a mão, ela também demorava alguns segundos para se desprender e voar para a colher novamente.

Realizamos um outro teste utilizando uma tirinha de papel alumínio presa a um canudinho de refresco, portanto isolada eletricamente, para aproximar da água. Esta tirinha tinha cerca de 3 cm de comprimento e 1 mm de largura. Cortamos uma das suas extremidades de forma pontiaguda. A extremidade não-pontiaguda foi presa ao canudo por meio de fita adesiva, ver Figura 118.



Figura 118: Tirinha de papel alumínio presa a um canudinho de refresco.

Como recipiente, utilizamos tanto a colher de madeira apresentada anteriormente, quanto uma peça de PVC, a qual é uma tampa de cano (chamada “CAP”) com 2 cm de diâmetro interno, ver a Figura 119.



Figura 119: Recipiente de PVC (“CAP” de 2 cm de diâmetro interno) cheio de água e sobre uma base de isopor.

Para realizar o experimento, eletrizamos a água por meio da aplicação do tubo de PVC atritado com poliamida, como já descrito, e aproximamos a tirinha de papel alumínio da sua superfície. Desta forma, a tirinha foi atraída e repelida. Então, posicionamos o dedo indicador, da mão que não segurava o canudo, a cerca de 1 cm da superfície da água,

de forma que a tirinha de papel alumínio ficasse entre o dedo e o líquido. Assim, a tira oscilou algumas vezes entre eles. Isso ocorreu tanto para o recipiente de PVC quanto para o de madeira. No entanto, o efeito para o recipiente de PVC é bem maior, sendo que a frequência de oscilação da tirinha é maior. Outrossim, é mais difícil obter a oscilação da tirinha com a utilização do recipiente de madeira. É importante destacar que este teste foi feito várias vezes e não foi possível obter êxito com tirinhas maiores e/ou mais largas. Além disso, ao aproximar a tirinha da superfície da água, é preciso que ela chegue com uma certa angulação, pois quando a aproximamos paralelamente à superfície, em geral, era atraída e ficava presa na água. Mesmo não chegando paralela à superfície, algumas vezes ela era atraída e ficava presa ao líquido. Outro fator de extrema importância para este experimento é a eletrização da água, a qual deve estar bem carregada. Para isso nós atritamos e aproximamos o tubo de PVC várias vezes à água, de forma que antes de cada teste promovíamos inúmeros estalidos por meio da aplicação do tubo carregado. Para finalizar, eletrizamos a água no recipiente de madeira e aproximamos a tirinha da lateral dele, de forma que ficasse entre o recipiente e o dedo da mão. Foi assim que obtivemos a oscilação da tira de papel de alumínio isolada eletricamente da Terra pelo canudo de plástico ao qual estava presa.

Do ponto de vista da “física atual”, podemos dizer que o estalido evidencia uma descarga elétrica entre a água e o tubo de PVC eletrizado, carregando eletricamente o *conjunto colher de madeira com água*. Isso fica evidente na medida em que o disco de papel de seda é aproximado da colher, sendo atraído e repelido. O disco, inicialmente neutro, é atraído pela colher eletrizada. Quando ocorre o contato entre eles, o disco fica carregado com carga elétrica de mesma natureza que a da colher, por isso passa a ser repelido após o toque. Quando a mão aterrada é aproximada do disco carregado, ele é atraído por ela. Na medida em que ocorre o contato entre eles, o disco descarrega, ficando neutro novamente e sendo atraído pela colher. Isso se repete sucessivamente até que a carga do *conjunto colher com água* não seja mais suficiente para atrair o disquinho neutro.

**Experimento 7.3** *Experimento em que a água é eletrizada quando colocada sobre um recipiente isolante*



### ✓ MATERIAIS UTILIZADOS

- |                       |                  |
|-----------------------|------------------|
| ⇒ Tubo de PVC         | ⇒ Papel alumínio |
| ⇒ Poliamida           | ⇒ Peça de PVC    |
| ⇒ Suporte de isopor   | ⇒ Água           |
| ⇒ Corante alimentício |                  |

No início do texto original (GRAY, 1731-2a, p. 227-8) (página 224 desta tese) Gray descreve um experimento em que uma porção de água é colocada dentro de um recipiente de madeira isolado e é eletrizada devido à aproximação de um tubo de vidro atritado. Para reproduzir este experimento, utilizamos uma peça de PVC para colocar uma pequena porção de água em cima e o tubo de PVC atritado para eletrizá-la. A Figura 120 ilustra o aparato utilizado para o experimento.<sup>27</sup>



Figura 120: Sobre uma mesa de madeira há um bloco de isopor, uma peça de PVC está posicionada sobre o isopor e a porção de água está sobre a peça de PVC.

Para a realização do experimento, um tubo de PVC foi atritado com poliamida e aproximado da gota de água cerca de 3 ou 4 vezes ou até que um montinho de água se levantasse e ocorresse um estalido. Em seguida, uma tirinha de papel alumínio de cerca de 4 cm de comprimento por 3 mm de largura foi aproximada da água. Desta forma, foi possível ver a tirinha de papel de alumínio ser atraída pela água, fenômeno que evidencia a sua eletrização. Uma discussão sobre a eletrização da água pode ser encontrada em Assis (2010, p. 212-6, Seção 7.12: É Possível Eletrizar a Água?).

<sup>27</sup>A gota de água foi tingida de vermelho para melhor visualização. Isto pode ser feito com corante alimentício, groselha ou com beterraba.

**Experimento 7.4** *Experimento - filete de água curvando sob ação de um tubo eletrizado*

✓ MATERIAIS UTILIZADOS	
⇒ Tubo de PVC	⇒ Torneira com água
⇒ Poliamida	

Um experimento interessante sobre a interação da água com um objeto eletrizado pode ser feito com um filete contínuo de água saindo de uma torneira e um bastão eletrizado, que pode ser um canudo de refresco, um tubo de PVC etc. Basta aproximar o bastão eletrizado do filete de água saindo da torneira para visualizar a atração da água. Segundo Assis (2010, p. 211-2), a referida atração se dá devido à polarização elétrica inicial do filete de água, uma vez que as cargas de sinal contrário às do tubo movem-se para a face do filete que está voltada para o tubo eletrizado. Já as cargas que ficariam na face oposta do filete, ou seja, na região mais afastada do bastão, são neutralizadas pelo aterramento da água. Uma discussão mais detalhada sobre esta questão pode ser vista em Assis (2010, p. 211-2).<sup>28</sup>

<sup>28</sup>“Uma experiência análoga a esta parece ter sido realizada pela primeira vez por Jean Théophile Desaguliers (1683-1744) em 1741” (ASSIS, 2010, p. 25-6).

## 8 Tradução 5

### 8.1 Tradução 5 - Uma Carta do Sr. Stephen Gray para o Dr. Cromwell Mortimer, Secr. R. S. Contendo Descrições Adicionais de seus Experimentos a Respeito da Eletricidade

*Charter-House*, 7 de junho de 1732.<sup>1;2;3</sup>

Senhor,

Desde meu último [artigo] (*Philosophical Transactions* N° 422),<sup>4</sup> no qual dei uma descrição de meus experimentos mostrando [que a] água será atraída por corpos elétricos, e que ela pode ter uma virtude elétrica comunicada para ela, de forma a atrair corpos sólidos, tenho [me dedicado] a outra investigação, [a saber:] não poderia ser encontrado um meio para tornar mais permanente nos corpos esta propriedade de atração elétrica? O quanto tenho tido sucesso nesta tentativa [será] mostrado pelos experimentos [que] tenho feito sobre vários corpos mencionados na Tabela a seguir.<sup>5</sup> E como todos eles foram preparados da mesma maneira, exceto os de número 18 e 19, que serão descritos posteriormente, pode ser suficiente uma descrição geral do método de preparo e de preservação deles no estado de atração.

Os corpos em que os experimentos foram feitos eram: resina (*rosin*) (ambas, preta e branca), asfalto pétreo (*stone-pitch*),<sup>6</sup> goma-laca em folhas (*shell-lac*)<sup>7</sup> ou goma-laca

<sup>1</sup>Tradução do texto: (GRAY, 1731-2b, p. 285-291).

<sup>2</sup>O *texto original* em inglês apresenta várias palavras iniciadas com letra maiúscula no meio das frases, as quais optamos por grafar com letra minúscula para facilitar a leitura. Além disso, a pontuação gramatical foi alterada para facilitar a sua compreensão.

<sup>3</sup>Os destaques em *itálico* no texto são dos tradutores, assim como as palavras entre colchetes. Os colchetes [p. ] indicam a página original do texto em inglês.

<sup>4</sup>(GRAY, 1731-2a, p. 227-230).

<sup>5</sup>Esta Tabela está na página 232 desta tese.

<sup>6</sup>*Pitch* é uma resina preta, ou piche, obtida a partir de diversas árvores coníferas, como os pinheiros.

<sup>7</sup>Goma-laca em folhas, *shellac*, é uma resina em camadas feita da secreção de alguns insetos como, por exemplo, a *cochonilha-da-laca*.

(*gum-lac*), cera de abelhas (*bees-wax*), e enxofre. Adquiritrês conchas de ferro de vários tamanhos, nas quais derreti essas substâncias, utilizando aquela que pensava [ser] mais conveniente para a quantidade que planejei derreter. Quando qualquer um desses corpos era derretido, ele era [p. 286] retirado do fogo e colocado de lado na concha para esfriar e endurecer. Então, voltava-o ao fogo, onde permanecia até que era derretido o fundo e as laterais [em contato com] a concha, a fim de ficar móvel. De modo que, pela inversão da concha ele poderia ser retirado, tendo quase a forma da seção de uma esfera, sendo a superfície convexa, bem como a plana, naturalmente polidas (se assim posso dizer). A exceção é o enxofre, que esfria sem manter seu polimento, exceto quando fundido em recipiente de vidro, como será mostrado posteriormente. Agora, prosseguirei para os experimentos e observações feitos sobre esses corpos elétricos.

Quando qualquer um [dos corpos] era retirado da concha, e sua superfície convexa endurecida, a princípio ele não atraía, até que o calor (*heat*) fosse reduzido, ou até chegar a um certo grau de aquecimento (*warmth*), e então havia uma pequena atração. Estimei este aquecimento como sendo próximo àquele de um ovo de galinha quando posto há pouco. A atração ia aumentando assim até que, quando frio, [o corpo era capaz de] atrair no mínimo dez vezes mais distante do que inicialmente.

A maneira de preservá-los no estado de atração, foi embrulhá-los em qualquer coisa que os manteria [isolados] do ar externo. Inicialmente para os corpos menores utilizei papel branco, mas para os maiores [utilizei] flanela branca. Mais tarde, encontrei que meias de lã preta funcionavam igualmente bem. Sendo assim revestidos, eles foram colocados dentro de uma grande caixa de abeto,<sup>8</sup> [e] ali permaneceram até que tive a oportunidade de utilizá-los.

O cilindro de enxofre, número 18 [da Tabela da página 232 desta tese], foi feito pelo derretimento de enxofre e, [então] derramando-o dentro de um recipiente cilíndrico de vidro, que havia sido previamente aquecido para evitar que se quebrasse. Quando o enxofre foi endurecido, ele [p. 287] estava um pouco menor do que o vidro, de forma que pela inversão do vidro, ele saiu facilmente, e tinha uma superfície polida quase tão lisa quanto o vidro no qual ele fora fundido. O cone grande de enxofre, número 19 [da Tabela], foi feito da mesma maneira; a saber, sendo fundido em um grande copo de vidro.

Agora, estou para dar uma descrição das observações feitas sobre os vários corpos mencionados na Tabela [da página 232 desta tese], mas devo primeiro dar uma descrição da Tabela. A primeira coluna contém o *número*, que em um pequeno pedaço de papel é

---

<sup>8</sup>Madeira de um tipo de pinheiro.

fixado em cada um dos vários corpos. O *nome* é dado na segunda coluna, [e indica] se eles são substâncias simples ou compostas. A terceira coluna mostra que *peso* eles tinham quando [eram] derretidos, em onças e dracmas<sup>9</sup> [no sistema] de peso *Averdupois*.<sup>10</sup> Na quarta coluna você tem os *dias do mês* em que o corpo foi derretido e recebeu a sua forma e, conseqüentemente, quando começou a atrair.

Por trinta dias continuei a observar cada um desses corpos, e descobri que no final desse período eles atraíam tão vigorosamente quanto no primeiro ou no segundo dia, como eles fazem agora na escrita deste [texto]. Pelos tempos mencionados na Tabela, sendo subtraído de qualquer tempo posterior, será encontrado por quanto tempo qualquer um dos corpos tem mantido sua virtude atrativa. Por este procedimento aparecerá que alguns deles não têm perdido sua atração por mais de quatro meses.<sup>11</sup> De modo que temos alguma razão para acreditar que agora descobrimos que existe *um poder perpétuo de atração* em todos os corpos elétricos, sem [a necessidade de ser] excitado por fricção, batidas, etc., ou qualquer outro [tipo de] atrito. Mas, isso aparecerá de forma mais evidente pelas descrições que vou dar agora dos dois [p. 288] últimos corpos mencionados na Tabela. O cone de enxofre, número 19, que foi fundido em um grande copo de vidro, atraiu aproximadamente duas horas depois de ter sido retirado do vidro, e o vidro atraiu também, mas à uma distância pequena. No dia seguinte o enxofre foi retirado do vidro, e então ele atraiu fortemente, mas agora não existia nenhuma atração perceptível do vidro. O cone de enxofre foi então colocado com sua base sobre a tampa da caixa de abeto, dentro da qual estavam os outros corpos elétricos, e o vidro sobreposto a ele.<sup>12</sup> Verifiquei-o todos os dias depois [disso], e ainda encontrei-o a atrair.<sup>13</sup> Mas, não achei o lugar tão conveniente, tendo de examinar dentro da caixa frequentemente.<sup>14</sup> Transferi-o para a mesa que fica

<sup>9</sup>Uma onça é equivalente a 28,35 g. Um dracma é equivalente a um oitavo de onça, ou 3,54 g.

<sup>10</sup>*Averdupois*, agora grafado *Avoirdupois*, é um sistema de medidas.

<sup>11</sup>Esta carta é datada de 7 de junho de 1732 (ver início da carta à página 226 desta tese). Com base neste parágrafo, temos a impressão que a Tabela da página 232 desta tese refere-se a 1732, já que Gray afirma que as substâncias mantiveram seu poder atrativo por mais de 4 meses (*i.e.*, 31 janeiro de 1732, dia em que as primeiras substâncias foram derretidas de acordo com a Tabela, a 7 de junho de 1732, dia em que a carta foi escrita). Por outro lado, Du Fay ao discutir estes experimentos (DU FAY, 1734, p. 342), diz que os corpos nos experimentos que Gray aborda nesta carta, mantiveram seu poder atrativo por um ano e meio após os primeiros experimentos. Du Fay diz: “*O Sr. Gray embrulhava estes diferentes corpos em papel, em flanela ou qualquer outro material similar, e assim, eles mantiveram sua eletricidade por vários meses, e até mesmo até a época em que ele escreveu [a carta], que foi cerca de um ano e meio após as suas primeiras experiências.*” (DU FAY, 1734, p. 342, tradução nossa). Logo, ele interpretou que a Tabela refere-se a 1731. Provavelmente esta interpretação de Du Fay foi devida à data em que o artigo saiu publicado, a saber, no volume 37 da *Philosophical Transactions*, relativo aos anos de 1731-1732. Apesar disso, entendemos que o ano correto da Tabela é 1732, tendo em vista a declaração de Gray segundo a qual o poder atrativo durou mais de 4 meses.

<sup>12</sup>Isto é, Gray colocou novamente o copo de vidro sobre o cone de enxofre.

<sup>13</sup>Gray está se referindo ao enxofre.

<sup>14</sup>Provavelmente Gray continuava testando os corpos que havia deixado dentro da caixa, para ver se con-

entre as duas janelas do meu quarto, onde tem continuado até o momento. E sempre que o vidro é retirado, [o enxofre que estava coberto por ele] atrai quase a aproximadamente tão grande distância quanto o enxofre que está revestido e fechado dentro da caixa [de abeto] mencionada acima. E embora na primeira [tentativa] não tenha ocorrido atração [pelo vidro] quando o vidro foi retirado [do enxofre que envolvia], encontro agora que com tempo bom o vidro também atrai.<sup>15</sup> Mas, não a tão grande distância quanto o enxofre, que nunca falha em atrair, podendo o vento ou o clima ser bem variáveis, assim como atraem todos os outros corpos mencionados na Tabela. Apenas em tempo úmido as atrações não são produzidas a tão grande distância como em tempo bom.

O número 20 é um bolo de enxofre que foi derretido, e como os outros corpos tomou a forma de uma seção convexa de uma esfera.<sup>16</sup> Este, quando frio, foi colocado com o lado plano da sua superfície para baixo, sobre a mesma mesa com o cone de enxofre. Ambos foram colocados bem perto da parede, a fim de evitar a luz do Sol brilhando sobre eles. Isto ocorreu, como a Tabela mostra, no dia 18 [p. 289] de abril.<sup>17</sup> E embora não estivesse coberto ou revestido de qualquer maneira, tem atraído desde então. E neste, como em outros corpos, a atração será de acordo com o tempo.<sup>18</sup> Mas, quando ele atrai da forma mais intensa, isto não é mais do que a décima parte do que atrai o cone de enxofre que está coberto.

A melhor maneira de observar estas atrações é segurando o corpo que atrai em uma mão e, uma fina *linha branca*<sup>19</sup> amarrada à extremidade de uma vareta na outra [mão]. Desta forma, graus muito menores de atração serão percebidos, do que utilizando lâminas de latão. Quando a linha é segurada à máxima distância, ela pode ser atraída. O movimento dela é, a princípio, muito lento, mas ainda acelerando na medida em que se aproxima mais do corpo [que está] atraindo.

Estou, agora, [trabalhando] sobre o tema da atração permanente no vidro, e depois em outros corpos, mas ainda não completei estes experimentos, [pois acabei] encontrando com mais interrupções pelo tempo.<sup>20</sup>

---

tinuavam atraindo corpos leves. Logo, o cone de enxofre em cima da caixa atrapalhava um pouco esta atividade, motivo pelo qual resolveu retirar o cone dali.

<sup>15</sup>Isto é, ao retirar, depois de alguns dias, o vidro que estava ao redor do enxofre, Gray encontrou que o vidro conseguia atrair corpos leves ao se aproximar deles.

<sup>16</sup>Obteve esta forma por ter sido fundido em uma das três conchas de ferro.

<sup>17</sup>Na Tabela consta dia 29 de abril.

<sup>18</sup>Estado atmosférico (*weather*).

<sup>19</sup>“*White thread*” no original. Provavelmente trata-se de uma linha de algodão ou de linho. Estes materiais comportam-se como condutores nas experiências usuais de eletrostática.

<sup>20</sup>Estado atmosférico (*weather*).

Com uma pequena bomba de ar manual que me foi emprestada por um amigo, tenho feito experimentos com vários corpos, e encontro que eles atraem *no vácuo*. E isto quase que à mesma distância como no *ar ambiente (pleno)*, desde que o experimento seja feito no mesmo recipiente preenchido com ar, como aparecerá nos experimentos a seguir.

Peguei uma esfera de vidro oca, de um pouco mais de duas polegadas e meia [6,4 cm] de diâmetro, sendo inicialmente excitada [pelo atrito]. Ela foi suspensa por um laço de seda que passou por uma pequena rolha de cortiça, com a qual o buraco na bola de vidro, por onde ela era soprada,<sup>21</sup> foi interrompido, e pelo laço suspensa em um pequeno gancho que foi preso ao fio de latão,<sup>22</sup> que vinha através [p. 290] do colar de couro na placa de latão que cobria a parte superior do recipiente aberto, assim como no experimento de deixar cair o guinéu<sup>23</sup> e a pena *no vácuo*.<sup>24</sup> A bola foi então presa na parte superior [interna] do recipiente, e a parte superior do pequeno suporte, coberta com papel, foi colocada sobre o couro úmido sobre a placa da bomba [de ar], e lâminas de latão colocadas sobre o mesmo.<sup>25</sup> Então, o ar foi sugado [para fora do recipiente]. Quando a bola de vidro foi abaixada até cerca de uma polegada [2,5 cm], ou um pouco mais, em direção aos pedaços de lâmina de latão, muitos deles foram atraídos por ela.<sup>26</sup> Então, deixou-se o ar entrar no recipiente, e lâminas de latão foram colocadas sobre o suporte, a bola estando suspensa como antes. Quando ela foi abaixada, como antes, à aproximadamente a mesma distância das lâminas de latão, pareceu haver pouquíssima diferença na atração.

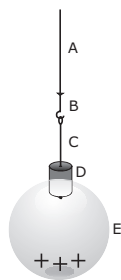


Figura 121: Representação esquemática da descrição apresentada por Gray. Letra A = fio de latão, B = gancho, C = fio de seda com laço na parte superior, D = rolha, E = esfera oca de vidro. Esta esfera foi eletrizada positivamente na parte inferior devido ao atrito.

Tenho feito os mesmos experimentos com enxofre, goma-laca em folhas, resina, e cera

<sup>21</sup>Processo de fabricação de uma esfera oca de vidro por um vidreiro.

<sup>22</sup>Uma ilustração da conformação deste experimento pode ser vista na Figura 121.

<sup>23</sup>Moeda inglesa, de ouro, que valia 21 xelins.

<sup>24</sup>Gray está se referindo aqui às famosas experiências nas quais uma moeda e uma pena caem com a mesma aceleração no vácuo. Elas foram feitas logo em seguida às construções das bombas de ar para mostrar que dois corpos em queda livre caem ao mesmo tempo embora tenham pesos, formatos e composições químicas diferentes.

<sup>25</sup>Uma ilustração da conformação deste experimento pode ser vista na Figura 122.

<sup>26</sup>A distância de aproximadamente uma polegada mencionada aqui é entre a parte inferior da esfera de vidro eletrizada e as lâminas de latão.

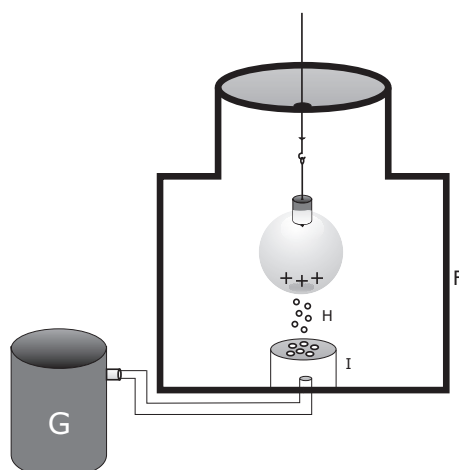


Figura 122: Representação esquemática da descrição apresentada por Gray. Letra F = recipiente que pode ser evacuado, G = Bomba de ar (ou bomba de vácuo), H = pequenas lâminas de latão sendo atraídas pela esfera de vidro eletrizada quando há uma pequena distância entre a esfera e as lâminas, I = suporte coberto com papel sobre o qual são colocadas as lâminas de latão.

branca de abelhas. Estas [lâminas de latão] seriam atraídas para a altura de uma polegada e meia [3,8 cm] por estimativa. E quando o experimento foi realizado com o recipiente cheio de ar, houve pouquíssima, se [é que houve] alguma diferença na altura da atração, quando o tempo gasto antes da atração começar no *ar ambiente* foi igual [ao tempo] necessário para esvaziar o recipiente.



Tabela 12: Uma Tabela com os vários corpos elétricos mencionados no discurso anterior.

Nº	Nomes dos vários corpos	Peso		Mês	Dia
		onças	dracmas		
1	Resina preta fina	2	0	janeiro	31
2	Asfalto pétreo ( <i>stone pitch</i> ) e resina preta	2	2	janeiro	31
3	Resina fina e cera de abelhas	2	1	fevereiro	1
4	Asfalto pétreo	1	7	fevereiro	1
5	Enxofre endurecido	3	6	fevereiro	4
6	Goma-laca em folhas	10	0	fevereiro	10
7	Resina preta fina	10	4	fevereiro	11
8	Cera de abelhas e resina	9	0	fevereiro	12
9	Resina 4 [ <i>partes</i> ], e goma-laca 1 <i>parte</i>	10	0	fevereiro	12
10	Enxofre	18	0	fevereiro	15
11	Asfalto pétreo	10	12	fevereiro	16
12	Resina preta	23	0	fevereiro	23
13	Resina branca	7	12	fevereiro	25
14	Goma-laca	11	14	fevereiro	26
15	Goma-laca e resina preta <i>em partes iguais</i>	9	12	fevereiro	26
16	Goma-laca 4 <i>partes</i> , resina 1 <i>parte</i>	17	8	fevereiro	28
17	Goma-laca em folhas e resina preta fina <i>em partes iguais</i>	28	4	março	2
18	Um cilindro de enxofre endurecido	19	4	março	20
19	Um grande cone de enxofre endurecido	30	0	março	29
20	Um bolo de enxofre	11	4	abril	29

Senhor,

Sinta-se à vontade para comunicar estes [experimentos] à *Royal Society*, a quem espero que eles não serão menos aceitáveis do que algumas das minhas descobertas anteriores, que sou,

Senhor,

o mais obediente servidor do Senhor e da Sociedade,

Stephen Gray.

## 8.2 Experimentos

### 8.2.1 Introdução - Os Eletretos

O texto de Gray traduzido neste Capítulo apresenta uma importante descoberta intencional. Ele encontrou que ao derreter várias substâncias dielétricas em recipientes de diferentes tipos de materiais, deixá-las solidificar, reaquecer de forma breve os recipientes e extrair as peças do seu interior tornava as substâncias eletrizadas. Então, embrulhou as peças em materiais como flanelas ou papel e conseguiu manter a eletrização por meses. Segundo Jefimenko e Walker (1980, p. 651-2), há um elemento de mistério nos experimentos de Gray. Atualmente, sabe-se que ao colocar dois corpos em contato íntimo, tal como a substância derretida e o recipiente, e em seguida separá-los, gera-se o aparecimento de cargas superficiais nos dois corpos. No entanto, Gray reporta que aqueceu novamente a superfície dos materiais antes de retirá-los dos recipientes, o que deveria inibir o aparecimento de qualquer carga superficial nos dielétricos. Desta forma, a eletrização duradoura encontrada por Gray seria causada por efeitos não facilmente explicáveis. “Pode ser que a eletrização era devido ao surgimento de cargas elétricas na interface entre a fase líquida e sólida de um dielétrico; tal efeito foi descrito em 1950 por Joaquim da Costa Ribeiro, que o nomeou como ‘efeito termodielétrico’.” (JEFIMENKO; WALKER, 1980, p. 652). A observação do brasileiro Costa Ribeiro ocorreu durante pesquisas que realizava sobre a formação de sólidos eletrizados quando sob ação de campos elétricos, estando os sólidos próximos ao ponto de fusão. Observou então que ocorria a formação de materiais carregados eletricamente mesmo quando não era aplicado campo elétrico, ou seja, o material apresentava eletrização após ser fundido e deixado solidificar-se naturalmente. Isso evidencia que a mudança no estado físico de um dielétrico seria, por si só, capaz de eletrizá-lo, “desde que uma das fases envolvidas na transição fosse a sólida” (SILVA JUNIOR, 2010b, p. 37).

Segundo Gutmann (1948, p. 457), “o termo *eletreto* foi cunhado por Oliver Heaviside para denotar uma substância permanentemente eletrificada exibindo cargas elétricas de sinal oposto em suas extremidades” (GUTMANN, 1948, p. 457). Outros autores definem eletretos como materiais dielétricos que apresentam eletrização “quase permanente”, sendo que os termos “permanente” ou “quase permanente” significam que o tempo de decaimento da carga é muito maior que o período em que o material é estudado (SILVA JUNIOR, 2010b, p. 1). O primeiro pesquisador a investigar sistematicamente os eletretos depois de Gray foi Mototaro Eguchi, que reportou vários resultados experimentais importantes. Ele derreteu uma mistura de cera de carnaúba, resina e cera de abelha, fazendo com que

a substância se solidificasse na presença de um forte campo elétrico. Percebeu que discos preparados desta forma apresentavam uma carga elétrica negativa de grande intensidade sobre a face em contato com o ânodo e uma carga elétrica positiva de grande intensidade sobre a face em contato com o cátodo. Ou seja, apresentavam carga elétrica oposta àquela dos eletrodos adjacentes. No entanto, ele notou que estas cargas eram temporárias e decaíam em um curto intervalo de tempo, *i.e.*, em poucos dias. Após o decaimento dessas cargas, verificou que ocorria a formação de cargas de sinais opostos, sendo cargas positivas voltadas para o ânodo e cargas negativas voltadas para o cátodo, de tal forma que as superfícies do material passavam a apresentar cargas de mesmo sinal que os eletrodos formadores adjacentes. Nenhum decaimento foi notado por um período de três anos. Concluiu-se que a eletrização não poderia ser um fenômeno de superfície, deveria ser um efeito de volume. (GUTMANN, 1948, p. 457). Explicações sobre o comportamento dos eletretos vieram alguns anos depois como, por exemplo, as contribuições do brasileiro Bernhard Gross.<sup>27</sup> Não apresentaremos aqui discussões sobre as teorias que versam sobre o assunto porque fogem ao escopo deste trabalho.

O nosso objetivo é apresentar uma forma de produzir eletretos com base nos experimentos descritos por Gray, ou seja, a partir do derretimento e solidificação de algumas substâncias em determinados recipientes. Os experimentos que serão descritos aqui foram realizados duas vezes, em momentos distintos. Para diferenciar os experimentos realizados em um e em outro momento vamos chamar de *primeira rodada* a primeira vez que os experimentos foram realizados e, de *segunda rodada* a segunda vez. Os experimentos da primeira rodada foram feitos em casa, mas por questões de conveniência os da segunda rodada foram feitos no Laboratório Didático de Química do Centro de Formação de Professores da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB/CFP). Desde já, ressaltamos que todos os experimentos e procedimentos que realizamos podem ser feitos em casa, desde que tomados os devidos cuidados. Por questões de organização do texto, descreveremos os procedimentos realizados na segunda rodada, mas faremos, também, as observações referentes à rodada anterior. Da primeira para a segunda vez que os experimentos foram feitos utilizamos alguns materiais diferentes, já que a primeira rodada nos ensinou bastante e nos permitiu aprimorar alguns procedimentos. Ao longo do texto faremos as observações referentes a essas alterações.

---

<sup>27</sup>Ver (LEAL FERREIRA, 2000; SESSLER, 1999).

## 8.2.2 Os Materiais Utilizados

Utilizamos seis substâncias diferentes: *cera de carnaúba clara*, *cera de carnaúba escura*, *cera virgem de abelha*, *parafina*, *enxofre em pó* e *goma-laca*,<sup>28</sup> ver a Figura 123. As três ceras utilizadas (de carnaúba clara e escura e de abelha) e a goma-laca foram compradas em uma casa de materiais para construção, a parafina foi obtida a partir de velas, e o enxofre foi comprado em uma casa de materiais agropecuários. Utilizamos três tipos de recipientes, de materiais diferentes, para derreter as substâncias: *recipiente de flandre*, *recipiente de vidro* e *recipiente de ferro*, ver a Figura 124. Como recipiente de vidro utilizamos uma *placa de Petri* de cerca de 9,5 cm de diâmetro interno. Na primeira rodada, havíamos utilizado copos de vidro de 80 ml. As placas de Petri suportam um aquecimento maior do que os copinhos, que podem se quebrar quando levados ao fogo. Por isso, na primeira rodada as substâncias foram derretidas em conchas metálicas e depois colocadas dentro dos copos. No caso das placas de Petri as substâncias foram derretidas dentro do próprio recipiente. Os recipientes de flandre são formas de empadinha com 8 cm de diâmetro interno, que podem ser adquiridas em lojas de variedades. Na primeira rodada, havíamos utilizado conchas de cozinha. Mas, concluímos que as forminhas de flandre são mais fáceis de serem manipuladas e de serem levadas ao aquecimento. O recipiente de ferro nós mandamos fazer em uma serralheria, pois não encontramos para comprar no comércio. Para confeccioná-lo, primeiramente, o serralheiro cortou um pedaço de cano de ferro de 7 cm de diâmetro interno com 7 cm de altura, depois utilizou uma placa de ferro para fazer um círculo do tamanho do diâmetro do cano e o soldou em uma das extremidades, fazendo o fundo. Também soldou uma barra fina de ferro de cerca de 13 cm de comprimento para servir de cabo, ver a Figura 124(c).

### Experimento 8.1 - Verificando a condutividade dos materiais antes de derreter

O primeiro passo foi realizar um teste para verificar se os materiais são isolantes elétricos, pois esta é uma importante característica dos materiais que apresentam a eletrização permanente. Para isso, realizamos o experimento em que o material a ser testado é encostado em um eletroscópio carregado.<sup>29</sup> Todos os materiais comportaram-se como isolantes, *i.e.*, nenhum deles descarregou o eletroscópio carregado eletricamente (ver a Tabela 13). Tanto o enxofre quanto a goma-laca foram comprados em forma de pó, sendo assim, para

<sup>28</sup>Outros nomes: goma-laca indiana, verniz asa de barata, resina laca.

<sup>29</sup>O eletroscópio carregado tem sua tirinha de papel de seda levantada. Ao encostar um material isolante na cartolina do instrumento, a tirinha permanece em pé. Caso ela se abaixe ao encostar um outro material na cartolina, o objeto testado é um condutor elétrico. Uma discussão pormenorizada sobre este teste foi apresentada no Experimento 2.2 à página 57 desta tese.



Figura 123: As seis substâncias utilizadas. Na fileira superior da esquerda para a direita: cera de carnaúba escura, cera de carnaúba clara e goma-laca. Na fileira inferior da esquerda para a direita: parafina, cera de abelha e enxofre. Estão dentro dos recipientes de flandre antes de serem derretidas.



(a) Placa de Petri (vidro).



(b) Recipiente de flandre.



(c) Recipiente de ferro.

Figura 124: Recipientes.

realizar os testes colocamos uma quantidade das substâncias, separadamente, em um recipiente metálico, *e.g.*, a forminha de flandre. Então, segurando o recipiente com a mão encostamos o material em pó em um canto da cartolina do eletroscópio. As três ceras e a parafina estavam em pedaços, então utilizamos um dos pedaços para fazer o teste.

Tabela 13: Comportamento ou característica das substâncias antes de serem derretidas.

Nº	Substância	Comportamento
1	Cera de carnaúba clara	isolante
2	Cera de carnaúba escura	isolante
3	Cera de abelha	isolante
4	Parafina	isolante
5	Goma-laca	isolante
6	Enxofre	isolante

### Experimento 8.2 - Verificando a eletrização dos materiais antes de derreter

Realizamos testes para verificar se os materiais apresentavam eletrização antes de serem derretidos. Utilizamos um instrumento que tem o mesmo princípio de funcionamento daquele que Gray chamou de *linha pendular*.<sup>30</sup>

O aparato que utilizamos para fazer os experimentos consiste em um poste de sustentação, com um segundo palito de madeira colocado em forma de “Γ”, e uma linha de material condutor (*e.g.*, de algodão) presa na ponta do segundo palito, ver a Figura 126.<sup>31</sup> Para fazer as medidas, o objeto eletrizado deve ser aproximado da linha. Se ela se movimentar, *i.e.*, for atraída, o objeto está carregado eletricamente. As pedras de ambas as ceras de carnaúba apresentaram uma pequena eletrização em algumas regiões, mas não apresentaram em outras partes. Como eram pedaços grandes, testamos várias partes da peça. Os outros materiais não apresentaram qualquer eletrização. A eletrização apresentada pelas pedras das ceras de carnaúba pode ser devido à manipulação do material, que são vendidos em sacos plásticos, pois pode ocorrer atrito entre os pedaços do material dentro da embalagem (ver a Tabela 14).

<sup>30</sup>Dispositivo feito com uma linha vertical presa a uma vareta de madeira. Em algumas situações o instrumento era utilizado para testar se os corpos estavam eletrizados, ver a Figura 125. Quando feito com esta finalidade, a linha do dispositivo deve ser de material *condutor elétrico*, por exemplo, de linho ou algodão. O teste era feito aproximando-se um corpo da linha na vertical. Se ela fosse atraída pelo corpo, este estava eletrizado.\* (ASSIS, 2010, p. 90). Gray mencionou explicitamente que este instrumento é mais sensível para se verificar se um corpo está eletrizado do que o teste em que o corpo atrai pequenos objetos colocados sobre uma superfície: “A melhor maneira de observar estas atrações é segurando o corpo que atrai em uma mão e, uma fina linha branca amarrada à extremidade de uma vareta na outra [mão]. Desta forma, graus muito menores de atração serão percebidos, do que utilizando de lâminas de latão” (GRAY, 1731-2b, p. 289).

\* A “*linha pendular*” parece ter sido mencionada por Gray pela primeira vez no artigo (GRAY, 1731-2a, p. 227-230) à página 228 como uma “*pendulous Thread*”. A tradução deste artigo pode ser encontrada na seção 7.1 à página 211 desta tese. Uma discussão sobre a utilização da expressão “*linha pendular*” nesta tese foi apresentada na seção 2.4 à página 60.

<sup>31</sup>É fundamental que os dois palitos de madeira estejam em contato, para que o sistema fique aterrado. Para prender os dois palitos pode-se utilizar fita adesiva.

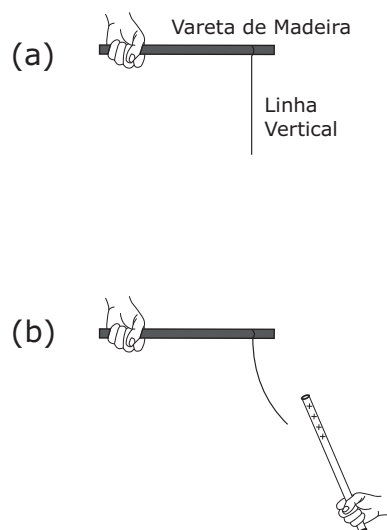


Figura 125: (a) Linha pendular de Gray, feita com uma linha condutora de algodão. (b) Linha pendular sendo atraída por um tubo eletrizado. Figura adaptada de (ASSIS, 2010, p. 91).

Tabela 14: Eletrização das substâncias antes de derreter.

Nº	Substância	Atração
1	Cera de carnaúba clara	pouca atração
2	Cera de carnaúba escura	pouca atração
3	Cera de abelha	sem atração
4	Parafina	sem atração
5	Goma-laca em pó	sem atração
6	Enxofre em pó	sem atração

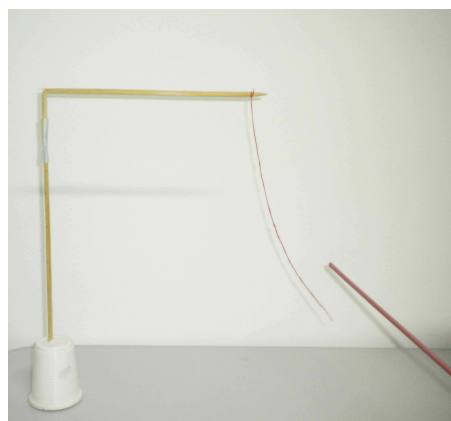
### 8.2.3 Confecção das Peças de Cada Substância

As peças da segunda rodada foram feitas no dia 17/12/2010. Todas as substâncias foram derretidas separadamente nos três tipos de recipientes, com o objetivo de analisar se haveria alguma diferença na eletrização das peças. Tínhamos uma forma de flandre e um recipiente de vidro para cada tipo de substância, ou seja, seis recipientes de cada tipo. Isto nos permitiu fazer todas as peças de uma só vez. Mas tínhamos apenas um recipiente de ferro. Sendo assim, fizemos uma peça de cada vez. Após fazer cada peça, nós limpávamos o recipiente para que a outra peça pudesse ser feita com o mínimo de contaminação de outras substâncias. Para a limpeza, utilizamos papel toalha para retirar o excesso de resíduo e, em seguida, limpávamos com palha de aço, água e sabão. Todas as ceras e a parafina foram cortadas em pedaços pequenos para que pudessem ser colocados nos recipientes, facilitando o derretimento. Os recipientes foram aquecidos em uma *placa de aquecimento* que foi colocada dentro da *capela* do laboratório. Após o derretimento, os recipientes ficavam sobre uma pia para que o material líquido pudesse solidificar, processo





(a) Poste de sustentação com um palito de madeira colocado na sua ponta em forma de “Γ”. Na extremidade do segundo palito tem uma linha de algodão.



(b) Linha de algodão sendo atraída por um canudo eletrizado.

Figura 126: Aparato para verificar a eletrização dos objetos.

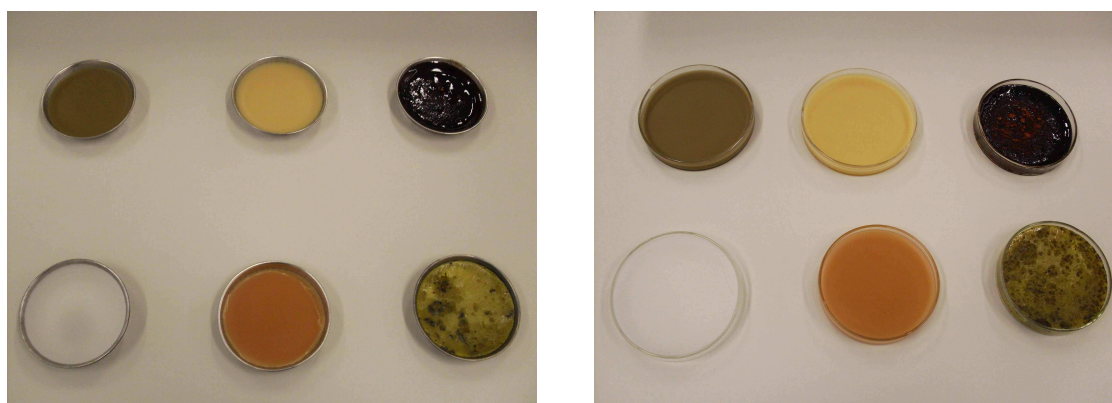
que demorava entre uma e três horas. Utilizamos a placa de aquecimento por conveniência, pois poderíamos utilizar um *bico de Bunsen* ou outra fonte de calor. Na primeira rodada dos experimentos, utilizamos uma lamparina a álcool e um fogão comum para derreter as substâncias. Isso é possível porque o ponto de fusão dos materiais não é alto, ver a Tabela 15.

Tabela 15: Ponto de fusão das substâncias.

Nº	Substância	Ponto de fusão (°C)
1	Cera de carnaúba clara	≈ 85
2	Cera de carnaúba escura	≈ 85
3	Cera de abelha	≈ 60
4	Parafina	≈ 65
5	Goma-laca em pó	≈ 80
6	Enxofre em pó	≈ 113

A Figura 127 mostra as substâncias solidificadas dentro dos recipientes de flandre e de vidro após o aquecimento.

Como dissemos inicialmente, todos os experimentos e procedimentos que realizamos podem ser feitos em casa, mas é preciso tomar os devidos cuidados. O manuseio e aquecimento das substâncias deve ser feito com cuidado e utilizando equipamentos apropriados. Muitas empresas que trabalham com produtos químicos disponibilizam em seus sites *fichas técnicas* sobre os materiais com que trabalham. Antes de iniciar a realização dos experimentos descritos aqui nós lemos algumas dessas fichas para tomar conhecimento



(a) Substâncias solidificadas no recipiente de flandre.

(b) Substâncias solidificadas no recipiente de vidro.

Figura 127: Substâncias solidificadas dentro dos recipientes de flandre e de vidro após o aquecimento.

dos riscos e das precauções a serem tomadas. Sugerimos que o leitor faça o mesmo, pois o manuseio errado pode causar problemas de saúde. A título de ilustrar a importância desse cuidado inicial, vamos dispor aqui algumas informações que encontramos em várias fichas técnicas. No caso do enxofre, a inalação pode causar irritação nas vias aéreas superiores, dor de cabeça, náuseas e tonteiras, em altas concentrações pode chegar a causar confusão mental e perda de consciência, em contato com a pele e com os olhos pode causar irritação. É um sólido inflamável, cuja poeira ou vapor podem formar misturas explosivas com o ar. O aquecimento do enxofre produz gás dióxido de enxofre ( $\text{SO}_2$ ), o qual é altamente tóxico e irritante. É sugerido que o indivíduo que manipula a substância deve utilizar equipamentos de proteção individual (EPI's) para evitar o contato direto com o material, tais como: luvas impermeáveis, óculos de segurança e proteção respiratória adequada. Para proteção respiratória algumas fichas indicam o uso de respiradores com filtro mecânico. Nunca se deve comer, beber ou fumar nas áreas em que o produto é manipulado.<sup>32</sup> Poderíamos pensar que a parafina, presente nas velas que usamos em nossas casas, é inofensiva, mas não é verdade. A queima pode produzir fumos irritantes, que em altas concentrações podem causar dor de cabeça, náuseas e tonteiras. A cera de abelha quando derretida também produz fumos nocivos, podendo irritar o sistema respiratório e os olhos. A goma-laca em contato com a pele pode causar irritações. Seu local de armazenamento deve ser mantido com boa ventilação para não permitir que a formação de poeira exceda os limites toleráveis. O manuseio deve ser feito com a utilização de EPI's adequados, como

<sup>32</sup>Uma “Ficha de Informação de Segurança de Produto Químico - FISPQ” da Petrobras sobre o enxofre sólido pode ser encontrada em <http://www.br.com.br/wps/wcm/connect/2d14f2804c4aa93390f5d20869efed74/fispq-quim-enxofre-solido.pdf?MOD=AJPERES&CACHEID=2d14f2804c4aa93390f5d20869efed74>.

óculos, respirador de proteção a pó, luvas, etc. Colocamos apenas algumas informações para advertir o leitor dos riscos e da necessidade de se utilizar equipamentos adequados. Além disso, o derretimento das substâncias, quando feito fora de um laboratório e da capela, por exemplo em casa, deve ser feito em local bem ventilado.

Após a solidificação das substâncias é preciso retirar as peças de dentro dos recipientes. Para isso eles foram rapidamente aquecidos para que a camada da substância em contato com a sua parede fosse derretida. Isso faz com que as peças se desgrudem e fiquem soltas permitindo sua remoção, tal como descrito por Gray. Após este rápido aquecimento as peças eram removidas e colocadas sobre uma bancada para secar a camada derretida. Houve certa dificuldade na retirada das peças de dentro das placas de Petri, mesmo após o aquecimento da camada superficial da peça e de ela estar solta dentro da placa, pois as peças demoraram para sair quando o recipiente era colocado de “boca para baixo”. Evitamos ficar manuseando as peças para retirá-las, pois o contato poderia eletrizar por atrito e trazer resultados falsos aos nossos testes. Para retirar a peça de goma-laca de dentro da placa de Petri, precisamos quebrar o recipiente, pois essa substância se apresentou bastante quebradiça após solidificada e o breve aquecimento para derreter sua camada superficial não se mostrou eficaz. Quando utilizamos copinhos de vidro como recipiente, na primeira rodada, também encontramos certa dificuldade para retirar as peças do seu interior, após solidificadas. Mesmo após o aquecimento do copo e derretimento da camada externa da peça ela não saía quando o recipiente era colocado de “boca para baixo”. Foi preciso recorrer a um instrumento pontiagudo para espetar a peça e retirá-la. Por isso, sugerimos que ao utilizar este tipo de recipiente seja colocado algum objeto que sirva de cabo para a retirada da peça, e que depois pode ser utilizado para o manuseio da mesma, como ilustra a Figura 128.



(a) Copo em pé.



(b) Copo deitado.

Figura 128: Copo de vidro com cera de carnaúba escura e um cabo com material de plástico (isolante elétrico).

No entanto, é importante que o material utilizado como cabo seja isolante. Neste

caso utilizamos prendedores de roupa de plástico. Para saber se o material é condutor ou isolante, carregue um eletroscópio com um objeto eletrizado. Em seguida encoste o material na cartolina do instrumento elétrico. Se a tirinha abaixar, o material é condutor, caso contrário é isolante. Este procedimento foi descrito com detalhes no Experimento 2.2 à página 57 desta tese. Colocamos o cabo na peça logo após derramar a substância derretida dentro do recipiente, com ela ainda líquida, pois como já dissemos o material não foi derretido dentro dos copinhos.

Devido à profundidade do recipiente de ferro e a dificuldade de retirar as peças de seu interior, adversidade que já havíamos enfrentado ao retirar as peças dos copinhos de vidro na primeira vez que fizemos os experimentos, optamos por colocar um cabo isolante nestas peças. O cabo era inserido tão logo a substância derretia, ou seja, com o material em estado líquido.<sup>33</sup> A confecção das peças por meio do recipiente de ferro levou quase que o dia todo, pois como já expressamos, foi preciso fazer uma peça de cada vez. Não foi possível extrair a peça de goma-laca desse recipiente, em todas as tentativas a peça se quebrava em muitos pedaços pequenos. Os recipientes de flandre, devido ao formato oblíquo de suas paredes e por ser um material relativamente flexível, não apresentou dificuldades para a extração das peças. Vale destacar que algumas substâncias diminuem de volume, em relação à fase líquida, quando se solidificam. Por isso, é comum o aparecimento de buracos na superfície das peças durante o processo de solidificação.

### **Experimento 8.3** - *Verificando a eletrização das peças após o derretimento*

Depois que todas as peças já estavam prontas, fizemos testes para verificar quais delas apresentavam eletrização, portanto, quais comportariam-se como eletretos. A única substância que não apresentou qualquer eletrização foi o enxofre, em nenhuma das três peças. Fizemos os testes por vários dias, para termos certeza de que as peças não estavam eletrizadas.<sup>34</sup> Todas as outras peças estavam eletrizadas, para os três tipos de recipientes. O procedimento para o teste foi aquele descrito no Experimento 8.2. Portanto, em nossos testes o material do recipiente não interferiu na formação do eletreto. No entanto,

---

<sup>33</sup>Após testar alguns materiais isolantes, optamos por utilizar *prendedores de roupa de plástico*, os quais podem ser adquiridos em lojas de variedades. Cada prendedor gerava dois cabos, pois eram divididos ao meio. Podem ser utilizados quaisquer outros materiais isolantes, cabe ao leitor fazer os testes e encontrar a sua melhor opção.

<sup>34</sup>Em outro trabalho desenvolvido sobre a mesma temática, o enxofre também não apresentou eletrização após o tratamento descrito aqui (SILVA JUNIOR, 2010a, p. 15). A hipótese levantada por Silva Junior (2010a, p. 15) para este fenômeno é que as cargas que seriam responsáveis pela eletrização do material ficaram na camada derretida da substância que permaneceu no recipiente após o breve aquecimento para extração da peça. Sendo assim, estas cargas seriam superficiais ou de pequena penetração.

não podemos afirmar nada sobre a densidade superficial de carga em cada peça e se os recipientes interferem nesta questão.

**Experimento 8.4** - *Verificando o tipo de carga das peças um dia após a fabricação das mesmas*

Fizemos testes para verificar o tipo de carga das peças um dia após a sua fabricação. A nossa referência para o teste foi um canudo de plástico atritado com papel sulfite. Com base na série triboelétrica apresentada por Assis (2010, p. 127) o canudo de plástico atritado com papel adquire carga negativa. Para o teste utilizamos uma “linha pendular” presa à um suporte isolante, como apresenta a Figura 129.



Figura 129: Poste de sustentação com um canudo de plástico colocado na sua extremidade superior em forma de “Γ”. Na extremidade do canudo há uma linha condutora de algodão.

O procedimento consiste em carregar a linha de algodão por meio de contato com um canudo eletrizado por meio de atrito com papel sulfite. Após este contato a linha passa a ser repelida pelo canudo, indicando que ambos estão carregados com cargas de mesma natureza. Então, cada peça eletrizada foi aproximada da linha. Se houvesse atração a carga da peça era de natureza oposta à do canudo, se houvesse repulsão a carga da peça era de mesma natureza. É necessário carregar a linha a cada nova aproximação da peça, pois ela perde a carga com facilidade e pode indicar um resultado falso se estiver pouco eletrizada. Além disso, é preciso tomar cuidado ao aproximar a peça da linha carregada, pois se a distância entre elas for muito pequena pode ocorrer atração mesmo se ambas estiverem carregadas com carga de mesma natureza.<sup>35</sup> Este teste também pode ser feito com um pêndulo elétrico, como apresenta Assis (2010, p. 78-9, Experiência 4.7). Em seguida apresentamos as Tabelas 16, 17 e 18 com os resultados sobre o tipo de carga das peças.

<sup>35</sup>Para distâncias muito pequenas é possível que ocorra atração elétrica entre dois corpos carregados com cargas de mesma natureza (ASSIS, 2010, p. 131 e 205-10).

Tabela 16: Substâncias derretidas no *recipiente de vidro*.

Nº	Substância	Atração/Repulsão	Tipo de carga
1	Cera de carnaúba clara	repele	negativa
2	Cera de carnaúba escura	repele	negativa
3	Cera de abelha	repele	negativa
4	Parafina	repele	negativa
5	Goma-laca	repele	negativa
6	Enxofre	Não eletrizou	Não eletrizou

Tabela 17: Substâncias derretidas no *recipiente de ferro*.

Nº	Substância	Atração/Repulsão	Tipo de carga
1	Cera de carnaúba clara	repele	negativa
2	Cera de carnaúba escura	repele	negativa
3	Cera de abelha	repele	negativa
4	Parafina	repele	negativa
5	Goma-laca	Não tem peça	Não tem peça
6	Enxofre	Não eletrizou	Não eletrizou

**Experimento 8.5** - *Verificando o tempo pelo qual as peças apresentam eletrização*

O nosso objetivo agora é verificar por quanto tempo as peças permanecem em seu estado de eletrização. Após todos experimentos já realizados, todas as peças foram embaladas, separadamente, em flanelas brancas de algodão, ver a Figura 130. Todas as peças foram guardadas em uma caixa de madeira, ver a Figura 131.

Nos primeiros meses as medidas foram feitas a cada três dias, depois passamos a fazer os testes duas vezes por semana. No dia em que este texto foi feito (10/10/2011) a maioria das peças ainda apresentavam eletrização, ver Tabelas 19, 20 e 21. As peças foram feitas no dia 17/12/2010, ao longo dos meses a eletrização foi diminuindo. Cabe ressaltar que

Tabela 18: Substâncias derretidas na *concha de flandre*.

Nº	Substância	Atração/Repulsão	Tipo de carga
1	Cera de carnaúba clara	repele	negativa
2	Cera de carnaúba escura	repele	negativa
3	Cera de abelha	repele	negativa
4	Parafina	repele	negativa
5	Goma-laca	repele	negativa
6	Enxofre	Não eletrizou	Não eletrizou



(a) Peça sobre a flanela de algodão.



(b) Peça embalada na flanela de algodão.

Figura 130: Embalagem das peças.



Figura 131: Caixa de madeira utilizada para guardar as peças.

estamos utilizando uma *linha pendular* (*i.e.*, linha condutora de algodão presa a uma vareta de madeira) cuja linha de algodão é bem fina. Isso dá uma sensibilidade maior ao instrumento. Algumas peças já apresentam uma atração bem “sutil” da linha, ou seja, a atração ocorre apenas quando a peça é colocada bem próxima à linha, a poucos milímetros.

Tabela 19: Tempo de eletrização das substâncias derretidas no *recipiente de vidro*.

Nº	Substância	Ainda atrai?	Mês em que parou
1	Cera de carnaúba clara	sim	—
2	Cera de carnaúba escura	sim	—
3	Cera de abelha	não	maio/11
4	Parafina	sim	—
5	Goma-laca	sim	—
6	Enxofre	Não eletrizou	Não eletrizou

Tabela 20: Tempo de eletrização das substâncias derretidas no *recipiente de ferro*.

Nº	Substância	Ainda atrai?	Mês em que parou
1	Cera de carnaúba clara	sim	—
2	Cera de carnaúba escura	sim	—
3	Cera de abelha	não	maio/11
4	Parafina	não	julho/11
5	Goma-laca	Não tem peça	Não tem peça
6	Enxofre	Não eletrizou	Não eletrizou

Tabela 21: Tempo de eletrização das substâncias derretidas na *concha de flandre*.

Nº	Substância	Ainda atrai?	Mês em que parou
1	Cera de carnaúba clara	sim	—
2	Cera de carnaúba escura	sim	—
3	Cera de abelha	não	julho/11
4	Parafina	sim	—
5	Goma-laca	sim	—
6	Enxofre	Não eletrizou	Não eletrizou

**Experimento 8.6** - *Tempo que uma peça de cera carnaúba escura permanece eletrizada quando deixada ao ar livre*

Fizemos uma peça de cera de carnaúba escura em um recipiente de flandre e deixamos exposta ao ar livre, com o intuito de verificar por quanto tempo ela apresentaria a propriedade atrativa. Esta durou cerca de três meses – do dia 17/12/2010 a 14/03/2011. Quando deixadas expostas ao ar livre, as peças eletrizadas provavelmente atraem contaminantes como poeira, íons, partículas de umidade,<sup>36</sup> etc. o que contribui para que percam sua eletrização de forma mais rápida. Devido a isso, os eletretos comerciais, como os encontrados em aparelhos eletrônicos, são isolados do ar externo por uma camada protetora de alumínio, colocada sobre suas faces (SILVA JUNIOR, 2010a, p. 15-6).

**Experimento 8.7** - *Tempo que um canudo de plástico eletrizado por atrito com papel sulfite permanece eletrizado*

No dia em que as peças foram feitas (17/12/2010) atritamos um canudo de plástico com papel sulfite para verificar por quanto tempo ele apresentaria eletrização se guardado

<sup>36</sup>Segundo Gutmann (1948, p. 461), eletretos são extremamente sensíveis à umidade, exposições prolongadas ao ar úmido causa danos permanentes devido à penetração de água.



embalado em uma flanela de algodão. Ele apresentou eletrização por cerca de três meses – do dia 17/12/2010 a 25/03/2011.

## 9 Tradução 6

### 9.1 Tradução 6 - Duas Cartas do Sr. Stephen Gray F. R. S. para C. Mortimer, M. D. Secr. R. S. Contendo Descrições Adicionais de seus Experimentos a Respeito da Eletricidade

#### 9.1.1 Carta I

Senhor,<sup>1;2;3</sup>

Conforme a minha promessa, nesta [carta] faço um relato daquilo que descobri a mais com relação à atração elétrica. Eu deveria ter feito isso mais cedo, no entanto, estava disposto a ver que outros aprimoramentos poderia fazer àqueles experimentos [após o] meu retorno a Londres, os quais foram iniciados no interior do país.

Por volta do final de agosto, estava [na casa] do Sr. Wheler. Depois de ter repetido o experimento de fazer enxofre atrair lâminas de latão no vácuo,<sup>4</sup> [como o] Sr. Wheler tinha uma bomba de ar muito boa de formato maior, feita pelo Sr. Hauksbee,<sup>5</sup> suspendemos a partir da parte de cima de um recipiente (*receiver*),<sup>6</sup> o qual foi inicialmente esvaziado

<sup>1</sup>Tradução do texto: (GRAY, 1731-2d, p. 397-407).

<sup>2</sup>O *texto original* em inglês apresenta várias palavras iniciadas com letra maiúscula no meio das frases, as quais optamos por grafar com letra minúscula para facilitar a leitura. Além disso, a pontuação gramatical foi alterada para facilitar a sua compreensão.

<sup>3</sup>Os destaques em *italico* no texto são dos tradutores, assim como as palavras entre colchetes. Os colchetes [p. ] indicam a página original do texto em inglês.

<sup>4</sup>Provavelmente, Gray esteja se referindo ao experimento descrito no final do texto (GRAY, 1731-2b, p. 289-90) (ver a página 229 desta tese), em que alguns materiais eletrizados são colocados dentro de um recipiente, no qual se faz vácuo, para verificar a atração, nesta condição, exercida por estes materiais eletrizados sobre pequenas lâminas de latão.

<sup>5</sup>Note que a bomba utilizada foi feita por Hauksbee. A bomba de ar que Hauksbee desenvolveu é descrita no livro “*Physico-mechanical experiments on various subjects. Containing an account of several surprizing phenomena touching light and electricity, producible on the attrition of bodies*” (HAUKSBEE, 1709, p. 1-4). A Figura 132 apresenta a bomba de ar de Hauksbee.

<sup>6</sup>Boyle denominou de “*receiver*” ao recipiente de vidro que era parcialmente evacuado por sua bomba de ar e dentro do qual eram conduzidos os experimentos, (WEST, 2005, p. 33). Como Gray não especifica o formato deste recipiente, o fizemos no formato cilíndrico nas ilustrações a seguir. Mas, poderíamos ter

de ar, uma *linha branca*<sup>7</sup> que [foi] pendurada aproximadamente no meio dele. Então, o recipiente foi bem atritado, [e] a linha foi atraída vigorosamente por ele.<sup>8;9</sup> Quando ela estava parada e pendurada perpendicularmente, o tubo foi atritado e segurado próximo ao recipiente, [então] a linha foi atraída em direção àquele lado dele. Se o tubo [eletrizado] fosse removido lentamente, a linha retornava para o centro do recipiente, mas quando [era] movido rapidamente, a linha [p. 398] era atraída pelo lado oposto do recipiente.<sup>10;11</sup>

---

utilizado qualquer outro formato.

O texto também não informa qual o tipo de material do recipiente. Supomos que seja de vidro, do tipo daqueles utilizados normalmente por Gray, o que permitiria a visualização dos fenômenos ocorridos no seu interior. Este recipiente de vidro poderia se comportar como um isolante elétrico.

<sup>7</sup>“*White thread*” no original. O texto não especifica o tipo de material desta linha, e isto acaba gerando certa dificuldade para explicar os experimentos e fenômenos descritos aqui. Esta informação é importante porque nos revelaria se ela é isolante ou condutor elétrico. Sendo assim, há duas possibilidades. i) É possível que a linha seja de seda, portanto isolante. No artigo (GRAY, 1731-2b), último parágrafo da página 289, Gray utilizou uma linha de seda presa a uma cortiça para pendurar uma pequena esfera de vidro (ver a página 229 desta tese). Então, pode ser que a linha utilizada aqui seja do mesmo material. ii) Também é possível que se trate de uma linha de algodão ou de linho, que são materiais que comportam-se como condutores nos experimentos usuais de eletrostática.

<sup>8</sup>A ilustração de uma possível conformação deste experimento pode ser vista na Figura 133. Vamos supor que a linha seja de seda, portanto um isolante elétrico. Neste caso, também supomos que ela fique carregada negativamente pelo atrito com a mão de Gray, ao manuseá-la para fazer o dispositivo. Portanto, a linha está negativa antes de o vidro ser atritado, como ilustra a Figura 133(a). Na medida em que o recipiente de vidro é atritado, ficando carregado positivamente, a linha é atraída para a parte atritada, como mostra a Figura 133(b). Estamos supondo que o recipiente de vidro tenha sido atritado apenas em uma região, uma vez que é possível eletrizar, por meio de atrito, apenas uma parte de um material isolante, mantendo-a carregada eletricamente por algum tempo. O texto não informa se a linha toca o recipiente quando atraída por ele, entretanto, acreditamos que isso não ocorra.

<sup>9</sup>Uma segunda hipótese para explicar o comportamento da linha encontra-se na Figura 134. Vamos supor que a linha seja de algodão ou de linho, portanto um condutor elétrico para experimentos de eletrostática. Inicialmente a linha está descarregada, como ilustra a Figura 134(a). Na medida em que parte do recipiente de vidro é atritada, ficando carregada positivamente, a linha é atraída para aquela região eletrizada, como mostra a Figura 134(b). Estamos supondo que apenas uma parte do recipiente de vidro tenha sido atritada. Neste caso, a atração da linha ocorreria pela indução de cargas exercida sobre ela pela parte do vidro carregada positivamente, ocasionando a sua atração. Supomos, ainda, que não houve perda de cargas elétricas da linha para o tubo, a eletrização dela deve-se apenas à indução elétrica.

Na hipótese de haver perda de cargas elétricas para o tubo, com o tempo a linha descarregaria e voltaria para a posição vertical. Esta perda da eletrização poderia se dar, por exemplo, pelo ponto onde ela está presa no recipiente. Caso o recipiente vá se descarregando com o tempo, também a linha condutora iria perdendo as cargas induzidas nela.

<sup>10</sup>A ilustração de uma possível conformação deste experimento pode ser vista na Figura 135. Uma hipótese para explicar o comportamento da linha, caso seja de seda. Supomos que o recipiente ainda esteja positivo do lado direito, *i.e.*, na região atritada, porém com menos carga que anteriormente. A linha ainda estaria carregada negativamente, mas estaria na vertical devido à força elétrica ser pequena. Ao aproximar o tubo carregado positivamente do lado esquerdo, a linha negativa seria atraída por ele, que estaria mais eletrizado que o lado direito do recipiente. Ao retirar o tubo devagar, a linha volta para a vertical. Porém, ao retirá-la com pressa, ela passaria da vertical com um movimento pendular ao cair, se aproximando do lado direito positivo do recipiente, sendo então atraída por ele, já que agora haveria uma pequena distância entre eles.

<sup>11</sup>Vamos agora analisar a hipótese em que linha seja de algodão ou de linho, portanto condutora. A Figura 136 ilustra esta situação. Com a perda de carga da região atritada do recipiente, a força elétrica entre a linha e o vidro diminui e ela volta à posição vertical. O recipiente ainda estaria eletrizado na região atritada, porém com menos carga que anteriormente. A linha também poderia estar polarizada sob a ação do vidro, mas esta polarização seria menor e a força elétrica não seria suficiente para movê-la da vertical.

Se a mão fosse colocada próxima ao recipiente e movida apressadamente [para longe] dele, a linha era atraída pelo lado oposto, como antes.<sup>12;13</sup> Isto parecia, a princípio, difícil de explicar, mas em consideração adicional, concluímos que isto ocorria a partir do movimento do ar feito pelo tubo, e no outro caso por aquele da mão, que tirou a atração daquele lado, mas não do outro lado. De modo que, como o Sr. Wheler muito bem expressou, por este meio seria rompido o equilíbrio da atração.

Fizemos outro experimento, suspendendo uma linha na parte superior de um pequeno recipiente, e emborcamos um grande [recipiente] sobre ele. Então, atritando, primeiro, este e segurando o tubo atritado próximo a ele, a linha no meio do recipiente foi atraída para aquele lado dele onde o tubo foi colocado.<sup>14</sup>

*Um experimento mostrando que a atração é comunicada através de corpos opacos bem como de transparentes, não no vácuo.*

Peguei um grande sino de mão, o badalo foi inicialmente retirado e uma cortiça [foi]

---

Na medida em que o tubo eletrizado positivamente é aproximado do lado esquerdo do recipiente, ocorre a polarização nas cargas elétricas da linha, que passa a ser atraída pelo tubo, como ilustra a Figura 136. Ao retirar o tubo devagar, a linha volta para a vertical. Porém, ao retirá-la com pressa, ela passaria da vertical com um movimento pendular ao cair, se aproximando do lado direito positivo do recipiente, sendo então polarizada novamente (*i.e.*, como mostra a Figura 134(b)) e atraída por ele, já que agora haveria uma pequena distância entre eles. Estamos supondo a eletrização da linha apenas pela indução elétrica.

<sup>12</sup>Uma hipótese para este fenômeno, no caso em que a linha é de seda. Com o fio negativo inicialmente na vertical, vamos supor que a mão se aproxime do lado esquerdo do recipiente. Então, a linha será atraída pela mão, como ilustra a Figura 137. O texto não diz que a linha é atraída pela mão, diz apenas que ela é atraída pelo lado oposto do recipiente quando a mão é retirada apressadamente. Apesar disso, supomos que ela seja atraída pela mão antes de ser atraída pelo lado oposto. Na medida em que a mão é movida com pressa para longe do recipiente, a linha se movimentaria e passaria da vertical com um movimento pendular ao cair, se aproximando do lado direito positivo do recipiente, sendo então atraída por ele, já que agora haveria uma pequena distância entre eles. Neste caso, a atração pela mão ocorreria pela indução de cargas exercida sobre ela pela linha isolante carregada negativamente, de tal forma que a parte da mão próxima à linha ficaria positiva, ocasionando uma atração da linha pela mão. O fato de um corpo carregado eletricamente ser atraído por outros corpos, como o dedo por exemplo, foi utilizado por Gray em 1720 (GRAY, 1720-1) para descobrir novos materiais que se comportavam como o âmbar. Uma discussão sobre este fenômeno pode ser encontrada em (ASSIS, 2010, p. 52-3).

<sup>13</sup>Uma hipótese para este fenômeno, no caso em que a linha é condutora. Supomos que a mão que se aproxima estivesse eletrizada, já que nosso corpo não é um condutor perfeito. A mão poderia estar eletrizada, por exemplo, por ter atritado o tubo ou o recipiente de vidro. Então, a mão eletrizada ocasionaria a polarização da linha e a conseqüente atração, como ilustra a Figura 138. No entanto, o efeito de eletrização da mão, em geral, é pequeno e difícil de ser observado, a não ser a distâncias muito pequenas. Em experimentos de eletrostática, a mão consegue atrair visivelmente um outro corpo apenas quando este corpo está eletrizado. É o caso dos experimentos descritos em 1720 por Gray (GRAY, 1720-1) e discutidos no livro “*Os Fundamentos Experimentais e Históricos da Eletricidade*” (ASSIS, 2010, p. 52-3). Neste caso, teríamos, então, isolantes eletrizados por atrito (ou condutores eletrizados, estando estes isolados eletricamente e não-aterrados). Estes isolantes eletrizados seriam atraídos por algum condutor aterrado que se aproxime deles (como, por exemplo, uma mão, um pedaço de madeira ou metal segurados pela mão). Esta atração ocorreria devida às cargas opostas que são induzidas no condutor pelas cargas do isolante eletrizado. Desta forma, a hipótese de que a mão estivesse eletrizada não é tão plausível, mas é uma possibilidade.

<sup>14</sup>Uma ilustração da conformação deste experimento pode ser vista na Figura 139.

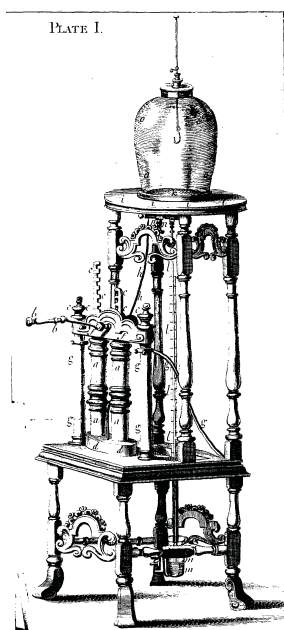


Figura 132: Gravura da bomba de ar desenvolvida por Francis Hauksbee. Extraída de (HAUKSBEE, 1709).

suspensa por uma linha<sup>15</sup> a partir da parte superior do sino. A cortiça foi coberta com mel. Então, o sino foi colocado sobre um pedaço de vidro,<sup>16</sup> o qual tinha sido bem atritado e sobre o qual as lâminas de latão foram colocadas. Em seguida, o tubo [de vidro] foi atritado e colocado próximo ao cabo do sino, depois, perto da parte superior e da lateral do mesmo. O sino sendo retirado, havia vários pedaços de lâminas de latão aderidas ao mel da cortiça, os quais tinham sido atraídos por ela.<sup>17</sup> Parece também que algumas

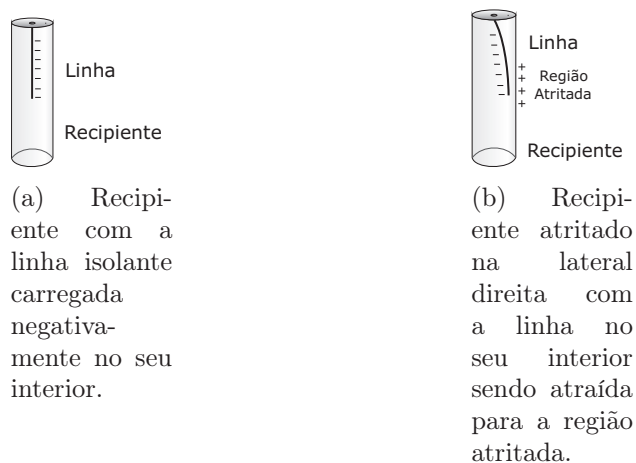


Figura 133: Recipiente com a linha no seu interior.

<sup>15</sup>“Thread” no original.

<sup>16</sup>“Coach-glass” no original.

<sup>17</sup>Uma ilustração da conformação deste experimento pode ser vista na Figura 140.

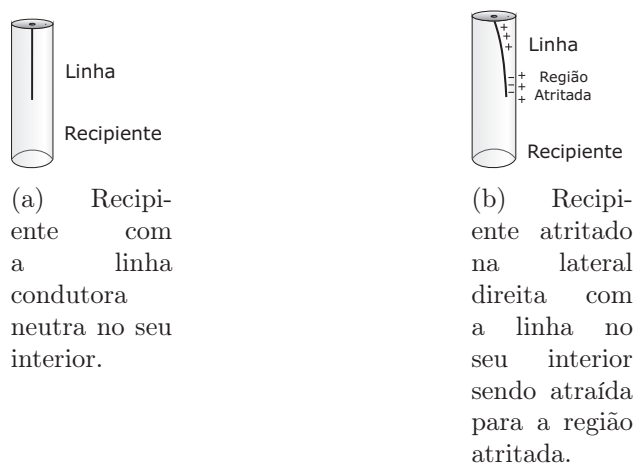


Figura 134: Recipiente com a linha no seu interior.

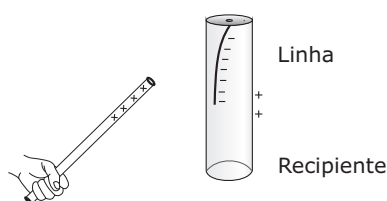


Figura 135: Recipiente com a linha isolante negativamente carregada no seu interior. Com a aproximação do tubo de vidro eletrizado, a linha é atraída em direção a ele.

lâminas [p. 399] tinham sido atraídas pelo sino, sendo removidas dos lugares que foram deixadas [antes de serem] cobertas por ele.

Algum tempo depois o Sr. Wheler me contou sobre um experimento que ele tinha feito no vácuo, quando eu havia partido. Ele pegou um pequeno recipiente e suspendeu dentro dele uma linha. Sobre este [colocou] quatro outros recipientes, todos esvaziados [de ar]. A linha foi atraída através de todos os cinco recipientes e ele achou que a atração foi muito mais forte do que anteriormente, quando apenas um recipiente foi utilizado.<sup>18</sup> Mas, em vez de couro úmido, ele utilizou um preenchimento (*cement*) que eu tinha recomendado

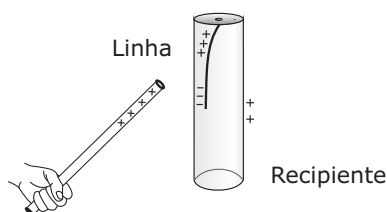


Figura 136: Recipiente com a linha condutora neutra no seu interior. Com a aproximação do tubo de vidro eletrizado, a linha é atraída em direção a ele.

<sup>18</sup>O texto não nos informa o que fez com que a linha fosse atraída. No entanto, de acordo com os experimentos anteriores, podemos supor que pode ter sido por meio da aplicação do tubo eletrizado, ou pelo atrito do recipiente mais externo. Uma ilustração da conformação deste experimento pode ser vista na Figura 141.

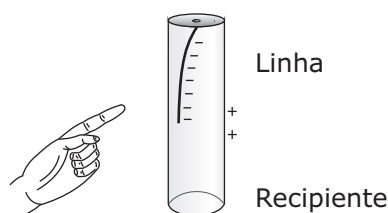


Figura 137: Recipiente com a linha isolante negativamente carregada no seu interior. Com a aproximação da mão, a linha é atraída em direção a ela.

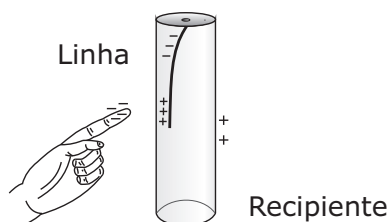


Figura 138: Recipiente com a linha condutora neutra no seu interior. Com a aproximação da mão eletrizada, a linha é atraída em direção a ela. Supomos que a mão tenha se eletrizado ao atritar o vidro, portanto sua carga é negativa.

para ele, a saber, cera de abelha e terebentina, os quais o Sr. Boyle utilizou em seus experimentos com bomba de ar.<sup>19</sup> E como eu tinha contado a ele, na minha opinião a

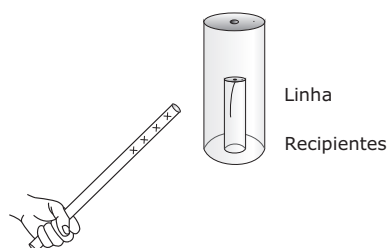


Figura 139: Recipiente menor com a linha branca no seu interior e recipiente maior sobre ele. Após o atrito do recipiente maior e a aproximação do tubo eletrizado, a linha movimenta-se em direção ao tubo.

<sup>19</sup>A bomba de ar desenvolvida por Robert Boyle (ver a Figura 142) era diferente daquela construída por Hauksbee. Boyle dividiu a sua descrição em duas partes (BOYLE, 1725, p. 408). Primeiro, descreve o recipiente de vidro superior no qual o vácuo parcial era feito. Depois, descreve o cilindro oco junto ao pistão que compõe a parte de baixo do aparelho. No fundo do recipiente de vidro tem uma torneira (que na Figura 142 tem a letra “N”). Segundo West (2005), a conexão entre esta torneira e o fundo do recipiente foi um desafio. O problema foi resolvido com a instalação de uma fina placa metálica em formato cônico entre a torneira e o recipiente. A fixação foi feita por meio de uma mistura de piche (*pitch*), resina (*rosin*) e cinza de madeira (*wood-ashes*), derramada ainda quente na cavidade da placa. Atualmente, os vidreiros conseguem fazer encaixes no vidro para a torneira, que é o que foi feito em modernas reconstruções do dispositivo (WEST, 2005, p. 35).

Já o aparelho desenvolvido por Hauksbee era montado de outra forma (ver a Figura 132). Também podemos dividi-lo em duas partes. A superior, composta pelo recipiente de vidro em que se faz o vácuo parcial, e a parte de baixo, composta pelo mecanismo responsável pela sucção do ar e o barômetro (HAUKSBEE, 1709, p. 1-4). O recipiente de vidro fica apoiado sobre uma placa (que na Figura 132 tem a letra “i”), ele é vedado por meio de um pedaço de couro úmido: “Sobre a placa da bomba sempre é colocado um couro úmido, sobre o qual os recipientes são colocados. Este couro úmido impede que o ar entre dentro dos [recipientes de] vidro, cujas bordas são bem polidas [...]” (HAUKSBEE, 1709, p. 3).

Tendo em vista o exposto, a sugestão de Gray para Wheler foi de substituir o couro úmido como meio

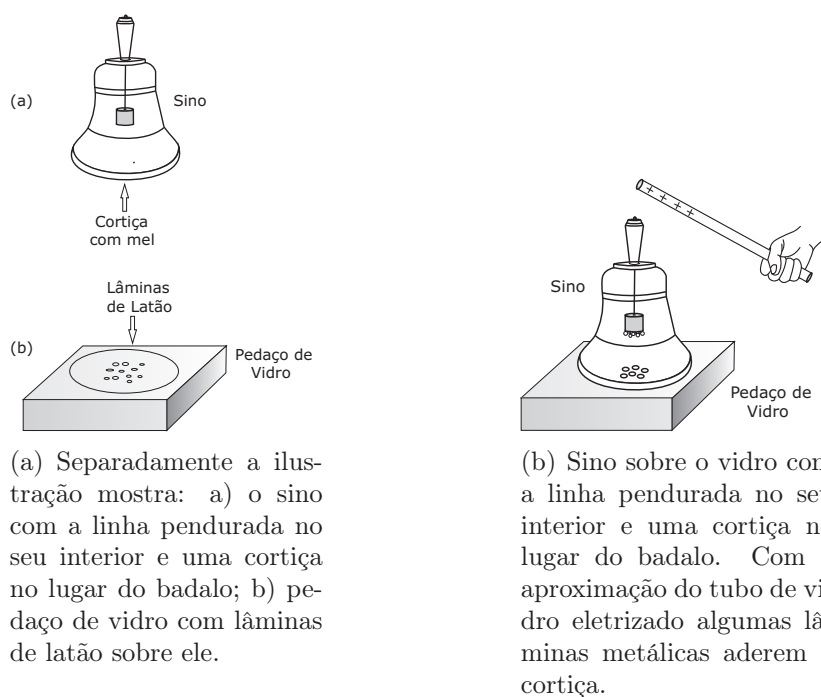


Figura 140: Sino sobre o vidro com a linha pendurada no seu interior e uma cortiça no lugar do badalo.

atração seria muito mais forte, [pois] o vapor do couro úmido tirava parte da força atrativa (*attracting force*).<sup>20</sup>

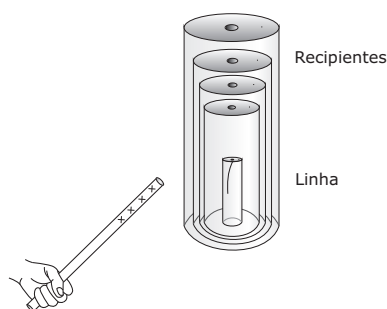


Figura 141: Recipiente menor com a linha branca no seu interior e outros quatro recipientes no seu entorno. Com a aproximação do tubo eletrizado a linha movimenta-se em direção a ele.

Agora, farei alguns relatos dos experimentos feitos [na casa] do Sr. Godfrey. O primeiro deles foi dar atração para um garoto suspenso em linhas finas (*hair-lines*)<sup>21</sup> por

de vedação pela mistura utilizada por Boyle. Lembramos que no segundo parágrafo deste texto há o informe de que a bomba utilizada por eles foi construída pelo Sr. Hauksbee (ver a Nota 5 deste Capítulo à página 249 desta tese). No entanto, Gray diz que a mistura era feita de “*cera de abelha e terebentina*”, que são substâncias diferentes daquelas mencionadas por Boyle (*i.e.*, piche, resina e cinza de madeira), mas que podem ter sido citadas em outro texto.

<sup>20</sup>Esta hipótese de Gray é bastante interessante, pois, de fato, a umidade pode atuar nos objetos eletrizados descarregando-os.

<sup>21</sup>Como discutido no livro “*Os Fundamentos Experimentais e Históricos da Eletricidade*”, estas *hair-lines*, ou linhas finas, eram certamente feitas de um material isolante, provavelmente de seda (ASSIS, 2010, p. 256-7).



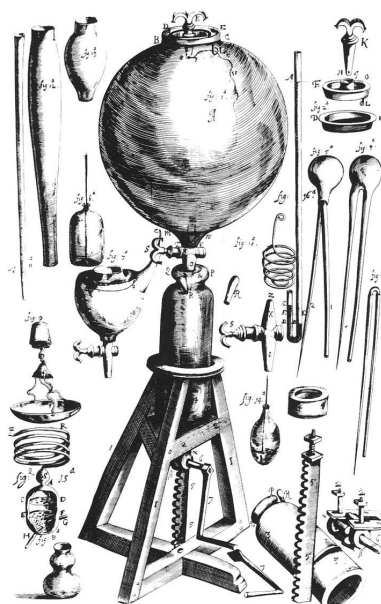


Figura 142: Gravura da bomba de ar desenvolvida por Robert Boyle. A bomba de ar completa é mostrada ao centro, e algumas de suas partes estão ao redor dela. Extraída de (WEST, 2005).

meio [da aplicação] do tubo [de vidro], e que pela intervenção de uma linha de comunicação a virtude atrativa passou para outro garoto que estava em pé à vários pés de distância dele. Mas, antes de continuar, pode ser apropriado dar uma descrição daquele experimento da força atrativa (*attractive power*) que é comunicada para o garoto em pé sobre resina.<sup>22</sup> Embora a Sociedade<sup>23</sup> tenha visto o experimento, não fiz para vocês qualquer descrição dele por escrito.

No dia 16 de junho de 1731, de manhã, fiz o experimento a seguir com o garoto, [como] mencionado, fazendo-o tornar-se atrativo ao suspendê-lo [p. 400] em linhas muito finas.<sup>24</sup> Peguei dois bolos de resina branca, tendo o formato de cilindros achatados, de pouco mais de oito polegadas [20,3 cm] de diâmetro e duas polegadas [5 cm] de espessura. Estes foram colocados no chão do meu quarto, tão próximos entre si que o garoto podia ficar em pé com um pé em um e [com] o outro [pé] no outro bolo de resina. Então, estando as lâminas de latão colocadas sob as mãos [do menino], [sendo] o tubo atritado e colocado próximo às pernas dele, as mãos atraíram e repeliram as lâminas de latão para a altura de várias polegadas.<sup>25</sup> Ou, se as lâminas de latão fossem colocadas sob uma mão e o tubo colocado próximo a outra mão, havia uma atração comunicada para a mão mais distante. Quando o tubo foi aplicado ou nas mãos ou nos pés dele, houve uma atração dada para

<sup>22</sup>A resina vai funcionar neste experimento como um isolante.

<sup>23</sup>Refere aos membros da *Royal Society*.

<sup>24</sup>Apesar de o parágrafo iniciar falando sobre o experimento em que um garoto é suspenso em *linhas muito finas*, ele não será abordado neste parágrafo.

<sup>25</sup>Uma ilustração da conformação deste experimento pode ser vista na Figura 143. O texto não menciona onde as lâminas metálicas estavam apoiadas, sendo assim, supomos que estejam sobre algum suporte.

as suas roupas. De forma que, um pedaço de linha branca sendo segurado por uma de suas extremidades, a outra seria atraída aproximadamente à distância de um pé [30 cm] pelas roupas. De forma que a atração é, em geral, tão forte, se não mais forte, do que quando o garoto estava suspenso em linhas muito finas.

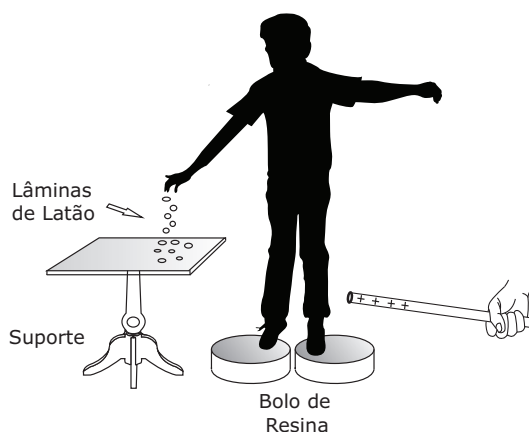


Figura 143: Garoto sobre resina. Quando o tubo eletrizado é colocado próximo ao seu pé, a sua mão atrai e repele as lâminas de latão que estão sob ela.

Agora, vou para o experimento mencionado anteriormente, [em que] um dos garotos foi suspenso em linhas muito finas e o outro ficou em pé nos dois bolos de resina. [Estando] os garotos de mãos dadas um com o outro, sob a [outra] mão do garoto que ficou em pé sobre a resina foram colocadas as lâminas de latão. Então, o tubo sendo atritado e colocado próximo ao pé do garoto pendurado nas linhas muito finas, a mão do garoto que ficou em pé sobre a resina atraiu fortemente.<sup>26</sup> Então, peguei uma régua<sup>27</sup> de quatro pés [1,2 m] e dei para os garotos segurarem em cada extremidade, [com a aproximação do tubo] houve a mesma virtude de atração dada para o outro garoto, como antes.<sup>28</sup> Depois disto, uma linha de barbante (*packthread*)<sup>29</sup> foi dada a eles para segurarem pelas extremidades, e houve uma atração [p. 401] comunicada a partir de uma extremidade para a outra, com tanto vigor quanto por qualquer dos outros métodos mencionados anteriormente.<sup>30</sup> Este experimento foi realizado no dia 13 de *setembro* de 1732.<sup>31</sup>

<sup>26</sup>Uma ilustração da conformação deste experimento pode ser vista na Figura 144. Supomos que as lâminas de latão estejam sobre algum suporte.

<sup>27</sup>Provavelmente feita de madeira, que se comporta como um condutor.

<sup>28</sup>Uma ilustração da conformação destes experimentos pode ser vista na Figura 145.

<sup>29</sup>Novamente este material se comporta como um condutor.

<sup>30</sup>Uma ilustração da conformação destes experimentos pode ser vista na Figura 145.

<sup>31</sup>A linha muito fina e a resina são materiais isolantes. Isto é fundamental para o funcionamento destes experimentos, para que os garotos fiquem isolados. Do ponto de vista da *“física atual”* são possíveis duas interpretações para a eletrização do sistema composto pelos dois garotos. i) O tubo de vidro eletrizado positivamente seria colocado próximo a um dos garotos, isto geraria uma descarga elétrica entre ambos (tubo e menino), eletrizando o sistema formado pelos dois meninos. Depois disto, o tubo seria afastado e o sistema manteria sua carga, pois está isolado. ii) O tubo eletrizado positivamente seria colocado próximo a um dos garotos (*e.g.*, mão, perna, etc.), com isso haveria um acúmulo de cargas elétricas

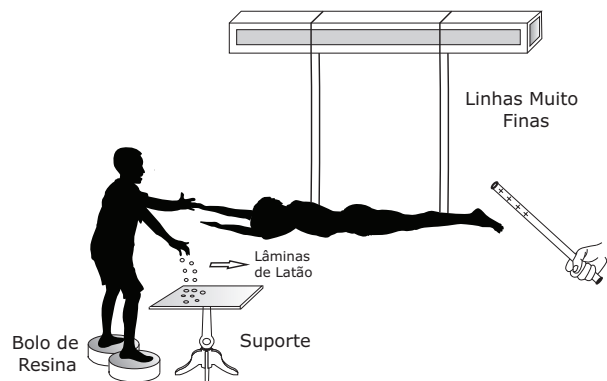


Figura 144: Um dos garotos está suspenso em linhas muito finas, o outro está em pé sobre bolos de resina. Quando o tubo eletrizado é aproximado do pé do garoto pendurado, uma das mãos do garoto em pé atrai as lâminas de latão.

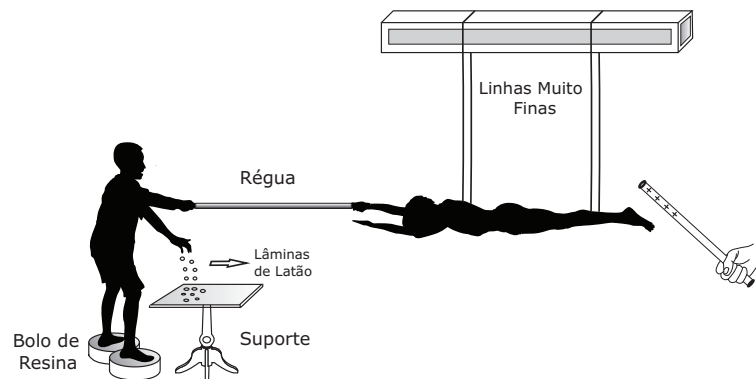


Figura 145: Um dos garotos está suspenso em linhas muito finas, o outro está em pé sobre bolos de resina. Ambos os garotos seguram uma régua (ou um barbante) com uma de suas mãos. Quando o tubo eletrizado é aproximado do pé do garoto pendurado, uma das mãos do garoto em pé atrai as lâminas de latão.

No dia 14 de setembro, inicialmente fiz o experimento a seguir. Peguei uma vara que era composta parcialmente de madeira e parcialmente de cana (*cane*). [Ela] tinha vinte e quatro pés [7,2 m] de comprimento e de forma não muito diferente de duas varas de pesca, que supomos unidas por suas extremidades maiores. Esta vara foi suspensa horizontalmente por duas linhas de seda. Sobre ela, a aproximadamente dois pés [60 cm] da extremidade, foi suspensa uma varinha de aveleira, de aproximadamente cinco pés [1,5 m] de comprimento, perpendicularmente a ela, mas sem tocá-la.<sup>32</sup> Então, fui até a outra extremidade da vara, o tubo foi excitado e colocado próximo a ela, [sendo] repetido

negativas naquela região e um acúmulo de cargas positivas nas partes que estavam mais distantes do tubo, deixando o sistema formado pelos dois garotos polarizado eletricamente. Neste caso, o experimento seria realizado sempre com o tubo próximo a um dos meninos, pois caso fosse afastado, o sistema perderia sua polarização elétrica. Acreditamos que a primeira interpretação é possível, mas o efeito seria pequeno. Desta forma, nos parece que a segunda interpretação é mais plausível para explicar os fenômenos descritos.

<sup>32</sup>Não está claro na descrição de Gray se esta varinha está na horizontal ou na vertical. Nos dois casos é possível que ela fique perpendicular à grande vara horizontal.

o mesmo [procedimento] três ou quatro vezes como de costume.<sup>33;34</sup> [Em seguida,] fui até a varinha de aveleira com uma pequena linha branca,<sup>35</sup> [e] encontrei que ela foi atraída para [a varinha] quando colocada próxima a qualquer parte dela.<sup>36</sup> No dia seguinte, o Sr. Wheler veio para [a casa] do Sr. Godfrey, e agora, com a assistência deles, repeti o experimento, e encontramos que ao suspender a varinha a várias alturas, pudemos perceber que havia uma atração, [inclusive] quando ela estava à altura de mais do que doze polegadas [30,5 cm]. Agora, farei alguns relatos [dos experimentos que] refiz, e quais as melhorias adicionais [que acrescentei] em alguns [deles] desde o meu retorno a Londres.

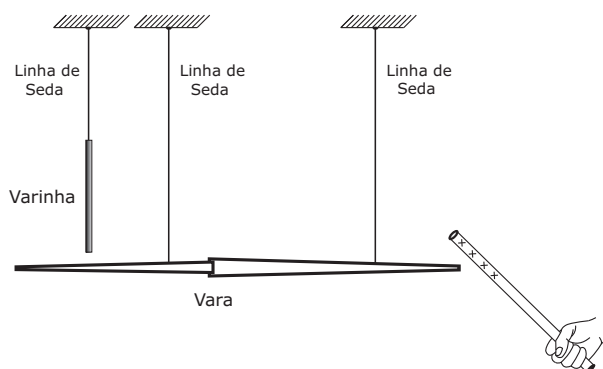


Figura 146: A vara (composta de madeira e cana) está na horizontal suspensa por duas linhas de seda, a varinha está colocada perpendicularmente sobre ela, sem tocá-la. O tubo eletrizado é aproximado da extremidade oposta àquela em que está a varinha.

No dia 29 de setembro, repeti o experimento com dois garotos. Inicialmente, coloquei um deles sobre os bolos de resina e o outro suspenso em linhas muito finas, o efeito foi o mesmo como [aquele] relatado acima. Então, fiz ambos os garotos ficarem em pé sobre os bolos de resina, dando a eles uma parte de uma vara de pesca de *spanish cane*<sup>37</sup> para segurarem [p. 402], a qual tinha oito pés [2,4 m] de comprimento, [sendo que] um garoto segurava uma extremidade da vara e o outro menino a outra extremidade. Então, [com] as lâminas de latão colocadas sobre o suporte e um dos garotos mantendo sua mão sobre elas, fui até o outro garoto e excitei o tubo [de vidro] colocando-o próximo à palma da

<sup>33</sup>A ilustração de uma possível conformação deste experimento pode ser vista na Figura 146. Estamos supondo que a varinha (*hazel wand*) também está suspensa por meio de alguma linha ou fio isolante. Nesta figura colocamos a varinha na vertical, mas ela também poderia estar na horizontal, perpendicularmente à grande vara.

<sup>34</sup>É interessante notar que Gray atritava e aproximava o tubo do objeto várias vezes para conseguir a eletrização do mesmo. Em nossos experimentos com materiais de baixo custo, muitas vezes, é preciso seguir este procedimento com os canudos de refresco ou tubos de PVC para poder eletrizar algum objeto por meio da aproximação deles.

<sup>35</sup>“*White thread*” no original. Provavelmente trata-se de uma linha de algodão ou de linho. Estes materiais comportam-se como condutores nos experimentos usuais de eletrostática.

<sup>36</sup>A ilustração de uma possível conformação deste experimento pode ser vista na Figura 147. Estamos supondo que a varinha (*hazel wand*) também está suspensa por meio de alguma linha ou fio isolante.

<sup>37</sup>“*Spanish cane*” é uma espécie de gramínea cujo nome científico é *Arrundo donax*. Nos experimentos de eletrostática se comporta como condutor elétrico.

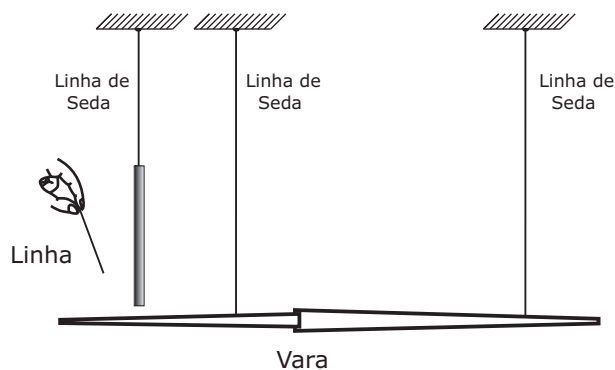


Figura 147: Após aplicar o tubo eletrizado três ou quatro vezes na extremidade da vara, uma linha branca é colocada próxima a varinha e é atraída por ela.

mão dele. [Desta forma,] a mão do primeiro garoto atraiu e repeliu as lâminas de latão fortemente.<sup>38</sup> Então, peguei um pedaço de barbante e dei a eles para segurarem em cada extremidade, tendo aproximadamente o mesmo comprimento da vara, a saber, oito pés [2,4 m]. Sob cada uma das mãos deles<sup>39</sup> foram colocadas lâminas de latão. Então, fui para o meio do barbante [e] segurei o tubo próximo a ele, [desta maneira,] a mão mais distante de ambos os garotos atraiu as lâminas com muito vigor.<sup>40</sup> [De forma] que não é de se duvidar que se a linha fosse muito mais comprida eles teriam atraído a uma distância muito maior. Então, fiz os garotos ficarem em pé sobre os bolos de resina de modo a deixar as lapelas dos seus casacos se tocarem. Em seguida, colocando o tubo [próximo de] uma das suas mãos, a outra mão atraiu, mas não com mais força do que quando eles estavam distantes o comprimento da linha [*i. e.*, oito pés [2,4 m]].<sup>41</sup> Então, eles ficaram em pé muito mais distantes para não deixarem seus casacos se tocarem por aproximadamente uma polegada [2,54 cm]. Assim, excitando um deles para atrair,<sup>42</sup> o outro não recebeu o mínimo grau de atração. Em seguida, pedi para um garoto colocar seu dedo no pulso do outro menino e, então, imediatamente ele tornou-se elétrico.<sup>43</sup>

No dia 4 de outubro, fiz o experimento a seguir. Uma vara de pesca de aproximadamente dez pés e oito polegadas [3,2 m] de comprimento [foi colocada] horizontalmente, e sobre ela, em direção à extremidade menor, [foi colocada] uma pequena vara, a qual era a extremidade superior de uma outra vara de pesca. Na extremidade menor [da pequena vara], que era [feita] de osso de baleia (*whale-bone*), foi colocada uma bola de cortiça de

<sup>38</sup>A ilustração de uma possível conformação deste experimento pode ser vista na Figura 148.

<sup>39</sup>As mãos que não seguravam o barbante.

<sup>40</sup>A ilustração de uma possível conformação deste experimento pode ser vista na Figura 149.

<sup>41</sup>Neste experimento, supomos que o tubo tenha sido aproximado da mão de um dos garotos e a verificação da atração das lâminas tenha sido feita em uma das mãos do outro garoto, tal como no experimento descrito a seguir. A ilustração de uma possível conformação deste experimento pode ser vista na Figura 150.

<sup>42</sup>Isto é, colocando o tubo eletrizado próximo a ele.

<sup>43</sup>A ilustração de uma possível conformação deste experimento pode ser vista na Figura 151.

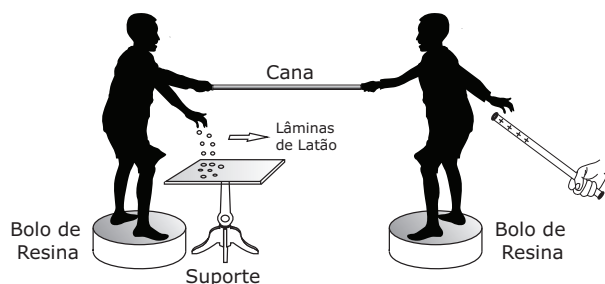


Figura 148: Dois garotos sobre blocos de resina segurando uma cana com uma de suas mãos. Quando o tubo eletrizado é aplicado na mão de um deles, a mão do outro atrai e repele as lâminas metálicas.

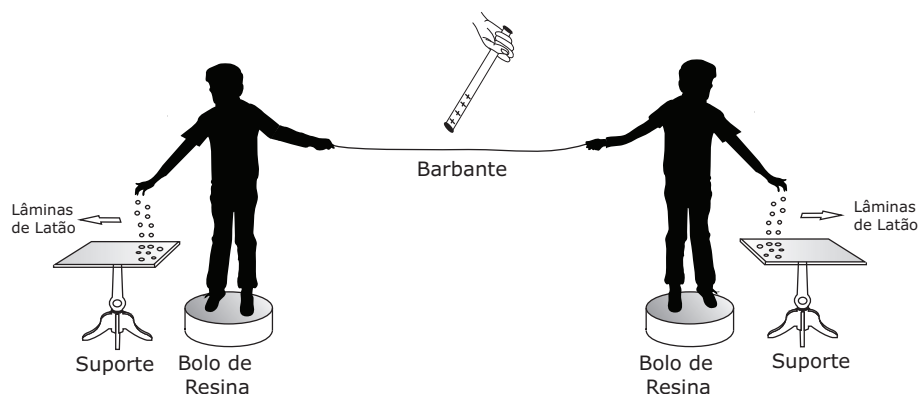


Figura 149: Dois garotos sobre blocos de resina segurando um barbante com uma das mãos. Quando o tubo eletrizado é aplicado no meio do barbante, as mãos dos garotos atraem as lâminas metálicas.

duas polegadas [5 cm] de diâmetro, [p. 403] [sendo que] as varas se tocavam. Então, o tubo foi excitado e colocado próximo à grande extremidade da vara maior, aplicado como de costume.<sup>44</sup> Em seguida, fui para a cortiça com uma linha pendular (*pendulous thread*), [e] encontrei que [a bola] atraiu a linha à distância de no mínimo duas polegadas [5 cm]. Então, a vara [menor] foi movida para o alto, de forma que não tocasse na extremidade da vara comprida, [estando afastada dela] por cerca de uma polegada [2,54 cm]. Depois de várias tentativas houve uma visível atração,<sup>45</sup> quando a pequena vara que segurava a bola ficou acima da grande trinta e quatro polegadas [86,4 cm].

No dia cinco de outubro, peguei uma linha de barbante de dezessete pés e quatro polegadas [5,2 m] de comprimento, com linhas de seda amarradas nas suas extremidades,

<sup>44</sup>Uma ilustração da conformação deste experimento pode ser vista na Figura 152. O texto não apresenta a forma como as varas foram suspensas no ar. Mas, de acordo com os outros experimentos descritos, supomos que elas poderiam ser suspensas por linhas muito finas feitas de material isolante, ou por suportes colocados sobre blocos isolantes de resina ou de vidro. Na ilustração optamos por mostrar apenas a disposição das varas, sem colocar aquilo que as sustentavam.

<sup>45</sup>O fato de ter havido várias tentativas pode ser fundamental neste experimento. Podemos supor que em cada tentativa o tubo de vidro era atritado e aproximado da vara. Este processo de eletrizar o tubo e colocá-lo próximo a vara faz com ela aumente sua eletrização pouco a pouco. De tal forma que, em um determinado momento, seja possível a atração da linha pendular.

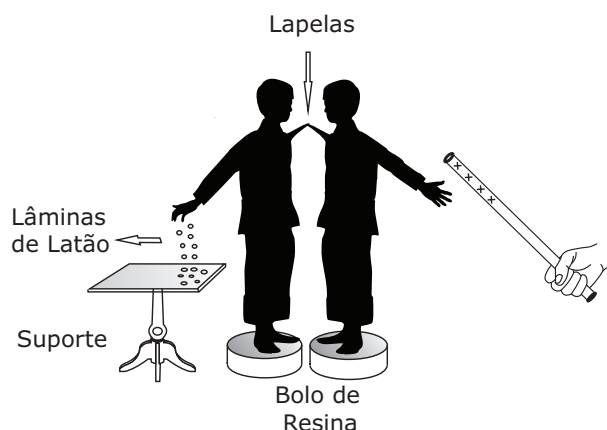


Figura 150: Dois garotos sobre blocos de resina com as lapelas de seus casacos encostadas uma na outra. Quando o tubo eletrizado é aplicado na mão de um deles, a mão do outro atrai as lâminas metálicas.

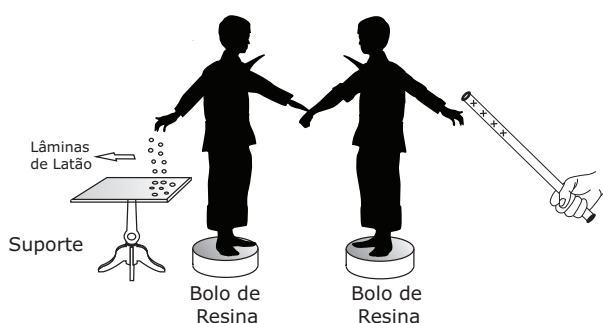


Figura 151: Dois garotos sobre blocos de resina, um dos garotos com uma de suas mãos no pulso do outro. Quando o tubo eletrizado é aplicado na mão de um deles, a mão do outro atrai as lâminas metálicas.

[sendo] uma delas de cerca de quatro pés [1,2 m] e a outra de dois pés [0,6 m] de comprimento.<sup>46</sup> Próximo aos dois cantos opostos do meu quarto, em cada um deles, tinha um gancho de aproximadamente três pés e meio [1 m] de altura, aos quais as extremidades de seda foram presas, puxando bem apertado para suportar o barbante quase na [posição] horizontal. Então, a pequena parte da vara de pesca foi suspensa sobre o barbante a cerca de quatro pés [1,2 m] da extremidade. Em seguida, o tubo foi aplicado na outra extremidade do barbante, [e] a bola de cortiça da extremidade da pequena vara ficou

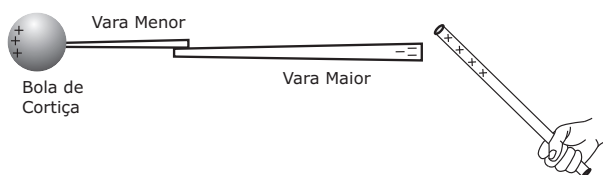


Figura 152: Duas varas em contato e o tubo de vidro eletrizado sendo aplicado na parte maior da vara mais comprida.

<sup>46</sup>As linhas de seda são fundamentais neste experimento para o isolamento do barbante, que é condutor elétrico.

atrativa. [Isso ocorreu] a vários afastamentos, até a altura de quarenta e sete polegadas [1,2 m] houve uma visível atração da linha pendular.<sup>47</sup>

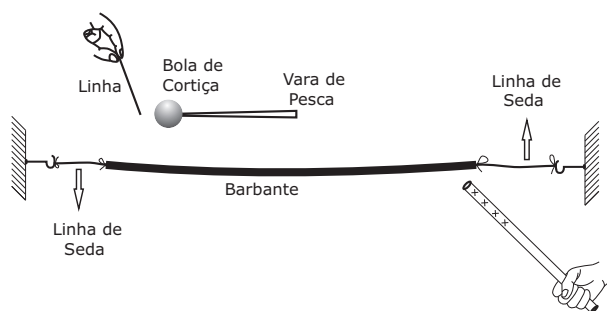


Figura 153: Vara de pesca com bola de cortiça na ponta sobre um barbante. A bola eletrizada atrai a linha pendular.

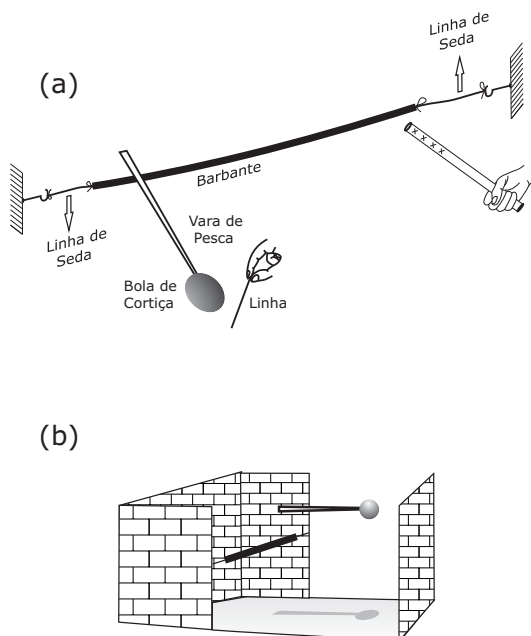


Figura 154: (a) Vara de pesca com bola de cortiça na ponta sobre um barbante. A bola eletrizada atrai a linha pendular. (b) Mostra-se a disposição do barbante e da vara no quarto.

No dia 6 de outubro, em vez de uma pequena vara, peguei um barbante de cerca de quatro pés [1,2 m] de comprimento. Nas suas extremidades [foram] amarradas linhas de seda, pelas quais [ele] foi suspenso sobre a linha<sup>48</sup> horizontal mais longa, perpendicularmente e próximo à referida linha.<sup>49</sup> [Ou seja,] estava amarrado pelas extremidades

<sup>47</sup>Há duas possibilidades para a posição da vara com a bola sobre o barbante. As ilustrações, Figura 153 e Figura 154, apresentam possíveis conformações para este experimento. O texto não menciona, mas supomos que a vara com a bola esteja suspensa por linhas de seda.

Do ponto de vista da “*física atual*”, em ambas as situações o tubo de vidro eletrizado colocado próximo a uma das extremidades do barbante o polariza eletricamente. Desta forma, o barbante polarizado também polariza a vara com a bola, o que leva à atração da linha pendular. A distribuição das cargas na vara com a bola depende da sua posição sobre o barbante.

<sup>48</sup>“*Line*” no original.

<sup>49</sup>É importante o leitor atentar que neste parágrafo aquele barbante preso aos ganchos e já utilizado no



perpendicularmente à linha de barbante que estava presa aos ganchos. O barbante cruzado tinha nós deslizantes, de tal forma que pudesse ser [p. 404] movido para cima ou para baixo conforme a ocasião. Em uma extremidade deste barbante coloquei uma bola de cortiça, e encontrei que quando o primeiro barbante tinha sido excitado [por meio do tubo eletrizado], a virtude [atrativa] foi levada para o segundo barbante e fez a bola de cortiça atrair.<sup>50</sup> Então, tirei a bola de cortiça e coloquei uma de marfim em seu lugar, e esta atraiu da mesma maneira. Depois, pendurei duas bolas de marfim, uma em uma extremidade e a outra na outra extremidade do barbante [de cima], e encontrei que havia uma sensível atração quando o barbante que as sustentavam estava levantado trinta e oito polegadas [96,5 cm] acima da linha de comunicação.

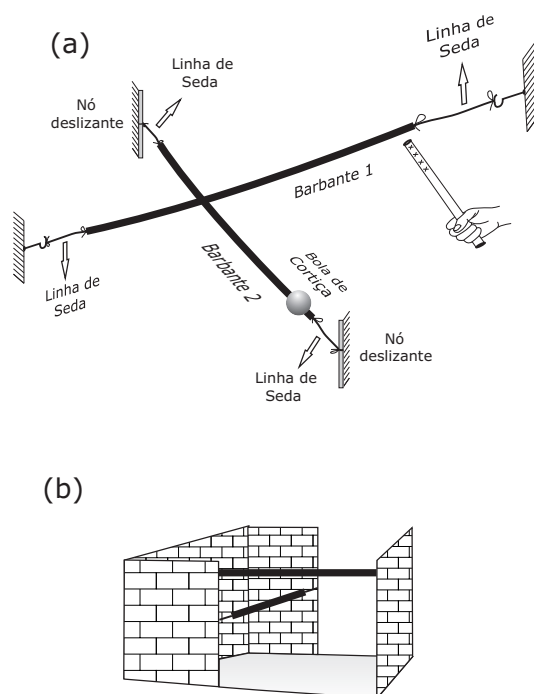


Figura 155: (a) Dois barbantes cruzados. O *barbante 1* está preso aos ganchos, o *barbante 2* preso por meio de nós deslizantes. Em uma das extremidades do *barbante 2* está a bola de cortiça. (b) Mostra-se a disposição dos barbantes no quarto.

No dia 30 de outubro, repeti este experimento. Agora, quando a linha que sustentava as bolas de marfim foi elevada cerca de uma polegada [2,54 cm] acima da linha de comunicação, cada bola atraiu a linha [pendular] a distância de mais do que um semi-diâmetro da bola, e a altura de dez polegadas [25,4 cm], pelo menos metade da mesma distância.

experimento anterior está sendo chamado de *linha horizontal* ou *linha de barbante*, o qual na ilustração do experimento na Figura 155 chamaremos de *barbante 1*. Por outro lado, há um segundo barbante colocado sobre aquele preso aos ganchos, o qual está sendo chamado neste parágrafo de *barbante*, e que na ilustração do experimento na Figura 155 chamaremos de *barbante 2*.

<sup>50</sup>Uma ilustração da conformação deste experimento pode ser vista na Figura 155. Chamamos a atenção do leitor para o fato de que os barbantes estão separados entre si por uma certa altura, apesar de a Figura 155(a) representá-los como se estivessem encostados.

Por meio destes experimentos encontramos que a virtude elétrica pode não apenas ser carregada a partir do tubo por uma vara ou linha até corpos distantes, mas que a mesma vara ou linha comunicará aquela virtude para outra vara ou linha que está a uma distância dela, e [que] por aquela outra vara ou linha a força atrativa (*attractive force*) pode ser levada até outros corpos distantes.<sup>51</sup>

*O mais obediente e  
humilde servidor  
do Senhor e da Sociedade,  
Stephen Gray.*

*Charter-House,  
15 de outubro de 1732.*

---

<sup>51</sup>Do ponto de vista da “*física atual*”, o que Gray destaca neste parágrafo é o fenômeno da indução elétrica de condutores por meio da aproximação de um outro corpo eletrizado. Esta aproximação ocasiona uma polarização de cargas elétricas nos condutores. Neste caso, o tubo de vidro é eletrizado por meio de atrito, e na medida em que está carregado ele eletriza outros corpos por indução, quando colocado próximo a eles. Os experimentos descritos aqui destacam bem dois processos de eletrização, isto é, *por contato* (*i.e.*, atrito) e *sem contato* (*i.e.*, indução).

## 9.1.2 Carta II

[p. 405]

Senhor,

O assunto da atração elétrica à distância, sem qualquer contato da linha de comunicação pelo tubo, ou a referida linha não tocar no corpo que atrai, é muito surpreendente. Presumo que o relato a seguir dos experimentos que tenho [feito] desde a minha última [carta] sobre o assunto pode ser aceitável para a Sociedade.<sup>52</sup>

Um pequeno aro<sup>53</sup> de aproximadamente vinte polegadas [51 cm] de diâmetro e uma polegada e meia [3,8 cm] de largura, foi suspenso por duas linhas de seda, de forma que ele [ficasse] pendurado perpendicularmente e em um plano perpendicular à *linha horizontal de comunicação*,<sup>54</sup> a qual atravessou, ou no mínimo [ficou] muito próxima, ao centro do aro. Fui até a extremidade da linha mencionada e apliquei o tubo excitado próximo a ela, houve uma influência atrativa comunicada ao aro em todas as suas partes.<sup>55;56</sup> Então, por um buraco de rosca feito no lado do aro para aquele propósito, parafusei-o na parte superior de um pedestal que tinha cerca de dois pés e meio [0,75 cm] de altura, colocando-o em um bolo de resina, de modo que a linha [horizontal] mencionada anteriormente pudesse passar através do centro do aro. Encontrei que se o aro fosse colocado de forma que seu plano estivesse perpendicular, ou em qualquer outro ângulo com a linha de comunicação, o aro atrai da mesma maneira como tinha feito quando fora suspenso em linhas de seda.<sup>57</sup>

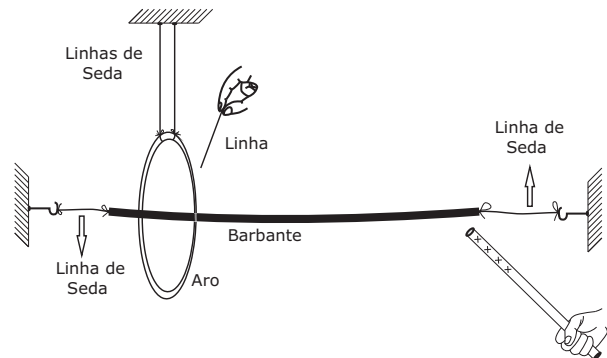


Figura 156: Barbante horizontal preso aos ganchos passando pelo centro do aro (ou ficando próximo deste centro), preso por linhas de seda. À direita da figura está o tubo eletrizado e, junto ao aro, a linha pendular.

<sup>52</sup>Royal Society.

<sup>53</sup>Provavelmente feito de madeira.

<sup>54</sup>Refere-se ao barbante amarrado aos ganchos descrito na *Carta I*.

<sup>55</sup>Supõe-se que, para verificar a atração no aro, Gray tenha aproximado a linha pendular de todo o aro, tal como nos experimentos descritos na *Carta I*.

<sup>56</sup>Uma ilustração da conformação deste experimento pode ser vista na Figura 156.

<sup>57</sup>Uma ilustração da conformação deste experimento pode ser vista na Figura 157.

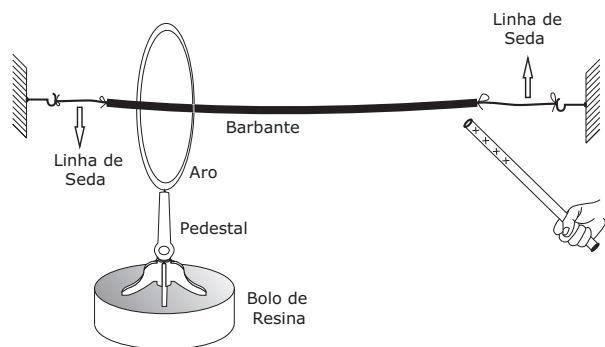


Figura 157: Barbante horizontal preso aos ganchos passando pelo centro do aro (ou ficando próximo deste centro), preso ao pedestal que está sobre um bolo de resina.

Algum tempo depois, fiz o seguinte experimento. Dentro do bico de um funil de vidro coloquei a maior [p. 406] extremidade da parte superior de uma pequena vara de pesca, e na menor extremidade [da vara de pesca coloquei] uma bola de cortiça. Então, o funil foi colocado no chão do quarto de modo que a vara ficasse distante algumas polegadas da linha de comunicação. Em seguida, o tubo foi excitado e aplicado próximo da extremidade da linha, [com isso] a virtude elétrica foi transmitida por ela para a bola de cortiça, a qual atraiu fortemente quando estava, por estimativa, não menos do que dois pés [60 cm] de distância da linha supramencionada.<sup>58;59</sup>

Em 11 de dezembro, havia um frio intenso e um belo dia. Repeti o experimento utilizando um grande aro que tinha cerca de quarenta polegadas [1 m] de diâmetro, e colocando-o perpendicularmente sobre um cilindro oco de vidro, que tinha seis polegadas [15,2 cm] de comprimento e cinco polegadas e meia [14 cm] de diâmetro.<sup>60</sup> Coloquei o aro de forma que a linha de comunicação pudesse atravessá-lo, ou no mínimo [ficar] muito próxima do seu centro. Então, ao aplicar o tubo na extremidade da linha, houve uma atração comunicada para todas as partes do aro, atraindo uma linha pendular branca à distância, por estimativa, de cerca de meia polegada [1,2 cm].<sup>61</sup> Então, coloquei o aro de forma que a superfície interna dele pudesse tocar a linha. Desta forma, comunicando uma atração por meio do tubo excitado para o barbante, a virtude atrativa foi levada pelo [barbante] para o aro, fazendo-o atrair com aquela força, tal como a parte mais remota do aro atraindo a linha a uma distância, por estimativa, de cerca de quatro polegadas

<sup>58</sup>Supõe-se que, para verificar a atração na bola de cortiça, Gray tenha aproximado a linha pendular da bola de cortiça. Neste experimento, provavelmente o funil de vidro comporta-se como um isolante, tal como o tubo de vidro.

<sup>59</sup>A ilustração de uma possível conformação deste experimento pode ser vista na Figura 158.

<sup>60</sup>Não fica claro no texto de que forma Gray utiliza o cilindro de vidro. Apesar disso, tendo em vista a descrição do experimento, supomos que ele sirva de apoio para o aro, tal como o pedestal. Novamente temos que este cilindro de vidro vai se comportar como um isolante neste experimento.

<sup>61</sup>Uma possível conformação para este experimento pode ser vista na Figura 159.

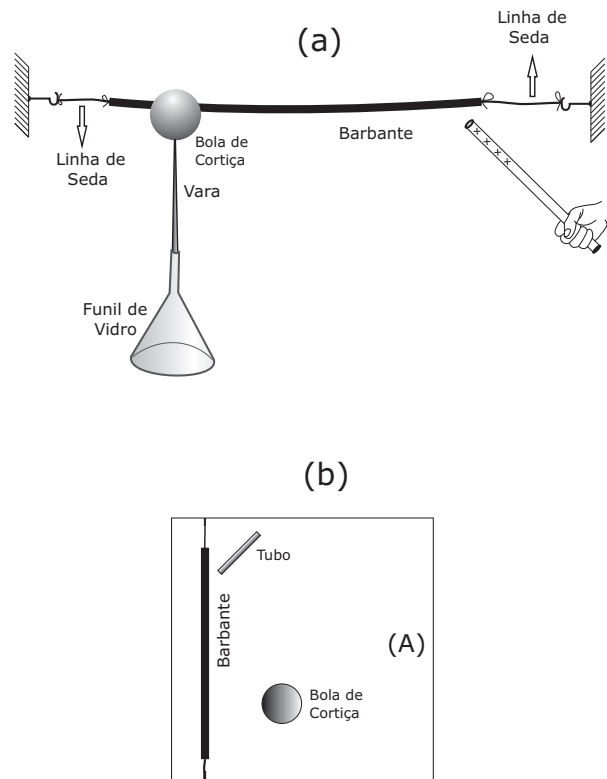


Figura 158: (a) Barbante na horizontal preso por ganchos. Na vertical temos o funil de vidro, a vara de pesca e a bola de cortiça. À direita temos o tubo eletrizado. (b) Visão de cima do quarto mostrando a disposição do experimento, sendo que em (a) vemos o experimento como visto por um observador que está em (A).

[10 cm].

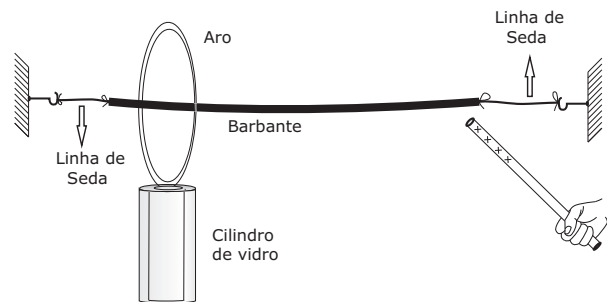


Figura 159: Barbante na horizontal, aro colocado sobre o cilindro de vidro, e o tubo eletrizado.

Algum tempo depois do anterior, fiz o seguinte experimento. O grande aro foi colocado sobre o cilindro de vidro e o barbante atravessando o seu centro, ou [ficando] próximo dele. Ao aplicar o tubo [p. 407] próximo ao aro, [o tubo] forneceu-lhe uma forte atração, de forma que ele atraía a linha [pendular] à distância de sete ou oito polegadas [17,7 ou 20,3 cm].<sup>62</sup> E ao mesmo tempo havia uma atração comunicada para o barbante. Então, suspendi uma bola de marfim, de duas polegadas [5 cm] de diâmetro, na outra extremidade

<sup>62</sup>Uma possível conformação para este experimento pode ser vista na Figura 160.

do barbante. Aplicando o tubo no aro, houve uma virtude atrativa levada para a bola, e ela atraiu a linha pendular à distância de cerca de uma polegada [2,54 cm].<sup>63</sup> Então, coloquei a bola no centro do aro, ou próxima a este centro, e agora ela<sup>64</sup> estava tão longe de ser atraída, que foi repelida pela bola, mas foi atraída pelo barbante passando por ela<sup>65</sup> no arco de um círculo, cujo centro parecia ser aquele da bola.<sup>66</sup>

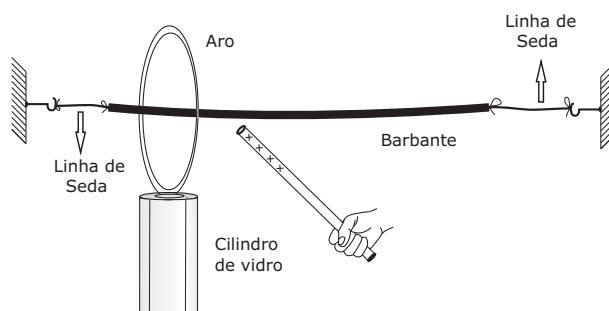


Figura 160: Barbante na horizontal, aro maior sobre o cilindro oco de vidro e o tubo eletrizado próximo ao aro. O tubo está sendo aplicado no barbante e próximo ao aro.

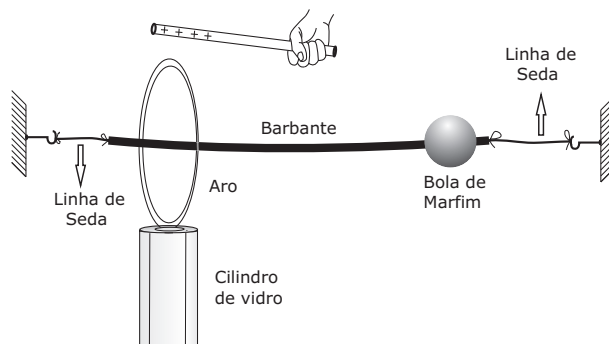


Figura 161: Barbante na horizontal, aro maior sobre o cilindro oco de vidro e o tubo eletrizado próximo ao aro.

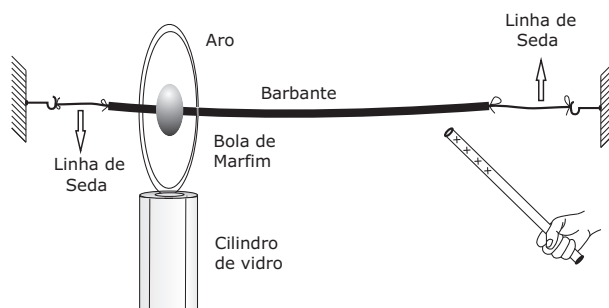


Figura 162: Barbante na horizontal, aro maior sobre o cilindro oco de vidro, bola de marfim no centro do aro, e o tubo eletrizado próximo ao barbante.

Isto é tudo que tenho para comunicar no momento. Eu sou,

<sup>63</sup>Uma possível conformação para este experimento pode ser vista na Figura 161.

<sup>64</sup>Aparentemente Gray está se referindo aqui à linha pendular.

<sup>65</sup>Aparentemente Gray está se referindo aqui ao barbante passando pela bola de marfim.

<sup>66</sup>Uma possível conformação para este experimento pode ser vista na Figura 162.

*O mais obediente servidor  
do Senhor e da Sociedade,*  
**Stephen Gray.**

## 9.2 Experimentos

### 9.2.1 Introdução

Nesta seção apresentamos a reconstrução de alguns experimentos descritos por Gray que, do ponto de vista da “física atual”, evidenciam a eletrização sem contato ou toque entre o objeto eletrizado (*i.e.*, indutor) e aquele a ser eletrizado. Em geral, utilizamos como indutor um tubo de PVC eletrizado por meio de atrito com poliamida. Um fator relevante nos experimentos a seguir é que o corpo a ser eletrizado pelo indutor sempre estará isolado eletricamente, seja por meio de fios isolantes (*i.e.*, de seda ou de poliamida) ou por meio de uma base de isopor. Ou seja, o isolamento dos corpos é condição *sine qua non* para que possamos evidenciar os fenômenos descritos. Outro ponto importante é que o tubo eletrizado é sempre colocado próximo a uma das extremidade das varas, as quais serão bastante utilizadas nos experimentos seguintes, e sem tocá-las. A eletrização a partir da aproximação do indutor (*i.e.*, o tubo eletrizado) ocorre sem que haja contato ou toque com o corpo isolado. Isso ocorre porque na medida em que o tubo é aproximado de uma vareta de madeira suspensa por linhas de poliamida, por exemplo, a vareta fica polarizada eletricamente. A extremidade próxima ao tubo fica eletrizada com carga de sinal oposto ao do tubo, enquanto que a extremidade mais afastada fica eletrizada com carga de mesmo sinal que o tubo. Este fenômeno é chamado de *polarização* ou *indução elétrica*. A partir de uma certa distância entre o tubo e o objeto, ocorre uma descarga elétrica entre eles, o que faz com que o objeto isolado fique carregado eletricamente. Algumas vezes, em nossos experimentos, ao aproximarmos o tubo atritado da extremidade das varas, foi possível escutar estalidos, o que evidencia a ocorrência da descarga elétrica. Mesmo que não haja estalidos, é possível verificar a eletrização dos objetos isolados por meio da aproximação de uma *linha pendular*, como será feito a seguir.

### 9.2.2 Experimentos com Materiais Acessíveis

**Experimento 9.1** *Experimentos com linhas dentro de recipientes*



### ✓ MATERIAIS UTILIZADOS

- |                |                        |
|----------------|------------------------|
| ⇒ Tubo de PVC  | ⇒ Linha de algodão     |
| ⇒ Poliamida    | ⇒ Linha de seda        |
| ⇒ Eletroscópio | ⇒ Recipientes diversos |
| ⇒ Fita adesiva |                        |

No início do texto original (GRAY, 1731-2d, p. 397-407), Gray descreve alguns experimentos em que linhas são penduradas dentro de recipientes. Então, o tubo de vidro eletrizado é aproximado do lado de fora do recipiente para verificar o comportamento da linha presa no interior do mesmo. Para a reprodução desses experimentos, utilizamos 8 recipientes, os quais foram adquiridos em uma loja de variedades, sendo 2 deles de vidro, 3 de plástico e 3 de acrílico, ver Figura 163(a).



(a) Recipientes. O grupo da esquerda da figura é de vidro, o grupo do centro é de plástico e o grupo da direita é de acrílico.



(b) Em detalhe um recipiente de vidro com uma linha de algodão presa na sua tampa pelo lado de dentro.

Figura 163: Recipientes.

Inicialmente, fizemos um teste para verificar quais recipientes eram feitos de materiais condutores e quais eram isolantes.<sup>67</sup> Testamos tanto o recipiente em si quanto a sua tampa. O resultado do teste é apresentado na Tabela 22. Cada recipiente foi numerado antes de realizarmos os testes.

<sup>67</sup>Este teste está descrito no Experimento 2.2 à página 57 desta tese.

Tabela 22: Teste de condutividade dos materiais utilizados.

Nº	Material	Propriedade condutora	
		Recipiente	Tampa
1	Vidro	condutor	mau condutor
2	Vidro	condutor	condutor
3	Plástico	isolante	isolante
4	Plástico	isolante	isolante
5	Plástico	condutor	condutor
6	Acrílico	isolante	condutor
7	Acrílico	isolante	isolante
8	Acrílico	isolante	condutor

<sup>1</sup>Nota - o material descrito na segunda coluna refere-se ao recipiente. Todas as tampas são de plástico.

Para prender as linhas no interior dos recipientes, utilizamos fita adesiva, de tal forma que a linha era sempre presa no centro da tampa, ver Figura 163(b). Desta forma, aproximávamos o tubo de PVC eletrizado por atrito com poliamida do lado de fora do recipiente e observávamos o comportamento da linha. O resultado destes testes é apresentado na Tabela 23.

Tabela 23: Resultado do Experimento.

Nº	Material	<i>Linha de algodão</i>	<i>Linha de seda</i>
1	Vidro	não se move	não se move
2	Vidro	não se move	não se move
3	Plástico	atração	repulsão
4	Plástico	atração	repulsão
5	Plástico	se move	não se move
6	Acrílico	se move	se move
7	Acrílico	atração	atração
8	Acrílico	atração	—

## Alguns comentários sobre o comportamento das linhas

### *Linha de Algodão*

*Recipiente 1 e 2* - O mesmo fio pendurado em um suporte isolante foi atraído a cerca de 13 cm de distância.

*Recipiente 4* - Algumas vezes, imediatamente após a aproximação do tubo, a linha era levemente repelida e em seguida era atraída para a direção do tubo eletrizado.

*Recipiente 5* - A linha balançava um pouco na medida em que o tubo era aproximado, não sendo nem atraída nem repelida. Mas, após a retirada do tubo ela era atraída pela parede do recipiente onde o tubo foi aproximado, tocava a parede e retornava à posição inicial ao centro.

*Recipiente 6* - Algumas vezes ao aproximar o tubo a linha era atraída. Mas, em outros momentos, a atração ocorria apenas no instante em que o tubo eletrizado era afastado do recipiente. Assim a linha era atraída pela parede onde o tubo estava próximo.

*Recipiente 7* - Nos parece que na medida em que o tubo eletrizado era aproximado, a linha era levemente repelida antes de ser atraída.

### ***Linha de Seda***

*Recipiente 3* - Quando o tubo eletrizado era aproximado da linha de seda, ela era levemente repelida, voltando a posição inicial assim que o tubo era afastado. Mas, se o procedimento fosse realizado várias vezes seguidas, ou seja, se o tubo fosse atritado e aproximado várias vezes consecutivas, num determinado momento, assim que o tubo era afastado, a linha era atraída para a parede do recipiente onde o tubo estava próximo.

*Recipiente 6* - Quando o tubo eletrizado é aproximado, nos parece que havia uma pequena atração da linha. Mas, se o procedimento fosse realizado várias vezes seguidas, ou seja, se o tubo fosse atritado e aproximado várias vezes consecutivas, num determinado momento a linha era atraída e encostava na parede do recipiente onde o tubo estava próximo.

*Recipiente 7* - Nas primeiras aproximações do tubo, não havia movimentação da linha. Mas, se o procedimento fosse realizado várias vezes seguidas, ou seja, se o tubo fosse atritado e aproximado várias vezes consecutivas, num determinado momento a linha era atraída.

*Recipiente 8* - Não percebemos qualquer movimento aparente da linha. Mas, devido ao formato do recipiente, cheio de quinas, optamos por não colocar o resultado, pois a observação pode ter sido prejudicada.

**Experimento 9.2** *Experimento com uma vareta de madeira na horizontal e uma varinha de madeira na vertical*

✓ MATERIAIS UTILIZADOS	
⇒ Tubo de PVC	⇒ Linha de poliamida
⇒ Poliamida	⇒ Linha de seda
⇒ Varetas de madeira	⇒ Linha pendular (algodão)
⇒ Suporte de madeira	

À página 401 do artigo original (página 257 desta tese), é descrito um experimento em que uma vareta de madeira é suspensa horizontalmente por linhas isolantes, e uma segunda vareta é pendurada verticalmente sobre a primeira. Para realizar este experimento, utilizamos um suporte de madeira com haste horizontal de ferro, como ilustra a Figura 164.

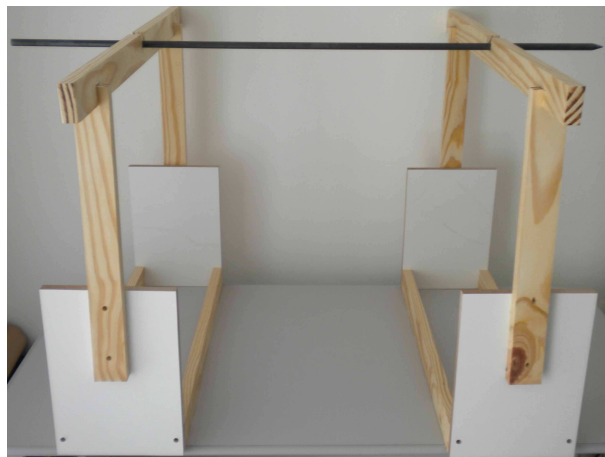


Figura 164: Suporte de madeira com haste horizontal de ferro.

Também tínhamos a opção de utilizar a haste horizontal de madeira (ver Figura 165), mas optamos pela de ferro por conveniência, pois as linhas que suspendem os materiais deslizam com mais facilidade nela e, portanto, torna-se mais fácil manipulá-las.<sup>68</sup>

Então, penduramos as varetas na haste horizontal do suporte por meio de linhas isolantes, tal como apresenta a Figura 167. A distância entre as duas varetas era de

<sup>68</sup>O leitor deve ficar atento a este suporte de madeira com haste horizontal de ferro, pois o utilizaremos em todos os próximos experimentos desta seção, e em algumas fotografias apresentaremos em detalhe apenas os materiais suspensos na haste horizontal, ou seja, não mostramos o suporte todo. É importante ressaltar que a haste horizontal de madeira tinha 1 metro, já para a haste de ferro tínhamos duas opções, sendo uma delas de 1 metro e outra de 2 metros. A haste de dois metros foi utilizada em alguns momentos para deixar os cavaletes de madeira que a sustentam mais distantes do material suspenso, como ilustra a Figura 166.

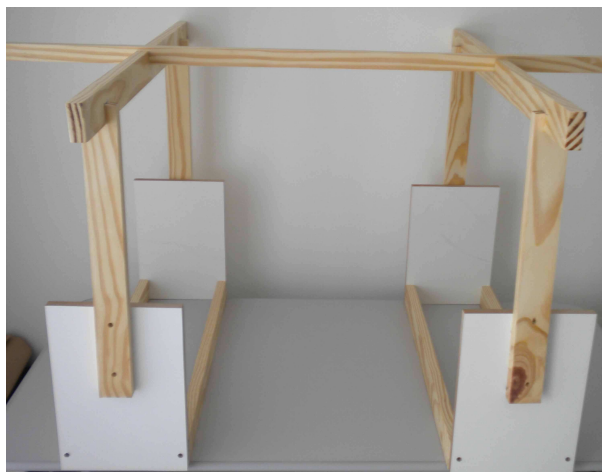


Figura 165: Suporte de madeira com haste horizontal de madeira.



Figura 166: Suporte de madeira com haste horizontal de ferro e uma vara de madeira pendurada por meio de linhas de poliamida.

cerca de 7 mm, como já explicamos em outras seções, sendo este o diâmetro de um canudo de refresco. É importante salientar que esta distância pode variar de acordo com o quão eletrizado está o objeto utilizado no experimento. A vara de madeira pendurada na horizontal foi obtida cortando uma colher de madeira adquirida em uma loja de variedades, a vareta vertical é um palito de churrasco.

Para reproduzir o experimento, o tubo de PCV atritado era aproximado da vara de madeira horizontal na extremidade oposta àquela da vareta vertical. Em alguns momentos, ocorriam estalidos quando o tubo era aproximado (mas não encostado) da extremidade da vara de madeira. Esse procedimento era feito três ou quatro vezes antes de aproximar a linha pendular da varinha pendurada na vertical. Então, ao aproximar a linha pendular, ocorria atração entre a linha e a vareta vertical, o que evidencia a eletrização desta vareta. A linha pendular consistia em uma linha condutora de algodão presa à ponta de uma vareta de madeira.

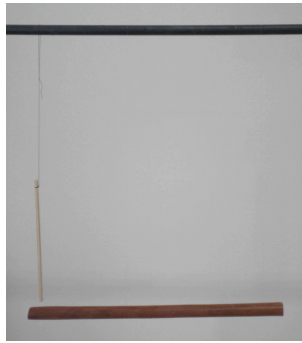


Figura 167: Em detalhe a figura apresenta a vareta de madeira horizontal presa por linhas de poliamida (linhas de pesca) na haste horizontal de ferro do suporte de madeira e a vareta vertical presa por linha de seda à mesma haste.

### Experimento 9.3 *Experimento com duas varetas de madeira na horizontal*

#### ✓ MATERIAIS UTILIZADOS

- |                      |                            |
|----------------------|----------------------------|
| ⇒ Tubo de PVC        | ⇒ Varetas de madeira       |
| ⇒ Poliamida          | ⇒ Linha pendular (algodão) |
| ⇒ Suporte de madeira | ⇒ Linha de poliamida       |
| ⇒ Rolha de cortiça   | ⇒ Linha de seda            |

À página 402 do artigo original (página 259 desta tese), é descrito um experimento em que duas varetas de madeira são suspensas por fios isolantes uma sobre a outra, sendo que uma delas possui uma bola de cortiça à ponta. Suspendemos, então, duas varetas de madeira no nosso suporte de madeira com haste horizontal de ferro, sendo que uma delas tinha uma rolha de cortiça presa à sua ponta, tal como ilustra a Figura 168.

A vareta da direita estava suspensa por linhas de poliamida e a da esquerda tinha uma extremidade suspensa pela vareta da direita e uma extremidade suspensa por linha de seda. Ambas as varetas foram obtidas a partir de colheres de madeira adquiridas em uma loja de variedades, sendo que a colher em si foi serrada. Para realizar o experimento, o tubo de PVC foi atritado e aproximado (mas não encostado) cerca de 4 ou 5 vezes na extremidade oposta àquela em que estava presa a rolha de cortiça.<sup>69</sup> Em seguida, a linha pendular foi aproximada da cortiça e foi atraída por ela. Isto evidencia que a rolha estava eletrizada.

<sup>69</sup>Cabe destacar que o tubo de PVC era constantemente atritado. Antes de cada aproximação ele era novamente atritado com poliamida.

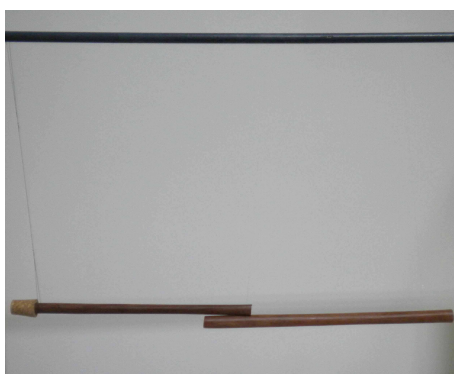


Figura 168: Em detalhe a figura apresenta duas varetas de madeira na posição horizontal presas à haste horizontal de ferro do suporte de madeira. A vareta da esquerda com uma rolha de cortiça à sua ponta está presa por linha de seda à haste e a vareta da direita está presa por linhas de poliamida (linhas de pesca).

#### **Experimento 9.4** *Experimento com corda e vareta de madeira na horizontal*

##### ✓ MATERIAIS UTILIZADOS

- |                      |                            |
|----------------------|----------------------------|
| ⇒ Tubo de PVC        | ⇒ Corda                    |
| ⇒ Poliamida          | ⇒ Linha de poliamida       |
| ⇒ Suporte de madeira | ⇒ Linha de seda            |
| ⇒ Vareta de madeira  | ⇒ Linha pendular (algodão) |
| ⇒ Rolha de cortiça   |                            |

À página 403 do artigo original (página 261 desta tese), é descrito um experimento em que uma vareta de madeira com uma bola de cortiça à ponta é suspensa por linhas isolantes sobre um barbante também suspenso por linhas isolantes. Para reproduzir este experimento, utilizamos um pedaço de corda de fibra de coco de cerca de 50 cm e uma vareta de madeira de cerca de 30 cm com uma rolha de cortiça fixada a sua extremidade, ambos presos ao suporte de madeira com haste horizontal de ferro por meio de linhas de poliamida e de seda, como ilustra a Figura 169.

Optamos por utilizar a corda porque temos indícios de que o barbante que Gray utilizava era grosso. Apesar do nome *barbante*, era algo semelhante a uma corda, como discutimos na nota de rodapé 16 à página 145 desta tese. Antes de utilizarmos a corda, foi realizado o teste e verificado que ela se comporta como condutor elétrico para experimentos de eletrostática. Para realizar o experimento, o tubo de PVC foi atritado e aproximado



Figura 169: A figura apresenta uma vareta de madeira com uma rolha de cortiça à sua ponta e um pedaço de corda, ambos na posição horizontal, suspensos pela haste horizontal de ferro do suporte de madeira. A vareta de madeira está presa por linhas de seda à haste e a corda está presa por linhas de poliamida (linhas de pesca).

(mas não encostado) cerca de 4 ou 5 vezes na extremidade da corda oposta àquela em que estava posicionada a vara de madeira. Em seguida, a linha pendular foi aproximada da cortiça e foi atraída por ela. Isto evidencia que a rolha estava eletrizada.

#### **Experimento 9.5** *Experimento com corda e aro de madeira*

✓ MATERIAIS UTILIZADOS	
⇒ Tubo de PVC	⇒ Corda
⇒ Poliamida	⇒ Linha pendular (algodão)
⇒ Suporte de madeira	⇒ Linha de seda
⇒ Aro de madeira	⇒ Linha de poliamida

À página 405 do artigo original (página 266 desta tese), é descrito um experimento em que um aro de madeira é suspenso por linhas isolantes junto a um barbante também suspenso por linhas isolantes. Para reproduzir este experimento, utilizamos um pequeno aro de madeira de diâmetro médio aproximado de 16 cm, o qual foi descrito anteriormente nesta tese à página 202, e um pedaço de corda. Ambos foram pendurados no suporte de madeira com haste horizontal de ferro, como descrito na Figura 170.

Para realizar o experimento, o tubo de PVC foi atritado e aproximado (mas não encostado) cerca de 4 ou 5 vezes da extremidade da corda oposta àquela em que estava



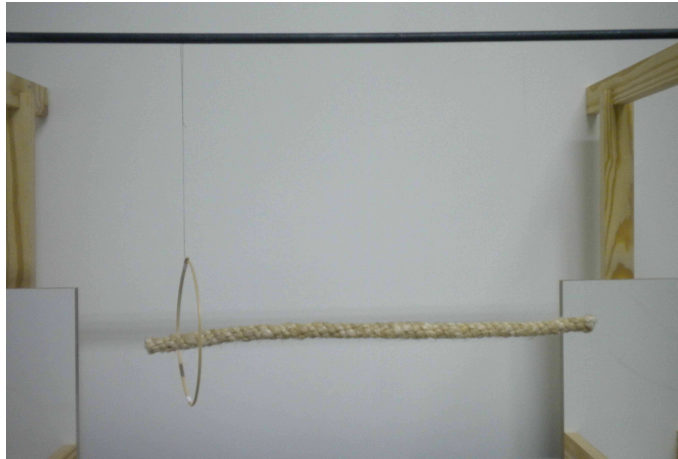


Figura 170: A figura apresenta um aro de madeira e um pedaço de corda suspensos na haste horizontal de ferro do suporte de madeira. O aro de madeira está preso por linha de seda à haste e a corda está presa por linhas de poliamida (linhas de pesca).

preso o aro. Em seguida, a linha pendular foi aproximada do aro e foi atraída por ele. Isto evidencia que o aro estava eletrizado. Inicialmente, a corda foi posicionada próxima ao centro do aro, mas neste caso não houve atração perceptível. Sendo assim, posicionamos ela mais próxima do contorno de madeira do aro. Quanto mais próxima do contorno, maior era a atração da linha pendular. A aproximação entre a corda e o contorno do aro pode ser feita abaixando ou elevando a extremidade da corda que está posicionada dentro do aro.

**Experimento 9.6** *Experimento com corda e uma rolha de cortiça presa a uma vareta de madeira vertical*

✓ MATERIAIS UTILIZADOS

- |                      |                            |
|----------------------|----------------------------|
| ⇒ Tubo de PVC        | ⇒ Rolha de cortiça         |
| ⇒ Poliamida          | ⇒ Linha pendular (algodão) |
| ⇒ Vareta de madeira  | ⇒ Linha de seda            |
| ⇒ Suporte de madeira | ⇒ Linha de poliamida       |

À página 405 do artigo original (página 266 desta tese), é descrito um experimento em que uma bola de cortiça é fixada a uma vareta e ambas presas a um funil de vidro. A bola, então, é colocada próxima a um barbante suspenso por linhas isolantes. Para reproduzir este experimento, utilizamos a corda suspensa por linhas isolantes no suporte

de madeira com haste de ferro dos experimentos anteriores, e uma rolha de cortiça presa a uma vareta de madeira fixada em um bloco de isopor. O funil de vidro utilizado por Gray provavelmente se comportava como isolante elétrico, por isso a nossa opção por um bloco de isopor para servir de base no lugar do funil. A disposição do experimento pode ser vista na Figura 171.

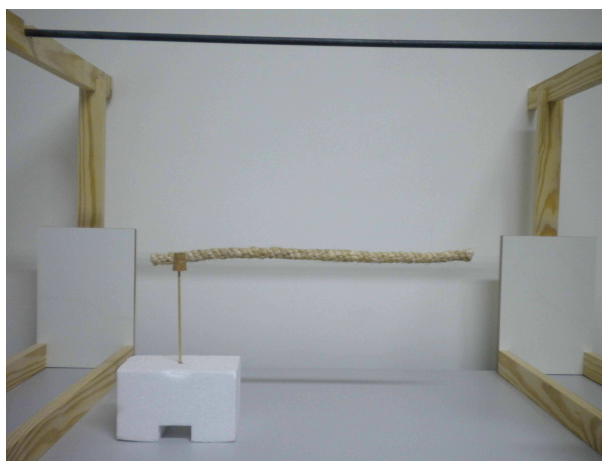


Figura 171: A figura apresenta um pedaço de corda preso por linhas de poliamida (linhas de pesca) à haste horizontal de ferro do suporte de madeira e uma rolha de cortiça presa a uma vareta de madeira fixadas a um pedaço de isopor. A cortiça e a corda não estão encostadas.

Para realizar o experimento, o tubo de PVC foi atritado com poliamida e aproximado (mas não encostado) cerca de 4 ou 5 vezes da extremidade da corda oposta àquela em que estava a rolha de cortiça. Em seguida, a linha pendular foi aproximada da rolha e foi atraída por ela. Isto evidencia que a rolha estava eletrizada. Um fator importante neste experimento é a distância entre a rolha de cortiça e a corda. Quanto mais próximas estão a corda e a cortiça, mais evidente é a atração da linha. A partir de uma determinada distância entre a rolha e a corda, não há atração perceptível.

**Experimento 9.7** *Experimento com corda e uma rolha de cortiça fixada a ela e um aro de madeira posicionado na ponta da corda oposta à cortiça*

✓ MATERIAIS UTILIZADOS

---

- |                      |                            |
|----------------------|----------------------------|
| ⇒ Tubo de PVC        | ⇒ Corda                    |
| ⇒ Poliamida          | ⇒ Rolha de cortiça         |
| ⇒ Suporte de madeira | ⇒ Linha pendular (algodão) |
| ⇒ Aro de madeira     | ⇒ Linha de seda            |
| ⇒ Agulha de costura  | ⇒ Linha de poliamida       |

À página 406 do artigo original (página 267 desta tese), é descrito um experimento em que um aro de madeira é suspenso por linhas isolantes junto a um barbante com uma bola de cortiça à ponta também suspenso por linhas isolantes. Para reproduzir este experimento, utilizamos um pequeno aro de madeira de diâmetro médio aproximado de 16 cm, o qual foi descrito anteriormente nesta tese à página 202, e um pedaço de corda com uma rolha de cortiça presa na ponta oposta àquela em que estava posicionado o aro de madeira. Ambos foram pendurados na haste horizontal de ferro do suporte de madeira, como descrito na Figura 172.



Figura 172: A figura apresenta um pedaço de corda com rolha de cortiça preso por linhas de poliamida (linhas de pesca) à haste horizontal de ferro do suporte de madeira e um aro de madeira preso a mesma haste por linha de seda e posicionado na extremidade da corda oposta àquela em que está a cortiça.

Para fixar a rolha na corda, utilizamos uma agulha de costura, tal como ilustra a Figura 173. Nesta ilustração deixamos a cortiça e a corda com certa distância para evidenciar a agulha mas, para a realização do experimento, a agulha foi introduzida na corda até que a rolha encostasse na mesma. Para realizar o experimento, o tubo de PVC foi atritado e aproximado (mas não encostado) cerca de 4 ou 5 vezes do aro. Em seguida,

a linha pendular foi aproximada da cortiça e foi atraída por ela. Isto evidencia que a rolha de cortiça estava eletrizada. Inicialmente, a corda foi posicionada próxima ao centro do aro, mas neste caso não houve atração perceptível na cortiça. Sendo assim, posicionamos ela mais próxima do contorno de madeira do aro, o que propiciou a atração da linha pela cortiça. A aproximação entre a corda e o contorno do aro pode ser feita abaixando ou elevando a extremidade da corda que está posicionada dentro do aro. Cabe ressaltar que dependendo do diâmetro do aro e do quão eletrizado está o tubo, a eletrização da corda pode ocorrer devido à aproximação do próprio tubo, e não necessariamente devido à eletrização do aro e deste eletrizar a corda.



Figura 173: Em detalhe a figura apresenta como foi feita a fixação da rolha de cortiça à corda por meio de uma agulha de costura.

## 10 Tradução 7

### 10.1 Tradução 7 - Experimentos e Observações sobre a Luz que é Produzida pela Comunicação da Atração Elétrica para Corpos Animados ou Inanimados, Juntamente com Alguns dos seus mais Surpreendentes Efeitos; Comunicado em uma Carta do Sr. Stephen Gray, F. R. S. para Cromwell Mortimer, M. D. Secr. R. S.

Charter-House, 28 de janeiro de 1734-5.<sup>1;2;3</sup>

Senhor,

[Há] alguns meses atrás prometi apresentar para a Sociedade<sup>4</sup> um relato dos experimentos que eu tinha feito então. Mas logo depois ocorreram-me vários outros pensamentos, os quais estava disposto a ver se conseguia realizar com sucesso. Os experimentos requeriam novos instrumentos para que pudesse realizá-los de forma mais completa. Espero que [esta] seja uma justificativa suficiente para este atraso.

Vi que você<sup>5</sup> publicou uma carta do Sr. Dufay<sup>6</sup> para o Duque de *Richmond*, na *Philosophical Transactions* [p. 17] n° 431.<sup>7</sup> Isto me traz uma satisfação que não é pequena,

<sup>1</sup>Tradução do texto: (GRAY, 1735-6b, p. 16-24).

<sup>2</sup>O *texto original* em inglês apresenta várias palavras iniciadas com letra maiúscula no meio das frases, as quais optamos por grafar com letra minúscula para facilitar a leitura. Além disso, a pontuação gramatical foi alterada para facilitar a sua compreensão.

<sup>3</sup>Os destaques em *itálico* no texto são dos tradutores, assim como as palavras entre colchetes. Os colchetes [p. ] indicam a página original do texto em inglês.

<sup>4</sup>Refere-se aos membros da *Royal Society*.

<sup>5</sup>Refere-se ao Sr. Cromwell Mortimer, que era Secretário da *Royal Society* à época e para quem a carta está endereçada.

<sup>6</sup>Na tradução este termo será grafado como no texto original (*i.e.*, *Dufay*), mas em nossos comentários grafaremos *Du Fay*.

<sup>7</sup>(DU FAY, 1733-4). Uma tradução desta carta pode ser encontrada em (BOSS; CALUZI, 2007).

[já] que minhas descobertas elétricas foram não apenas confirmadas por um filósofo<sup>8</sup> tão sábio como o Sr. Dufay, mas que ele tenha feito várias novas descobertas por ele próprio, mais especialmente, aquela experiência luminosa importante, que me colocou a fazer os experimentos que vou relatar agora.

Inicialmente, farei alguns relatos dos experimentos realizados na última primavera, logo depois [que] recebi a tradução da carta do Sr. Dufay. Esses [experimentos] foram feitos [na casa] do meu honrado amigo Granvill Wheler Esq.<sup>9</sup> F. R. S.,<sup>10</sup> nos meses de julho e agosto. E finalmente prosseguirei [para relatar] aqueles [experimentos] realizados desde o meu retorno a Londres, que ocorreu no último [mês] de setembro.

Como não tinha comigo linhas de seda fortes o suficiente para sustentar o garoto, fiz com que ele ficasse em pé sobre algum dos *corpos elétricos*.<sup>11</sup> E, como concluí, encontrei o mesmo efeito, tal como mencionado pelo Sr. Dufay. Não precisarei mencionar as particularidades do experimento, mas prosseguirei para aqueles que foram sugeridos a mim pelos dizeres do Sr. Dufay, que aqueles estalidos ou faíscas não são excitados se um pedaço de madeira, ou qualquer outra substância que não seja um corpo vivo, for passada sobre a pessoa suspensa nas linhas [isolantes], a menos que seja um pedaço de metal.<sup>12</sup> A partir disso, concluí que se suspendesse o metal em linhas de seda, ou o colocasse [apoiado] em qualquer um dos corpos elétricos, o efeito deveria ser o mesmo.<sup>13</sup> Quando o metal foi

---

<sup>8</sup>Refere-se ao termo *filósofo natural*.

<sup>9</sup>Escudeiro.

<sup>10</sup>*Fellow of the Royal Society* - Membro da *Royal Society*.

<sup>11</sup>Como já discutido nesta tese, *corpos elétricos* são aquelas substâncias que atualmente denominamos *isolantes elétricos*. Por exemplo, no artigo (GRAY, 1731-2d, p. 397) Gray utiliza um bolo de resina como base isolante para o garoto e um cilindro de vidro como base isolante para um aro de madeira.

<sup>12</sup>Du Fay (DU FAY, 1733-4, p. 261-2) relata que refez o experimento descrito por Gray no artigo (GRAY, 1731-2c, p. 39), no qual Gray pendurava um garoto em linhas isolantes\*. Inicialmente, Du Fay suspende uma criança em linhas de seda, depois suspende a si próprio nas linhas. Com este experimento, verificou que quando uma pessoa se aproximava dele enquanto estava pendurado nas linhas e eletrizado pelo tubo de vidro atritado, havia emissão de faíscas e estalos. No entanto, não havia tal emissão se um pedaço de madeira, tecido ou qualquer outro material, que não fosse um corpo vivo, fosse aproximado da pessoa suspensa nas linhas, mas a emissão ocorria se fosse aproximado um metal da pessoa pendurada.

Du Fay também descreve uma outra observação interessante que Gray não havia verificado. Quando suspenso nas linhas de seda e eletrizado pelo tubo, se ele segurasse em uma de suas mãos uma tábua, ou um suporte, com lâminas de ouro em cima, nem a sua outra mão ou a face atraíram as lâminas. No entanto, se outra pessoa aproximasse a mão ou a face das lâminas metálicas, ela as atrairia. Uma explicação “moderna” para isto é que as lâminas sobre a tábua estavam sob o mesmo potencial elétrico a que Du Fay estava submetido, portanto não eram atraídas por ele próprio, mas eram atraídas por outra pessoa. (DU FAY, 1733-4, p. 261);(BOSS; CALUZI, 2007, p. 639 e 642).

\* O experimento mencionado pode ser visto à página 166 desta tese. No texto (GRAY, 1731-2d) (ver a seção 9.1.1 na página 249 desta tese) Gray também reporta experimentos feitos com garotos pendurados em linhas. A Figura 174 ilustra o experimento.

<sup>13</sup>A impressão que temos é que Gray, a partir dos experimentos relatados por Du Fay, teve a ideia de que ao suspender um metal em linhas isolantes ele emitiria faíscas e estalos como o corpo humano, quando eletrizado.

tornado elétrico pelo [aproximação do] tubo [de vidro eletrizado] e a mão de qualquer um foi colocada próxima a ele [isto é, próxima ao metal], encontrei [que o experimento] ocorreu de acordo [com o que disse acima].<sup>14</sup> Iniciei com alguns utensílios comuns que estavam à mão, tais como: atizador de brasas de ferro (*iron poker*), pinça de lareira (*tongs*) e pá de lareira (*fire-shovel*). Qualquer um destes [objetos] sendo suspenso nas linhas de seda de costura mais espessas, e [p. 18] o tubo excitado sendo aplicado inicialmente no punho do atizador e em seguida a mão [sendo aproximada dele], houve o estalo e senti [a] picada, como esperado.<sup>15;16</sup> O efeito foi o mesmo quando o tubo foi primeiro aplicado na outra extremidade do atizador. Eu tinha comigo um instrumento de ferro de três pontas, que foi feito há muitos anos atrás. Ele foi projetado para sustentar a mesa do observatório, quando observei as manchas no Sol.<sup>17</sup> As pontas tinham cerca de meia polegada [1,2 cm] de diâmetro, duas delas tinham cerca de 22 polegadas [56 cm] e a terceira tinha cerca de 8 polegadas [20,3 cm] de comprimento, elas eram afiadas em direção às extremidades e pontiagudas. Este [instrumento] era colocado sobre cilindros de vidro, pedaços de resina e cera de abelha, ou sobre um pedaço de enxofre. O tubo sendo aplicado à extremidade de qualquer uma das pernas, a mão ou a face sendo aplicada próxima a outra [ponta], ambas as outras pernas tinham o mesmo efeito como aquela na qual o tubo havia sido aplicado.<sup>18</sup> Mas, colocando meu rosto próximo a qualquer uma das pontas das pernas, a picada ou a dor de queimadura foi sentida muito mais sensivelmente, e algumas vezes foi sentida por vários minutos depois. Não estava tão curioso naquele momento em fazer o experimento no escuro, [de forma] que pudesse ver a luz proceder do ferro, não pensando que a eletricidade comunicada para os metais produziria fenômenos tão surpreendentes, como serão descritos a seguir pelos relatos dos experimentos.

1. Agora, farei alguns relatos dos experimentos que fizemos [na casa] do Sr. Wheler.

<sup>14</sup>Isto é, havia emissão de faíscas entre o metal e a mão de uma pessoa que se aproximava do metal, havendo também a produção de estalidos.

<sup>15</sup>A ilustração de uma possível conformação deste experimento pode ser vista nas Figuras 175 e 176.

<sup>16</sup>O atizador de brasas é metálico e, portanto, possui *cargas livres*. Quando o tubo de vidro eletrizado positivamente é colocado próximo a ele, há a polarização das suas cargas livres. Com isso, a região mais próxima do tubo fica carregada negativamente, e a mais distante positivamente. Na medida em que a mão se aproxima da ponta carregada positivamente há uma descarga elétrica entre a mão e atizador. Uma vez que ocorra a descarga elétrica, a região do atizador próxima ao tubo eletrizado continua carregada com cargas negativas enquanto o tubo permanecer ali perto, mas na região oposta, onde houve efetivamente a transferência de cargas, passa a ficar neutra eletricamente. Uma discussão sobre esta questão pode ser vista em (ASSIS, 2010, p. 203-5).

<sup>17</sup>Como já discutido nesta tese, a primeira área de pesquisa em que Gray trabalhou foi a astronomia. Ele realizou observações de eclipses do Sol e da Lua, de eclipses dos satélites de Júpiter, e de manchas solares (CHIPMAN, 1958, p. 425).

<sup>18</sup>A ilustração de uma possível conformação deste experimento pode ser vista na Figura 177. Como Gray não reporta detalhes sobre o instrumento metálico e sobre a disposição do experimento, apresentamos apenas uma possibilidade.

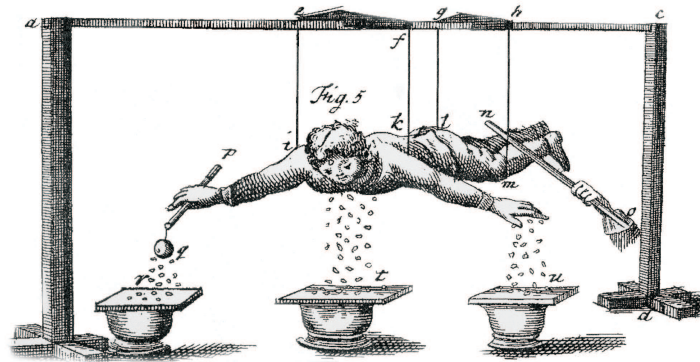


Figura 174: Ilustração dos experimentos de Gray com o garoto suspenso em linhas muito finas. Um tubo de vidro atritado é mantido próximo às suas pernas. As mãos e o rosto do garoto atraem lâminas de latão. Figura extraída de (DOPPELMAYR, 1774), também disponível em (HEILBRON, 1979, p. 247).

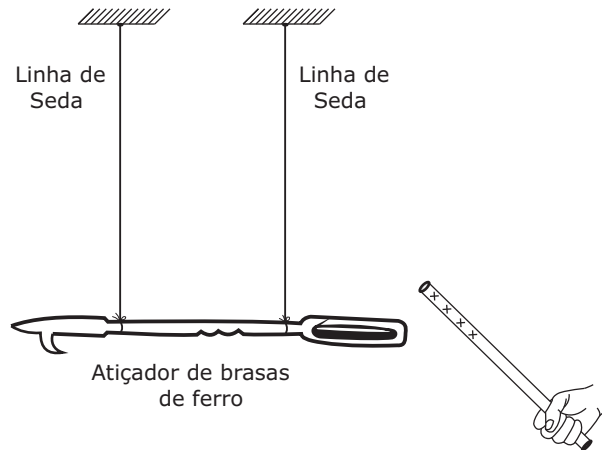


Figura 175: Atiçador de brasas de ferro pendurado em linhas isolantes com o tubo eletrizado sendo aproximado do punho do atiçador.

Começarei com o sucesso que obtivemos em repetir o experimento do Sr. Dufay. O Sr. Wheler, logo após a minha chegada [em sua casa], conseguiu linhas de seda fortes o suficiente para sustentar o peso de seu jovem criado (*footboy*), um bom rapaz robusto. Então, tendo suspenso-o nas linhas, o tubo sendo [p. 19] aplicado nos seus pés ou mãos, e o dedo de qualquer um que estivesse em pé colocado próximo às suas mãos ou face, ele<sup>19</sup> encontrava-se picado ou queimado, como se fosse por uma faísca de fogo, [tal] como o Sr. Dufay havia relatado, e o estalido foi ouvido ao mesmo tempo. Mas isso não aconteceu conosco quando aplicamos nossas mãos a qualquer parte do seu corpo através das suas roupas, exceto sobre suas pernas, quando ele sentia a dor através de suas meias,

<sup>19</sup>Provavelmente Gray se refere à pessoa que está em pé com sua mão próxima ao garoto suspenso. O mesmo efeito é sentido pelo garoto suspenso. Isto foi afirmado explicitamente por Du Fay. (DU FAY, 1733-4, p. 261);(BOSS; CALUZI, 2007, p. 642).



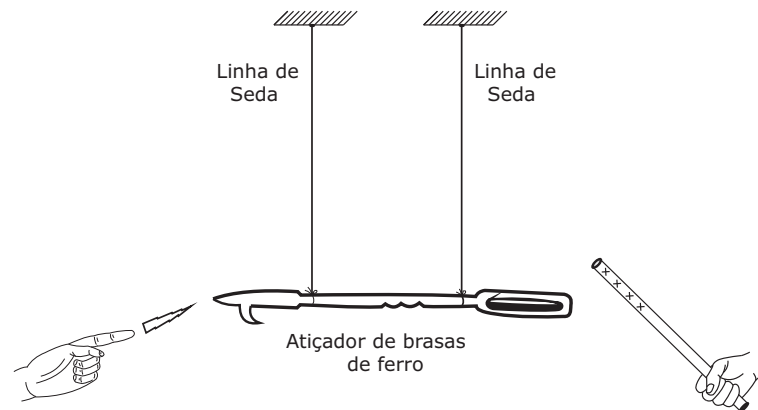
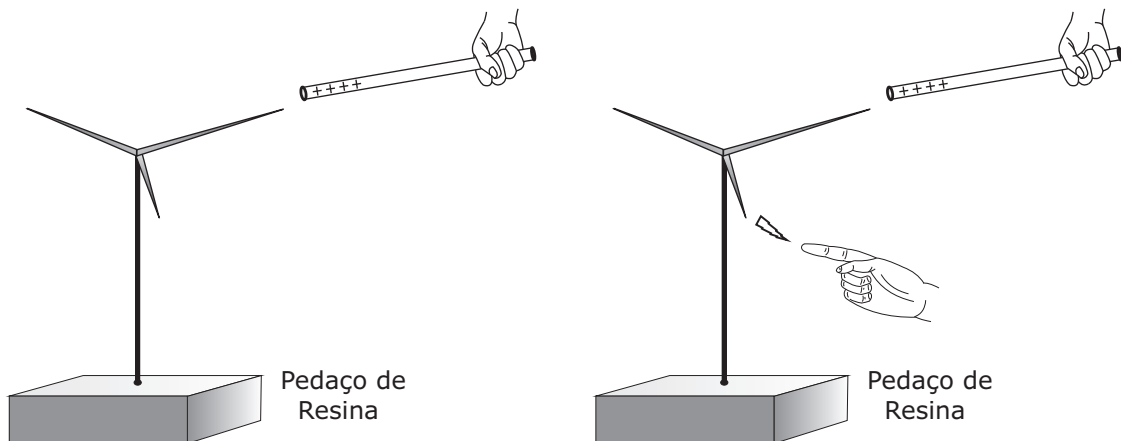


Figura 176: O tubo eletrizado é mantido próximo ao punho do atizador. Quando uma mão é aproximada da ponta do atizador, surgem faíscas e estalidos entre a mão e a ponta.



(a) Instrumento metálico de três pontas sobre objeto isolante com o tubo eletrizado próximo a uma das pontas.

(b) O tubo eletrizado permanece próximo a uma das pontas do instrumento. Ao aproximar uma mão de uma das outras pontas, surge uma faísca entre esta ponta e a mão.

Figura 177: Instrumento metálico de três pontas sobre objeto isolante com o tubo eletrizado e a mão próximos das pontas.

embora elas fossem muito grossas.<sup>20</sup>

2. Estávamos ansiosos para realizar o experimento em outras espécies de animais. [Então,] pegamos um grande galo branco e o suspendemos nas linhas [de seda] inicialmente vivo. [Após a aplicação do tubo eletrizado] os efeitos foram os mesmos que ocorreram com o garoto, quer aproximássemos nossos dedos a qualquer parte do seu corpo, ou nossa face de seu bico, crista ou garra. Em seguida, o galo foi morto e colocado sobre as linhas novamente. Encontramos muito pouca, se alguma, diferença do efeito que tinha sobre nós quando o galo estava vivo. Então, deparamos o galo, e a diferença para o que já foi dito antes não foi muito grande.

<sup>20</sup>Em seu artigo Du Fay reporta que as picadas eram tão perceptíveis sobre a pele nua quanto com roupa. (DU FAY, 1733-4, p. 261-2);(BOSS; CALUZI, 2007, p. 642).

3. Pegamos um grande lombo de carne bovina, o qual veio de um boi que tinha sido morto dois dias antes, e o suspendemos nas linhas de seda. Então, [após a aplicação do tubo eletrizado], os dedos [foram] colocados próximos a qualquer parte dele, houve um estalo e os dedos foram empurrados ou picados. Mas, penso que o estalo não foi tão alto como quando o experimento foi feito com o galo.

4. Providenciamos para que fosse feita uma vara de ferro que tinha 4 pés [1,2 m] de comprimento e cerca de meia polegada [1,3 cm] de diâmetro, pontiaguda em cada extremidade mas não afiada, sendo deixada com o tamanho da cabeça de um pino, e esta [vara] sendo suspensa nas linhas [de seda isolantes]. Então, o tubo foi atritado e mantido próximo de uma extremidade da [p. 20] vara, e depois o dedo ou a face foi colocada próxima a qualquer uma das extremidades da vara.<sup>21</sup> O efeito foi o mesmo como quando um animal foi suspenso nas linhas, com relação à dor da picada que sentimos.

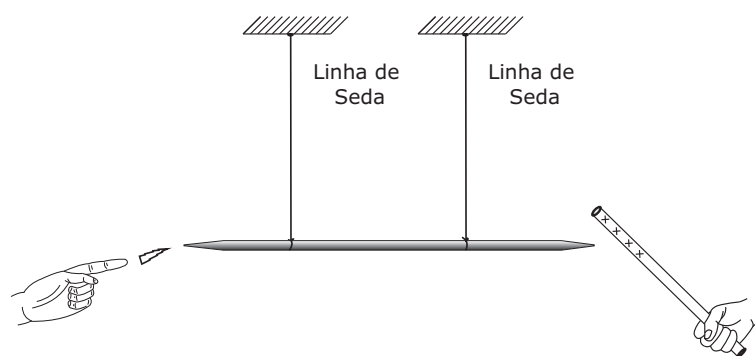


Figura 178: Vara de ferro dependurada em linhas de seda. À direita o tubo eletrizado próximo à uma das pontas da vara. Quando se aproxima um dedo da outra ponta, surge uma faísca entre esta ponta e o dedo.

5. À noite, fizemos a parte luminosa do experimento, suspendendo a vara de ferro nas linhas de seda. Então, aplicando uma das extremidades do tubo [de vidro eletrizado] a uma das extremidades da vara, não apenas esta extremidade tinha luz sobre ela, mas ao mesmo tempo procedia uma luz da outra extremidade,<sup>22</sup> estendendo em forma de cone, cujo vértice era a extremidade da vara. Pudemos ver claramente que ela [a luz] consistia de linhas, ou raios de luz, divergindo a partir da ponta da vara, e os raios exteriores sendo encurvados.<sup>23</sup> Esta luz era acompanhada de um pequeno assobio (*hissing noise*).<sup>24</sup> Toda pancada que damos no tubo faz com que a luz apareça. O assobio parece começar naquela

<sup>21</sup>A ilustração de uma possível conformação deste experimento pode ser vista na Figura 178.

<sup>22</sup>Supomos que a luz aparecia nas pontas da vara metálica quando algo era aproximado a ela, *e.g.*, uma mão, após a aplicação do tubo eletrizado.

<sup>23</sup>Talvez essa descrição de Gray se refira a raios semelhantes àqueles emitidos por geradores de Van der Graaff ou por bobinas de Tesla durante a descarga elétrica, que ocorreriam entre a vara metálica eletrizada e a mão próxima a ela.

<sup>24</sup>A ilustração de uma possível conformação deste experimento pode ser vista na Figura 179.

extremidade da vara próxima ao tubo, aumentando sua intensidade desde [o momento] em que surge, mas é tão baixo que não é ouvido sem boa atenção, e apenas por aqueles que estão em pé na extremidade da vara de onde a luz mencionada procede.

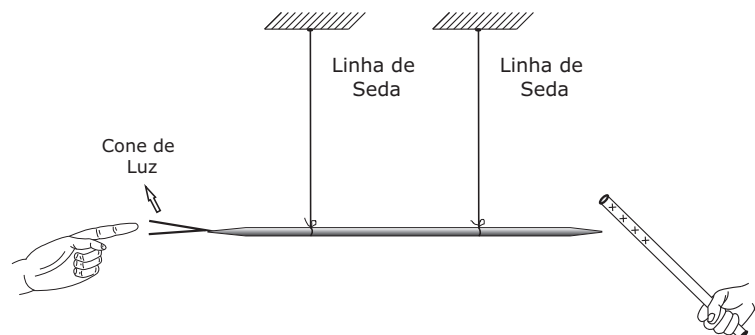


Figura 179: Vara de ferro dependurada em linhas de seda, com um tubo de vidro eletrizado próximo a uma de suas pontas. À esquerda temos a mão próxima à outra ponta da vara, com os raios divergindo a partir da extremidade em forma de cone.

Como o Sr. Godfrey estava ansioso para ver estes experimentos, os repeti, colocando uma vara de ferro sobre um pedaço de goma-laca (*shell-lake*), que foi colocado sobre um recipiente de vidro.<sup>25</sup> Mas como os efeitos foram os mesmos que aqueles mencionados anteriormente, não preciso mencionar qualquer outra particularidade.

1. Agora, farei alguns relatos dos experimentos que tenho realizado desde o meu retorno a Londres, que ocorreu no último mês de setembro. Providenciei para que fossem feitas três varas de ferro, uma de quatro pés [1,2 m] de comprimento, e duas com três pés [90 cm] de comprimento cada. Uma delas foi feita [de forma que] se afilava em direção às extremidades e pontiaguda, como era aquela de quatro pés [1,2 m]. [p. 21] A outra [vara era] pontiaguda [apenas] em uma extremidade, [sendo que] a outra extremidade não era pontiaguda. O diâmetro das varas tinha aproximadamente meia polegada [1,3 cm]. Elas foram inicialmente forjadas, então [foram] limadas e polidas. Com estas [varas] fiz os experimentos a seguir. Quando qualquer uma delas foi colocada sobre a borda de um cilindro de vidro oco bem aquecido, ou sobre pedaços de resina e cera de abelha, ou sobre aqueles [pedaços] de enxofre, o fenômeno foi o mesmo como ocorreu quando tinham sido suspensas nas linhas de seda.<sup>26</sup> Mas, agora descobri outra coisa muito surpreendente, a saber, que depois que o tubo foi aplicado e a luz vista em ambas as extremidades, na minha ida para a outra extremidade da vara, quando não havia luz para ser vista, em colocando

<sup>25</sup>A ideia de colocar a vara metálica sobre um pedaço de goma-laca e de vidro é para deixá-la isolada eletricamente. Este isolamento foi obtido nos experimentos anteriores suspendendo-a em linhas de seda.

<sup>26</sup>Aqui Gray coloca de forma explícita que suspender um objeto nas linhas de seda ou apoiá-lo sobre qualquer material isolante gera os mesmos resultados nos experimentos. Como dissemos há pouco, a função da suspensão em linhas de seda e do apoio em materiais isolantes é a mesma, ou seja, isolar eletricamente as varas metálicas.

minha mão a alguma distância dela, e depois movendo minha mão em direção a ela com um movimento muito rápido, lançou-se da ponta da vara um cone de luz, como quando o tubo tinha sido aplicado na outra extremidade.<sup>27</sup> E ao repetir esse movimento da minha mão, o mesmo fenômeno apareceu por cinco ou seis vezes sucessivamente, apenas os raios foram cada vez menores do que o outro [anterior]. Estas luzes também são acompanhadas de um assobio. Aquela luz que aparece na extremidade próxima ao tubo, quando ele é colocado obliquamente ao eixo da vara, tem seus raios tendendo em direção a ele.<sup>28</sup> Todas as vezes em que estou atritando o tubo, estes flashes de luz aparecem em todos os movimentos da minha mão, para cima ou para baixo do tubo, mas os maiores flashes são produzidos pelo movimento da minha mão indo para baixo.

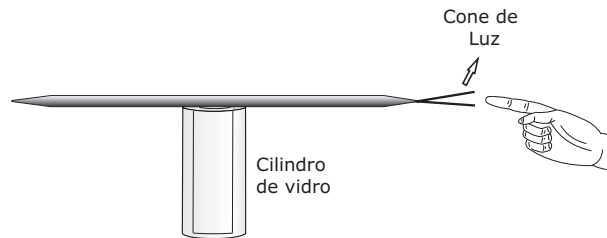


Figura 180: Vara de ferro sobre um cilindro de vidro. À direita a mão próxima à ponta da vara eletrizada e os raios em forma de cone.

2. Quando duas ou três varas são colocadas em linha reta, ou fazendo qualquer ângulo uma com a outra, ou se tocando, ou estando a uma pequena distância uma da outra, o tubo sendo aplicado em uma das extremidades delas, a extremidade mais distante da vara mais afastada exhibe os mesmos fenômenos como [se fosse] uma única [vara].<sup>29</sup>

[p. 22] 3. [Relato de] um experimento com a vara que era pontiaguda em apenas uma de suas extremidades. Quando o tubo é aplicado na outra extremidade da vara [*i.e.*, na extremidade que não é pontiaguda], a ponta dá a mesma aparência e igual efeito que as varas que são pontiagudas em cada extremidade. Mas a grande extremidade da vara [*i.e.*, aquela que não é pontiaguda], quando a mão ou a face é aplicada próximo a ela, dá um único estalo. No entanto, este [estalo] é muito mais alto do que o maior daqueles que partem da ponta da vara, e se sente um pouco mais de dor por ele.

4. Providenciei para que uma bola de ferro fosse forjada e, em seguida, fosse girada e polida. Ela tinha duas polegadas [5 cm] de diâmetro, foi colocada sobre um suporte de madeira que tinha uma pequena concavidade na parte superior, na qual a bola foi

<sup>27</sup>A ilustração de uma possível conformação deste experimento pode ser vista na Figura 180.

<sup>28</sup>Isto é, os raios parecem partir da extremidade da vara metálica, indo em direção ao tubo de vidro eletrizado.

<sup>29</sup>A ilustração de uma possível conformação deste experimento pode ser vista na Figura 181.

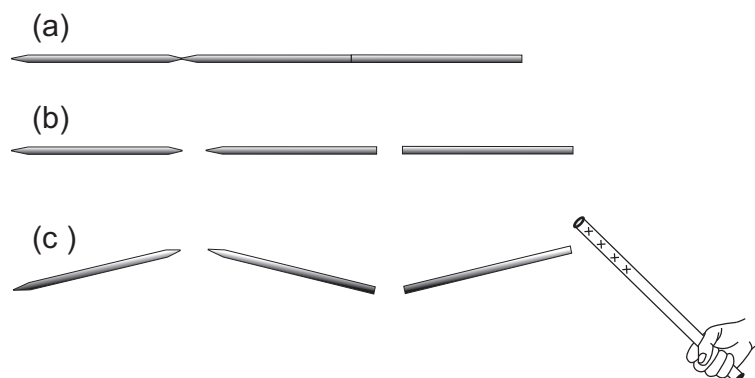


Figura 181: (a) Varas colocadas em linha reta tocando uma na outra. (b) Varas colocadas em linha reta a uma pequena distância uma da outra. (c) Varas colocadas fazendo um ângulo uma com a outra e com uma pequena distância entre elas. À direita o tubo de vidro eletrizado próximo às varas da sequência (c). É importante destacar que na figura não constam as linhas ou suportes de material isolante, mas as varas no experimento deveriam estar sobre algum deles.

colocada. O suporte foi colocado sobre um vidro cilíndrico, depois o tubo excitado foi aplicado próximo à bola, [com isso] procedeu uma corrente (*stream*) de luz a partir dela, com um pequeno assobio. Então, colocando meu dedo ou face próxima à bola, não houve estalo, nem qualquer dor foi sentida, apesar disso apareceu uma luz muito brilhante.<sup>30</sup>

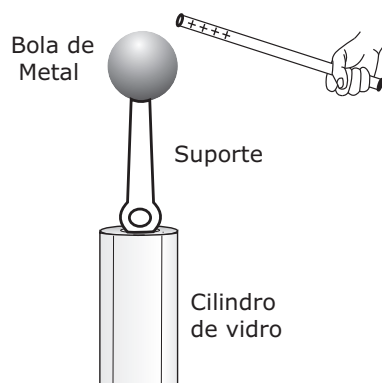


Figura 182: Cilindro de vidro, suporte de madeira, bola de ferro e tubo eletrizado sendo aplicado próximo à bola.

5. A vara de quatro pés [1,2 m] de comprimento foi colocada sobre um suporte que tinha um braço cruzado com um encaixe nele para recebê-la. Então, sendo o suporte colocado sobre o cilindro de vidro, eles foram colocados a tal distância que uma das pontas da vara pudesse apenas tocar a bola sobre o seu centro.<sup>31</sup> Então, indo para a outra extremidade da vara com o tubo preparado e aplicando-o como de costume, quando fui para a bola e aproximei a mão ou a face dela, houve um forte estalo, comparado com

<sup>30</sup>A ilustração de uma possível conformação deste experimento pode ser vista na Figura 182.

<sup>31</sup>A ilustração de uma possível conformação deste experimento pode ser vista na Figura 183. Vale destacar que como o texto não traz detalhes sobre o *suporte com braço*, a Figura 183 apresenta apenas uma representação dele.

aqueles feitos pelas pontas das varas, e a dor da picada ou queimadura foi sentida mais fortemente; a luz também foi mais brilhante e mais contraída. Então, coloquei a vara com sua ponta a [p. 23] uma polegada [2,54 cm] de distância da bola, e apliquei o *tubo*<sup>32</sup> como antes. Fui para a bola e toquei-a com minha mão ou dedo. [Então] apareceu não apenas uma luz na bola, mas também procedeu uma escova (*brush*) de luz a partir da ponta da vara, da mesma maneira como quando os experimentos tinham sido feitos apenas com as varas.<sup>33</sup>

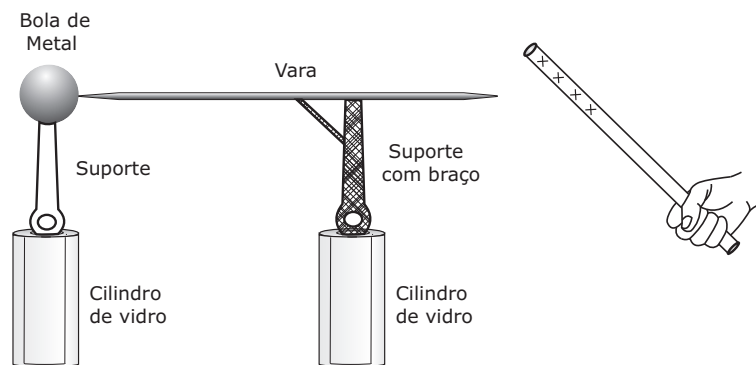


Figura 183: À esquerda da figura está o cilindro de vidro, suporte de madeira e a bola de ferro. À direita encontra-se o suporte com braço cruzado, a vara metálica apoiada no suporte e o tubo eletrizado sendo aplicado na ponta da vara.

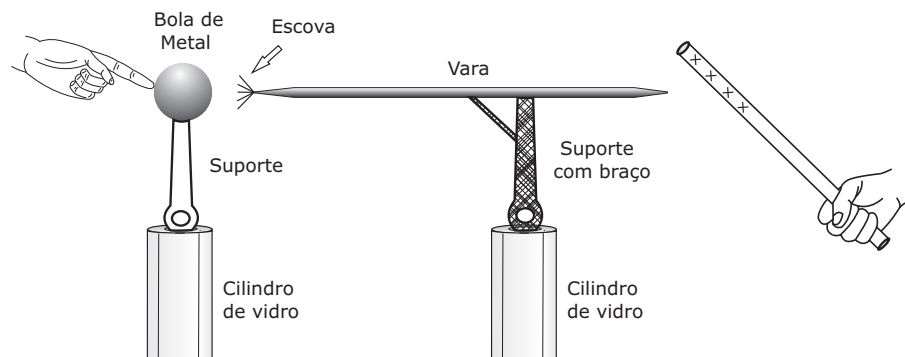


Figura 184: À esquerda da figura está o cilindro de vidro, suporte de madeira, a bola de ferro e a mão encostada na bola. À direita encontra-se o suporte com braço cruzado, a vara metálica apoiada no suporte, e o tubo eletrizado próximo à vara.

6. [Relato de] um experimento feito com a vara de quatro pés [1,2 m] [de comprimento] e [com] uma placa de latão (*brass plate*)<sup>34</sup> de quatro pés quadrados.<sup>35</sup> Esta placa foi colocada sobre um suporte, de tal forma que ficasse perpendicular,<sup>36</sup> [e] o suporte foi

<sup>32</sup>No original consta o termo *rod*, que estaria se referindo à vara de ferro. No entanto, acreditamos que este seja um lapso na descrição da experiência. Provavelmente Gray estava se referindo ao tubo de vidro eletrizado. Por este motivo colocamos a palavra *tubo* em nossa tradução.

<sup>33</sup>A ilustração de uma possível conformação deste experimento pode ser vista na Figura 184.

<sup>34</sup>Neste parágrafo o termo *plate* será traduzido como placa, pois o autor faz referência às supostas pontas desta *plate*.

<sup>35</sup>Isto é, cada lado da placa quadrada tinha um comprimento de 2 pés = 0,60 m. A área é então de 0,36 m<sup>2</sup>.

<sup>36</sup>Gray provavelmente quer dizer que a placa está na vertical.

colocado sobre o vidro cilíndrico. Então, a vara com seu suporte de vidro<sup>37</sup> foi colocada de tal forma que uma das pontas dela estivesse a cerca de uma polegada [2,54 cm] do centro da placa. Em seguida, o tubo foi aplicado à outra extremidade da vara.<sup>38</sup> Então, fui para a placa e golpeando-a suavemente com meu dedo na parte de trás, uma luz apareceu na placa, e ao mesmo tempo a escova de luz saiu da ponta da vara. Quando minha mão ou face foi colocada próxima à qualquer um dos cantos da placa, houve uma luz que saiu dali com um pequeno assobio, e a picada foi sentida como quando os experimentos foram feitos com as varas pontiagudas.

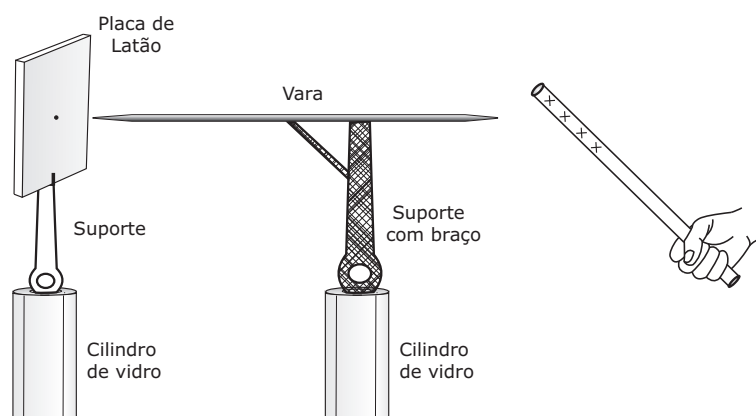


Figura 185: À esquerda da figura está o cilindro de vidro, suporte de madeira e placa de latão. À direita encontra-se o suporte com braço cruzado, a vara metálica apoiada no suporte e o tubo eletrizado.

7. Um prato de estanho (*pewter plate*)<sup>39</sup> foi colocado sobre o suporte, o qual tinha sido colocado sobre um cilindro de vidro. O tubo, inicialmente, e depois o dedo sendo aplicados,<sup>40</sup> [com isso] apareceu uma luz no prato e a extremidade do dedo foi empurrada. Quando a face foi colocada próxima à borda do prato, ouviu-se um estalo, mas não tão alto como quando as varas de ferro foram utilizadas. Então, enchi o prato com água e ao aplicar o tubo e o dedo como antes, houve a mesma luz, empurrão do dedo e estalo, como quando o experimento foi feito com o prato vazio. Quando o experimento é feito com água à luz do dia, ao aplicar [p. 24] a extremidade do dedo próxima da superfície da água, parece levantar um pequeno monte, e quando ocorre o estalo, ele cai novamente, colocando a água em movimento ondulatório próximo ao lugar onde a água havia levantado.<sup>41</sup>

8. Peguei um prato de madeira (*wooden dish*) e coloquei-o sobre o suporte, inicial-

<sup>37</sup>Provavelmente refere-se ao conjunto da vara, suporte e cilindro de vidro descrito no experimento anterior.

<sup>38</sup>A ilustração de uma possível conformação deste experimento pode ser vista na Figura 185.

<sup>39</sup>Neste parágrafo o termo *plate* será traduzido como prato, pois no experimento descrito aqui ele é enchido com água.

<sup>40</sup>Isto é, inicialmente aproximou-se o tubo de vidro eletrizado do prato de estanho. Mantendo o tubo próximo do prato, aproximou-se então um dedo de outra parte deste prato.

<sup>41</sup>A ilustração de uma possível conformação deste experimento pode ser vista na Figura 186.

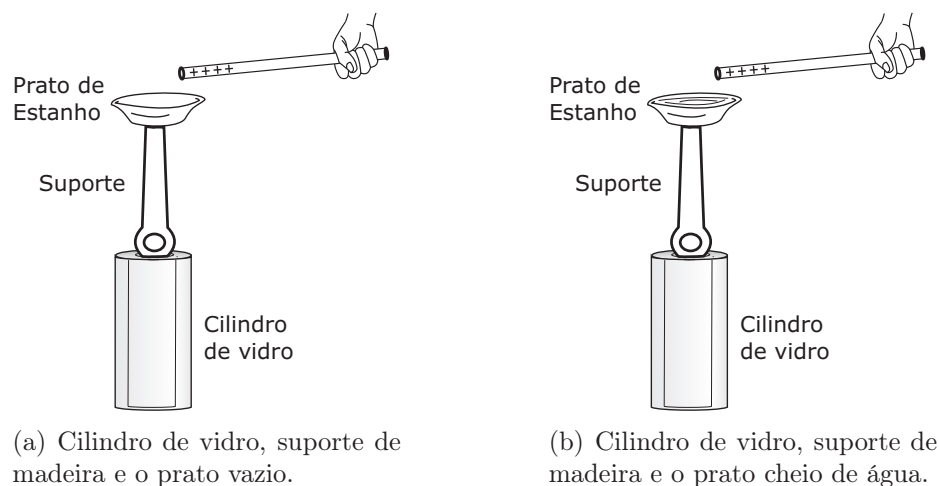


Figura 186: Cilindro de vidro, suporte de madeira e o prato.

mente vazio. Então, aplicando o tubo e o *dedo*<sup>42</sup> próximo ao prato, apareceu uma luz, mas não houve empurrão do dedo nem estalos. Depois, enchi o prato com água e ao colocar o tubo sobre a superfície da água, apareceu uma luz maior do que quando o dedo tinha sido aplicado ao prato vazio, mas não houve estalo.<sup>43</sup> [Porém,] ao colocar o tubo, depois de tê-lo atritado bem, à distância de duas ou três polegadas [5 ou 7,5 cm] do dedo que estava colocado próximo à superfície da água, então o dedo foi empurrado e o estalo escutado, como quando o experimento foi feito com o prato de estanho.<sup>44</sup>

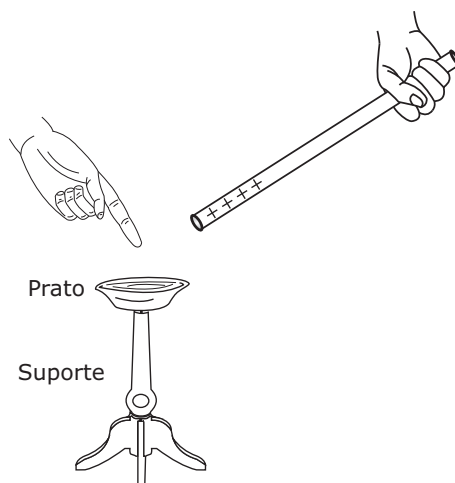


Figura 187: Um dedo está próximo da água do prato. Ao aproximar do dedo um tubo de vidro bem eletrizado, o dedo é empurrado e ouve-se um estalido.

Por estes experimentos vemos que podem ser produzidas pela comunicação da eletri-

<sup>42</sup>No original consta o termo *fin*-. Provavelmente é um lapso de redação, sendo provável que se refira a *finger*, dedo.

<sup>43</sup>A ilustração de uma possível conformação deste experimento pode ser vista na Figura 186 com a substituição do *prato de estanho* por um de *madeira*.

<sup>44</sup>A ilustração de uma possível conformação deste experimento pode ser vista na Figura 187.



cidade uma chama real de fogo, juntamente com uma explosão e uma ebulição da água fria.<sup>45</sup> Embora estes efeitos estejam presentes, mas em *minimis* [isto é, com uma intensidade muito pequena], é possível que no tempo certo possa ser encontrado um meio de coletar uma grande quantidade dele. Conseqüentemente, [será então possível] aumentar a força (*force*) desse fogo elétrico,<sup>46</sup> o qual, por meio de vários outros experimentos (*Si licet magnis componere parva*)<sup>47</sup> parece ser da mesma natureza do trovão e do raio.<sup>48</sup>

*O mais obediente e humilde servidor do Senhor e da Sociedade.*

**Stephen Gray.**

---

<sup>45</sup>A *chama* provavelmente refere-se à faísca ou luz emitida pelos objetos, a *explosão* refere-se aos estalidos, e a *ebulição da água fria* provavelmente refere-se às gotículas de água que se depositam no tubo eletrizado quando colocado próximo à superfície da água.

<sup>46</sup>Experiências realizadas posteriormente com a garrafa de Leiden confirmaram estas previsões de Gray. Foi então possível não apenas armazenar a eletricidade, mas aumentar bastante os efeitos observados nas descargas elétricas.

<sup>47</sup>Esta é uma citação de um poema de Virgílio. Tradução: Se for permitido comparar as coisas pequenas às grandes.

<sup>48</sup>Esta sugestão de Gray de que o raio e o trovão seriam fenômenos elétricos análogos às faíscas e estalidos que observou, mas com intensidade muito maior, foi depois confirmada pelas experiências da década de 1750, realizadas após os trabalhos de Benjamin Franklin (1706-1790).

## 10.2 Experimentos

### 10.2.1 Introdução

Nesta seção apresentamos a reconstrução de alguns experimentos descritos por Gray que evidenciam a eletrização sem contato físico ou toque entre o objeto eletrizado (*i.e.*, indutor) e aquele a ser carregado ou polarizado eletricamente. Em geral, utilizamos um tubo de PVC eletrizado por meio de atrito com poliamida como indutor. Um fator relevante nos experimentos a seguir é que os corpos a serem eletrizados pelo indutor sempre estarão isolados eletricamente da Terra, seja por meio de fios isolantes (*i.e.*, de seda ou de poliamida) ou por meio de uma base de isopor. Ou seja, o isolamento dos corpos é condição *sine qua non* para que possamos evidenciar os fenômenos descritos. Outro ponto importante é que o tubo eletrizado é sempre colocado próximo a uma das extremidade das *barras metálicas*<sup>49</sup> e *sem tocá-las*. Como já dissemos, nestes experimentos a eletrização ocorre a partir da aproximação do indutor (*i.e.*, o tubo eletrizado) sem que haja contato físico ou toque com o corpo isolado. Do ponto de vista da “física atual”, isso ocorre porque na medida em que o tubo atritado é aproximado da extremidade de uma barra de ferro isolada eletricamente, a barra fica polarizada eletricamente. A extremidade da barra mais próxima ao tubo fica eletrizada com cargas de sinal oposto ao tubo, enquanto que a extremidade mais afastada fica eletrizada com cargas de mesmo sinal que o tubo. A partir de uma certa distância entre o tubo e o objeto, ocorre uma descarga elétrica entre eles, o que faz com que o objeto isolado fique carregado eletricamente, com carga líquida diferente de zero, de mesmo sinal que a carga do indutor. Algumas vezes, em nossos experimentos, ao aproximarmos o tubo atritado da extremidade das varas, foi possível escutar estalidos, o que evidencia a ocorrência da descarga elétrica. Havendo estalidos ou não, é possível verificar a eletrização dos objetos isolados por meio da aproximação de uma *linha pendular*, como será feito a seguir nos experimentos.

No texto (GRAY, 1735-6b, p. 16-24) são descritos alguns experimentos sobre a eletrização, por descarga elétrica, de barras metálicas suspensas ou apoiadas em materiais isolantes. Alguns desses experimentos também evidenciam o fenômeno físico conhecido como *poder das pontas*. Cabe destacar que no artigo original há relatos de que ao aproximar um tubo de vidro eletrizado de uma barra metálica isolada eletricamente, havia a emissão de luz (*i.e.*, faíscas) e de estalidos. Nos experimentos que realizamos não foi possível obter a emissão de faíscas, apenas dos estalidos. Isso pode estar relacionado com

---

<sup>49</sup>Também chamadas de “*varas metálicas*” ao longo do texto.

o quão eletrizado estava nosso tubo de PVC atritado com poliamida, de tal forma que a eletrização obtida não foi suficiente para evidenciar a emissão das faíscas.

Antes de iniciar a descrição dos experimentos reproduzidos iremos apresentar e discutir um experimento bastante interessante que evidencia o referido fenômeno do *poder das pontas*. Para a construção deste experimento nos baseamos em Gaspar (2005, p. 239, Experiência 63 - O poder das pontas) e em (RIPE, 1990, Experimento - O Para-Raios (a Igrejinha)).

### Experimento 10.1 *O poder das pontas*

✓ MATERIAIS UTILIZADOS	
⇒ Tubo de PVC	⇒ Canudos de refresco
⇒ Poliamida	⇒ Papel de seda
⇒ Cartolina ou papel cartão	⇒ Agulha ou alfinete
⇒ Fita adesiva e cola	⇒ Suporte com base de gesso

Inicialmente, recorte a cartolina (ou papel cartão) no formato de *casinha* como indica a Figura 188.

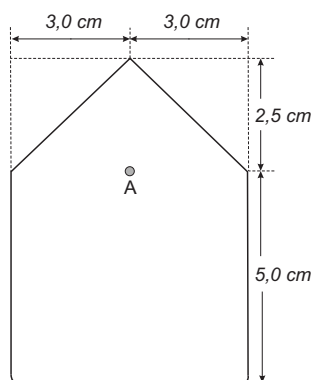
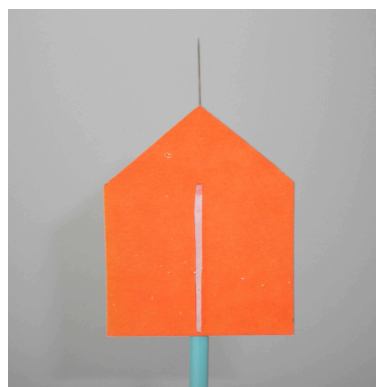


Figura 188: Medidas para a “casinha” de cartolina. Extraída de Gaspar (2005, p. 240).

Cole uma tirinha de papel de seda de cerca de 4 cm de comprimento por 3 mm de largura (*e.g.*, aquelas de embalar bala de coco) no ponto “A” da Figura 188. Na região onde seria a ponta do telhado, fixe uma agulha de costura (ou um alfinete) com fita adesiva. Agora, prenda o conjunto em um canudo de refresco por meio de fita adesiva



(a) A Figura apresenta o instrumento elétrico em forma de “casinha” com haste metálica na extremidade superior, tirinha de papel de seda ao centro e canudinho de refresco preso a um suporte com base de gesso.



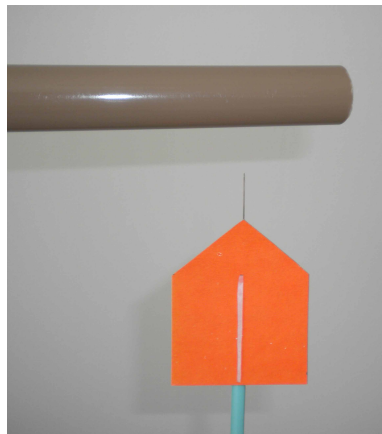
(b) A Figura apresenta em detalhe o instrumento elétrico em forma de “casinha” com haste metálica na extremidade superior, tirinha de papel de seda ao centro e canudinho de refresco para o suporte.

Figura 189: Instrumento elétrico para discussão do *poder das pontas*.

na parte de trás do recorte de cartolina. Fixe o canudo no suporte com base de gesso. (GASPAR, 2005, p. 239-40). A Figura 189 ilustra o instrumento depois de montado.

Para realizar o experimento, o tubo de PVC ou canudinho de refresco eletrizado deve ser aproximado da ponta da agulha, sem encostar. Para isso, posicione o tubo eletrizado (ou canudo) a uma certa distância acima da ponta da agulha, cerca de 5 cm. Então, inicie um movimento para baixo aproximando lentamente o tubo da ponta da agulha e observe a tirinha. A partir de uma certa distância, a tirinha de papel de seda começará a levantar. Neste momento, pare o movimento do objeto indutor até que a tirinha acabe de se levantar, ver a Figura 190. Depois que o objeto indutor permaneceu próximo à agulha por alguns segundos, é possível retirá-lo para longe, sendo que mesmo assim a tirinha continuará levantada. Isto mostra que a casinha ficou eletrizada, tendo uma carga resultante diferente de zero.

É importante que o tubo ou canudo indutor esteja bem eletrizado. (GASPAR, 2005, p. 241). Este experimento ilustra uma propriedade física chamada de *poder das pontas*. A aproximação do indutor à ponta da agulha polariza eletricamente o instrumento por indução, gerando uma concentração de cargas opostas a do indutor, bastante grande na região da ponta. Essa quantidade de cargas concentradas em uma região facilita a descarga elétrica entre o indutor e a “casinha”. (GASPAR, 2005, p. 242).



(a) Tubo de PVC próximo à ponta da haste metálica.



(b) Tubo de PVC próximo à ponta da haste metálica e a tira de papel de seda levantada devido à ação do tubo.

Figura 190: Aproximação do indutor ao instrumento.

## 10.2.2 Experimentos com Materiais Acessíveis

### Experimento 10.2 *Eletrização de uma barra metálica isolada eletricamente*

#### ✓ MATERIAIS UTILIZADOS

- |                             |                   |
|-----------------------------|-------------------|
| ⇒ Tubo de PVC               | ⇒ Barra metálica  |
| ⇒ Poliamida                 | ⇒ Bases de isopor |
| ⇒ Linha pendular de algodão | ⇒ Prego           |

Às páginas 17 e 18 do artigo original (página 284 desta tese) Gray descreve um experimento em que uma barra metálica isolada é eletrizada por meio da aproximação de um tubo de vidro eletrizado. Para reproduzir estes experimentos, utilizamos duas barras metálicas de ferro (*i.e.*, vergalhão) de 50 cm, uma delas sem ponta afiada nas extremidades e a outra com uma das extremidades com a ponta afiada, e bases de isopor. As barras de ferro foram compradas em uma serralheria. Para realizar os experimentos, as barras foram apoiadas em bases de isopor e o tubo de PVC atritado com poliamida foi aproximado de uma das extremidades da vara. Inicialmente, realizamos um experimento com a barra sem ponta afiada, como ilustra a Figura 191.

Após atritar o tubo de PVC e aproximá-lo a uma das extremidades da barra (sem que houvesse contato entre eles), foi possível escutar um estalido. Este nem sempre ocorria na



Figura 191: Barra de ferro sem ponta afiada apoiada sobre uma base de isopor.

primeira aproximação do tubo, o qual deve estar bem eletrizado. Para verificar se a barra estava eletrizada, aproximamos uma linha pendular (*i.e.*, linha condutora de algodão presa a uma vareta de madeira), sendo que a mesma foi atraída, evidenciando que a peça de ferro estava carregada eletricamente.

Continuando o experimento, atritamos e aproximamos o tubo de PVC cerca de 4 ou 5 vezes de uma das extremidades da barra. Em quase todas as aproximações escutamos um estalido. A ideia com este procedimento é deixar a peça de ferro o mais eletrizada possível. Após esta sequência de aproximações do tubo atritado, colocamos o dedo indicador da mão próximo a uma das extremidades da barra. Algumas vezes foi possível escutar um estalido quando o dedo chegava bem próximo ao metal. Nos parece que este estalido ocorria com maior facilidade se o dedo fosse aproximado da quina da face da extremidade da vara. Cabe ressaltar que não havia uma distância fixa para a ocorrência do estalido ao aproximar o tubo eletrizado ou o dedo da mão à barra metálica, ela variava bastante e, algumas vezes, não houve estalido. Do ponto de vista da “física atual” é possível dizer que o estalido evidencia a ocorrência de uma *descarga elétrica* entre a vara de ferro e o tubo de PVC atritado, deixando a vara eletrizada. O leitor deve ficar atento a este fenômeno, pois ele será recorrente nos experimentos seguintes.

Um outro teste foi feito com a barra metálica que tem uma das extremidades afiada (*i.e.*, pontiaguda), como ilustra a Figura 192. À extremidade pontiaguda adaptamos a ponta de um prego, pois a extremidade da vara não veio da serralheria tão afiada quanto queríamos. Sendo assim, cortamos a ponta de um prego e fixamos em uma cavidade que fizemos na extremidade já afiada na serralheria.

O procedimento utilizado foi o mesmo do teste anterior, mas aqui o tubo era sempre aproximado das extremidades da vara metálica pela reta formada com o seu prolongamento, ficando o tubo e a barra ortogonais, como ilustra a Figura 193. Colocávamos o tubo a cerca de 20 cm da extremidade da vara e o aproximávamos lentamente. Notamos que ao aproximar o tubo de PVC eletrizado da extremidade com a ponta afiada, os estali-

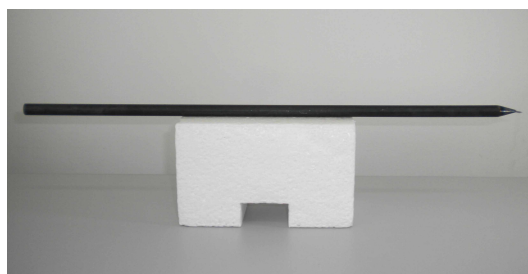


Figura 192: Barra de ferro com uma das pontas afiada apoiada sobre uma base de isopor.

dos eram diferentes daqueles emitidos pelas extremidades não-afiadas. Na medida em que o tubo era aproximado da extremidade pontiaguda ocorriam vários pequenos (*i.e.*, com som mais baixo) estalidos consecutivos, algo semelhante com o barulho emitido ao se rasgar um pedaço de pano, mas com volume bem menor. Por outro lado, quando o tubo era aproximado da extremidade não-pontiaguda, em geral, ocorria apenas um estalido mais alto, mais intenso do que aqueles que ocorriam na extremidade pontiaguda. Isso está de acordo com o que Gray reporta à página 22 (*item 3*) do artigo original (GRAY, 1735-6b, p. 16-24). Algumas vezes ocorreram dois estalidos ao aproximar o tubo da extremidade não-pontiaguda, mas o segundo tinha menor intensidade e o tubo de PVC eletrizado já estava praticamente encostado na vara de ferro.



Figura 193: Tubo de PVC sendo aproximado da barra de ferro de forma que fiquem ortogonais.

### Experimento 10.3 *Eletrização de duas barras metálicas separadas por certa distância*

#### ✓ MATERIAIS UTILIZADOS

- |                   |                             |
|-------------------|-----------------------------|
| ⇒ Tubo de PVC     | ⇒ Barras metálicas          |
| ⇒ Poliamida       | ⇒ Linha pendular de algodão |
| ⇒ Bases de isopor |                             |

À página 21 do artigo original (página 290 desta tese), no *item 2*, é descrito um experimento em que duas ou três barras metálicas isoladas eletricamente são colocadas a uma certa distância uma da outra e o tubo eletrizado é aplicado em uma das extremidades do conjunto. Para reconstruir este experimento, utilizamos duas barras metálicas de 50 cm colocadas em forma de “V” sobre bases de isopor, como ilustra a Figura 194.

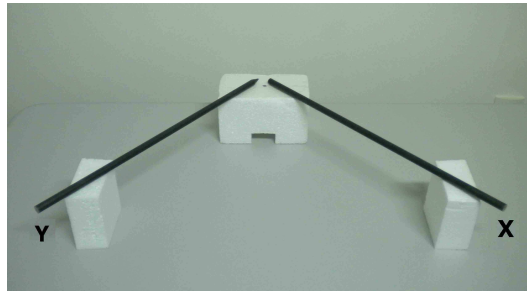


Figura 194: Duas barras metálicas de 50 cm colocadas em forma de “V” sobre bases de isopor.

Para realizar o experimento, um tubo de PVC atritado com poliamida foi aproximado cerca 4 ou 5 vezes da extremidade “X” da barra “A”, sendo que ocorreram estalidos na maioria das aproximações. Em seguida, uma linha pendular de algodão foi aproximada da extremidade “Y” da outra barra (B), sendo atraída e evidenciando a eletrização da mesma, apesar da distância entre elas. A barra “B” apresentou eletrização mesmo quando a vara “A” foi retirada de perto dela, após a aproximação do tubo atritado. Isto evidencia que para as distâncias que utilizamos entre as barras, cerca de 2 cm, houve descarga elétrica entre elas. Desta forma, a eletrização da vara “B” não foi apenas devido à indução elétrica de “A”.<sup>50</sup> Além da linha de algodão, em um outro teste aproximamos o dedo indicador da extremidade “Y” após aplicar o tubo cerca de 4 ou 5 vezes na extremidade “X” da barra “A”, sendo que algumas vezes ocorreram estalidos com a aproximação do dedo.<sup>51</sup> Cabe destacar que a distância máxima entre as barras metálicas para que ocorra o fenômeno descrito pode variar dependendo da eletrização do tubo e das peças de metal utilizadas.

## Experimento 10.4

<sup>50</sup>Apesar de a Figura 194 mostrar que as extremidades que estão próximas são, respectivamente, uma *pontiaguda* e outra *não-pontiaguda*, também fizemos os testes aproximando as duas extremidades *não-pontiagudas*, sendo encontrados os mesmos resultados.

<sup>51</sup>Estes estalidos devidos à aproximação do dedo não ocorriam sempre, e para isso atritávamos bastante o tubo antes de aplicá-lo. Para que houvesse os estalidos, foi necessário colocar o dedo bem próximo à extremidade da vara, e eles só ocorreram quando o dedo foi aproximado da extremidade *não-pontiaguda*.



### ✓ MATERIAIS UTILIZADOS

- |                             |                              |
|-----------------------------|------------------------------|
| ⇒ Tubo de PVC               | ⇒ Bola metálica              |
| ⇒ Poliamida                 | ⇒ Barra metálica             |
| ⇒ Linha pendular de algodão | ⇒ Bases de isopor            |
| ⇒ Suporte com base de gesso | ⇒ Anteparo de papel alumínio |
| ⇒ Cartolina                 | ⇒ Fita adesiva               |
| ⇒ Régua                     |                              |

À página 22 do artigo original (página 291 desta tese), no *item 4*, é descrito um experimento em que um bastão de vidro eletrizado é aproximado e eletriza uma bola metálica isolada eletricamente. Para reproduzir este experimento, utilizamos uma bola para engate de reboque de automóveis e bases de isopor. A bola foi comprada em uma loja de acessórios para automóveis e tem 5 cm de diâmetro, ver Figura 195.



Figura 195: Em detalhe a bola metálica de 5 cm de diâmetro.

A bola metálica foi fixada em uma base de isopor, na qual foi feito um furo para encaixar o parafuso da bola, como mostra a Figura 196. Para realizar o experimento, um tubo de PVC foi atritado com poliamida e aproximado da bola cerca de 4 ou 5 vezes. Desta forma, houve a emissão de estalidos e a bola metálica ficou eletrizada. Isso foi verificado com a aproximação de uma linha pendular de algodão, a qual foi atraída pela bola.

Em um outro teste, aproximamos o dedo indicador à bola, após ocorrer os estalidos devidos à aplicação do tubo de PVC eletrizado. Num primeiro teste, o tubo atritado foi aplicado cerca de 4 ou 5 vezes para que a bola ficasse mais eletrizada, então ele foi afastado e o dedo aproximado da bola. Neste caso, algumas vezes houve um pequeno (*i.e.*,



Figura 196: Tubo de PVC atritado sendo aproximado da bola de metal fixada em uma base de isopor.

baixo) estalido quando o dedo estava muito próximo à bola (*i.e.*, menos do que 0,5 cm). Num segundo teste, eletrizamos o tubo e o aproximamos da bola metálica, mantendo-o a cerca de 1 cm (ou um pouco menos) dela. Então, o dedo foi aproximado da bola pelo lado oposto ao tubo. Neste caso houve um estalido mais forte (*i.e.*, alto) e ele ocorreu com o dedo mais distante da bola do que no teste anterior.

À página 22 do artigo original (página 291 desta tese), no *item 5*, é descrito um experimento em que uma barra metálica isolada eletricamente é colocada próxima a uma bola metálica também isolada e o tubo aplicado na extremidade da barra. Para a reprodução deste experimento, utilizamos a bola de metal do experimento anterior e uma barra de ferro de 50 cm, tal como ilustra a Figura 197.



Figura 197: À esquerda está a bola metálica sobre uma base de isopor, e à direita uma barra de ferro sobre uma base de isopor. Embaixo da base de isopor que suporta a barra metálica há algumas peças de PVC apenas para ajustar a altura da barra.

Ao aproximar o tubo de PVC eletrizado da extremidade da barra metálica, daquela oposta à que estava em frente à bola, cerca de 4 ou 5 vezes (na maioria das aproximações houve estalidos), a bola foi eletrizada. Isso foi verificado por meio da aproximação de uma linha pendular de algodão, a qual foi atraída pela bola. Esta apresentou eletrização tanto com a barra metálica posicionada como na Figura 197, quanto com a barra afastada daquela posição. Isto evidencia que para as distâncias que utilizamos entre os objetos,

cerca de 2 cm, houve descarga elétrica entre a bola e a barra. Desta forma, a eletrização da esfera não foi apenas devido à indução elétrica gerada pela barra carregada. O experimento foi realizado tanto com a extremidade pontiaguda defronte para a bola, quanto com a extremidade não-pontiaguda, sendo que ambas promoveram a eletrização da bola. No entanto, quando foi utilizada uma extremidade pontiaguda, a esfera ficou mais carregada eletricamente do que quando utilizamos a extremidade não-pontiaguda. Para fazer esta verificação, utilizamos o aparato descrito na Figura 198.

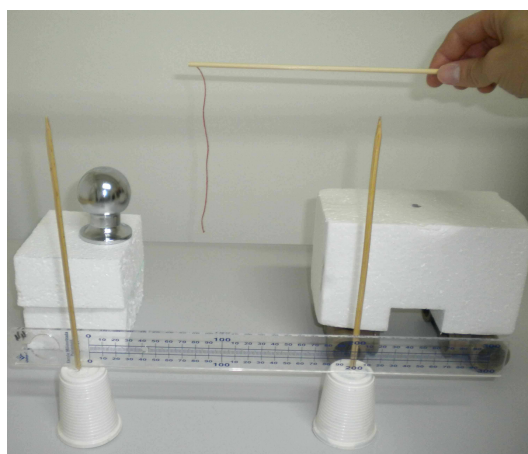


Figura 198: À esquerda e ao fundo está a bola metálica sobre uma base de isopor; à direita e ao fundo uma base de isopor para as barras de ferro. À frente da figura há dois suportes com base de gesso e uma régua posicionada sobre eles. No alto da figura uma linha de algodão presa a um palito de madeira segurado por uma mão.

A linha pendular de algodão era aproximada em direção à bola lentamente, de tal forma que no momento em que ela começava a ser atraída, parávamos o movimento e anotávamos a posição da régua em que ela estava. Fizemos este teste algumas vezes, e em todos eles a linha foi atraída a uma maior distância quando a esfera foi eletrizada pela extremidade pontiaguda. Cabe destacar que o referido instrumento utilizado para os testes tem limitações claras, mas o nosso intuito era ter uma ideia quanto à maior ou menor eletrização tendo em vista o tipo de extremidade da barra, a partir dos materiais que tínhamos disponíveis. Também é importante destacar que ao eletrizar as barras tomamos o cuidado de promover sempre o mesmo número de aproximações do tubo de PVC eletrizado, para tentar minimizar o fato de a eletrização da bola ser maior ou menor devida à maior eletrização da barra. Tendo em vista este resultado, é possível atribuir a maior eletrização da esfera a partir da barra com extremidade pontiaguda ao fenômeno do *poder das pontas*.

Gray também descreve um outro experimento semelhante ao anterior, mas em vez da bola, ele utiliza uma placa metálica em frente à barra metálica. Para a reconstrução deste

experimento, utilizamos um anteparo de papel alumínio, como ilustra a Figura 199.



Figura 199: À esquerda está o anteparo de papel alumínio sobre uma base de isopor, e à direita uma barra de ferro sobre uma base de isopor, a qual é formada por duas peças de isopor.

Para fazer o anteparo, recortamos um retângulo de cartolina de cerca de 20 por 12 cm, então o encapamos com papel alumínio e o fixamos por meio de fita adesiva em um suporte com base de gesso. É importante ressaltar que todos os materiais deste anteparo são condutores elétricos, por isso é fundamental que ele esteja sobre uma base isolante. Ao aproximar o tubo de PVC eletrizado da extremidade da barra metálica, daquela oposta à que estava em frente ao anteparo, cerca de 4 ou 5 vezes (na maioria das aproximações houve estalidos), o anteparo foi eletrizado. Isso foi verificado por meio da aproximação de uma linha pendular de algodão, a qual foi atraída pelo anteparo. Este apresentou eletrização tanto com a barra metálica posicionada como na Figura 199, quanto com a barra afastada daquela posição. Isto evidencia que para as distâncias que utilizamos entre os objetos, cerca de 2 cm, houve descarga elétrica entre a barra e o anteparo. Desta forma, a eletrização do anteparo não foi apenas devido à indução elétrica gerada pela barra carregada. O experimento foi realizado tanto com a extremidade pontiaguda defrente para o anteparo, quanto com a extremidade não-pontiaguda, sendo que ambas promoveram a eletrização do anteparo. No entanto, quando foi utilizada uma extremidade pontiaguda ele ficou mais carregado eletricamente do que quando utilizamos a extremidade não-pontiaguda. Para fazer esta verificação utilizamos o mesmo aparato e procedimento do experimento anterior.

## 11 Tradução 8

### 11.1 Tradução 8 - Uma Carta de Stephen Gray, F. R. S. para o Dr. Mortimer, Secr. R. S. Contendo Alguns Experimentos Relacionados à Eletricidade

As<sup>1;2;3</sup> linhas a seguir contêm um relato dos experimentos elétricos que tenho feito desde aqueles últimos comunicados para a Sociedade<sup>4</sup> em fevereiro passado.

No dia 18 de fevereiro, experimentei qual efeito seria produzido em várias espécies de madeira no que diz respeito à parte luminosa da eletricidade. Foram feitas varas de madeira tendo a mesma forma que aquelas de ferro mencionadas na minha carta anterior sobre este assunto.<sup>5</sup> As madeiras utilizadas foram abeto, freixo (*ash*) e azevinho (*holly*). Elas foram sucessivamente dispostas sobre corpos elétricos, da mesma maneira que as varas de ferro tinham sido.<sup>6</sup> Quando o tubo [de vidro eletrizado] foi aplicado em uma de suas extremidades, apareceu uma luz sobre ela, mas não com força (*force*) tão grande, e a luz também não se estendeu a tão grande distância.<sup>7</sup> O formato [da luz] também não foi cônico, mas sim algo cilíndrico. A extremidade dela parecia consistir de uma pequena franja de luz. Depois que cessava a luz que era dada para a vara pela aplicação do tubo, [então] com um movimento da minha mão em direção à ponta da vara, a luz saía novamente, como foi mencionado [ocorrer] com as varas de ferro [da carta anterior]. Mas,

<sup>1</sup>Tradução do texto: (GRAY, 1735-6c, p. 166-170).

<sup>2</sup>O *texto original* em inglês apresenta várias palavras iniciadas com letra maiúscula no meio das frases, as quais optamos por grafar com letra minúscula para facilitar a leitura. Além disso, a pontuação gramatical foi alterada para facilitar a sua compreensão.

<sup>3</sup>Os destaques em *italico* no texto são dos tradutores, assim como as palavras entre colchetes. Os colchetes [p. ] indicam a página original do texto em inglês.

<sup>4</sup>Refere-se à *Royal Society*.

<sup>5</sup>Gray refere-se à carta (GRAY, 1735-6b, p. 16-24), cuja tradução pode ser encontrada na seção 10.1 à página 284 desta tese.

<sup>6</sup>As varas de madeira poderiam tanto estar suspensas por linhas de seda quanto apoiadas sobre blocos de resinas, ceras ou enxofre. Nestas situações elas estariam isoladas eletricamente da Terra.

<sup>7</sup>A ilustração de uma possível conformação deste experimento pode ser vista na Figura 200. Estamos supondo aqui a vara suspensa por linhas de seda, mas poderia estar apoiada sobre algum material isolante.

quando a mão ou o dedo era mantido próximo à ponta dessas varas de madeira, não foi sentida qualquer picada ou empurrão do dedo, como [foi sentido] quando as varas de ferro tinham sido utilizadas. Eu tinha feito algumas dessas varas com uma das extremidades muito maior do que a outra,<sup>8</sup> e agora, aplicando o meu dedo [p. 167] na extremidade maior, não apenas apareceu uma luz, como também o dedo foi empurrado, especialmente quando a vara de azevinho foi utilizada, e houve uma pequena picada no rosto,<sup>9</sup> mas a dor não foi tão grande como quando as varas de ferro foram utilizadas.<sup>10</sup> A maior extremidade da vara foi apontada com um ângulo muito maior do que a extremidade menor, contudo, houve muito pouco, se houve alguma diferença, na forma ou grandeza da luz que procedia a partir de ambas as extremidades.

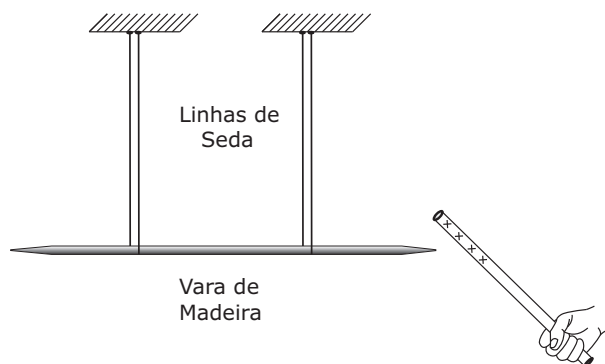


Figura 200: Vara de madeira pendurada em linhas isolantes de seda com o tubo eletrizado sendo aproximado de uma de suas extremidades.

Consegui dois pares de linhas feitas de fios de lã (*worsted yarn*), um deles de cor azul da [borboleta] *Mazareen Blew*<sup>11</sup> e o outro de cor escarlata. No dia 3 de abril, suspendi o garoto, inicialmente, nas linhas azuis, e encontrei que todos aqueles efeitos foram os mesmos, como quando ele foi suspenso em linhas de seda azul.<sup>12</sup> Em seguida, o suspendi nas linhas escarlates, mas agora, embora o tubo fosse tão bem excitado, e o experimento repetido muitas vezes, não houve qualquer efeito produzido no garoto. Não houve a atração de uma linha pendular, nem a picada ou queimadura por meio da aplicação da

<sup>8</sup>Provavelmente, o diâmetro das extremidades da vara era diferente, sendo que uma das extremidades tinha um diâmetro muito maior do que o da outra.

<sup>9</sup>No original aparece *cheak*. Pode ser um erro de escrita, referindo-se a *cheek*, cuja tradução é *rosto*, como também pode ser a forma arcaica da palavra.

<sup>10</sup>Gray reporta que ao aproximar o dedo da extremidade maior da vara (*i.e.*, de maior diâmetro) houve emissão de luz e um empurrão no dedo. Isso nos dá a impressão de que o fenômeno ocorrido teve maior intensidade. Em nossos experimentos sobre a eletrização de varas metálicas (Experimento 10.2 à página 300 desta tese), quando o tubo de PVC eletrizado era aproximado da extremidade não-pontiaguda de uma vara metálica, em geral, ocorria apenas um estalido mais alto, mais intenso do que aqueles que ocorriam na extremidade pontiaguda (isto está descrito à página 302 desta tese).

<sup>11</sup>Gray está dizendo que um par de fios de lã tem a mesma cor azul que a cor da borboleta *Mazarine Blue*, nome em inglês da espécie *Polyommatus semiargus*, também conhecida como *falsa limbada*.

<sup>12</sup>Nas cartas anteriores, Gray utilizou linhas de seda em vários momentos, mas não especificou as cores das linhas.

mão próxima a ele. Então, coloquei uma das varas de ferro, inicialmente, nas linhas azuis, e todos os mesmos efeitos foram exibidos, como quando a mesma vara tinha sido colocada em linhas de seda daquela cor. Mas, colocando a mesma vara nas linhas escarlates, nenhuma forma de atração etc. foi percebida.<sup>13</sup>

Na *Philosophical Transactions*, número 422,<sup>14</sup> apresentei um relato dos experimentos em que fiz a comunicação da eletricidade para a água, e que a água é atraída pelo tubo [de vidro eletrizado], junto a várias circunstâncias notáveis nas quais esta atração está presente. Mas agora encontrei que quando o suporte com aqueles pequenos copos de marfim [p. 168] lá mencionados é colocado sobre qualquer corpo elétrico, os mesmos fenômenos são produzidos, não apenas mantendo o tubo próximo à água, mas [também] quando ele é removido e a ponta do dedo colocada sobre a água. A saber, ocorre um pequeno monte, ou protuberância, de água no formato cônico, e a partir do vértice dele procede uma luz e um pequeno estalo.<sup>15;16</sup>

No dia 6 de maio, fizemos o experimento a seguir. O garoto foi suspenso em linhas de seda e o tubo foi aplicado próximo aos seus pés, como de costume. Então, o menino colocou a ponta do seu dedo próxima à mão de um senhor que estava em pé sobre um bolo feito de goma-laca (*shell-lack*) e resina preta (*black rosin*). Ao mesmo tempo havia um outro senhor que estava em pé do outro lado do garoto com uma linha pendular.<sup>17</sup>

<sup>13</sup>A questão das cores interferirem de alguma forma nos experimentos sobre eletricidade já havia aparecido no artigo de 1731 (GRAY, 1731-2c, p. 44) (ver a página 171 desta tese), o qual Gray encerra comentando sobre uma suposta diferença de atração em pedaços de um mesmo material que tinham cores diferentes. Porém, Du Fay (DU FAY, 1733-4, p. 259-60)\* realizou alguns experimentos sobre esta questão e concluiu que pedaços de diferentes cores de um mesmo material não apresentam diferenças na atração.

\*A tradução deste texto pode ser encontrada em (BOSS; CALUZI, 2007).

<sup>14</sup>Refere-se ao texto (GRAY, 1731-2a, p. 227-230), cuja tradução pode ser encontrada na seção 7.1 à página 211 desta tese.

<sup>15</sup>No experimento a que Gray se refere, do texto (GRAY, 1731-2a, p. 227-230), o recipiente de marfim é colocado sobre um suporte condutor, como ilustra a Figura 201. Aqui, ele coloca o pequeno copo de marfim sobre uma base isolante e encontra os mesmos efeitos reportados anteriormente.

<sup>16</sup>Do ponto de vista da “*física atual*”, quando o recipiente de marfim é colocado sobre um suporte de material condutor elétrico, todo o sistema é condutor. Supomos que o marfim seja condutor a partir dos experimentos descritos por Gray (GRAY, 1731-2c, p. 20-1) em que uma bolinha desse material é acoplada a varetas de abeto e atrai lâminas metálicas (ver a página 143 desta tese). Na medida em que todo o sistema é condutor, a água é eletrizada por indução com a aproximação do tubo de vidro atritado, ficando com uma carga oposta à do tubo. Mas com o afastamento do tubo, ela volta a ficar neutra, já que o sistema está aterrado.

No entanto, quando o suporte no qual o recipiente de marfim está apoiado é isolante, a água e o recipiente são eletrizados com a aproximação do tubo por pequenas descargas elétricas ou faíscas que ocorrem entre a água e o tubo. A água e o recipiente ficam então eletrizados com cargas de mesmo sinal que o tubo. Com o afastamento do tubo eletrizado, a água e o recipiente permanecem eletrizados com cargas de mesmo sinal que o tubo. Desta forma, a aproximação do dedo após a aplicação do tubo faz com que haja os efeitos descritos por Gray, sendo que a luz e o estalido são devidos à descarga elétrica que provavelmente ocorre entre o dedo e a água eletrizada.

<sup>17</sup>Este segundo homem estava provavelmente aterrado, não estando isolado eletricamente do solo.

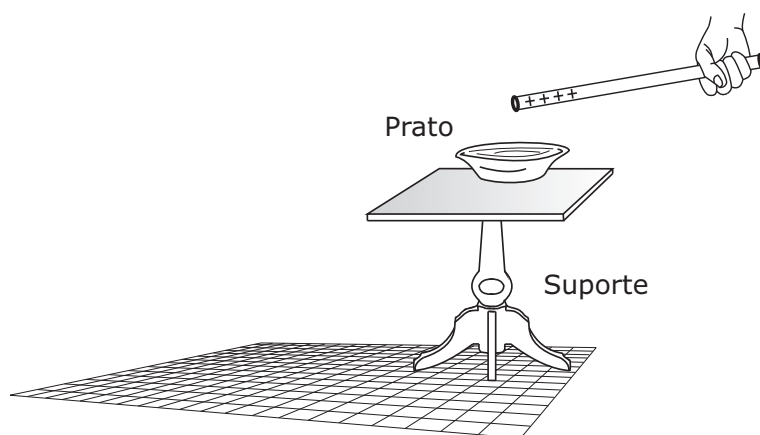


Figura 201: Suporte com base de marfim e com o pequeno plano parafusado na parte superior. Sobre o plano está o pequeno prato de marfim preenchido com água e sobre a água o tubo de vidro eletrizado.

Em seguida, foi pedido ao garoto para manter seu dedo próximo à mão do primeiro senhor, o qual foi picado e um estalo foi ouvido. Ao mesmo tempo, a linha [pendular] que estava, pela atração do menino, indo em sua direção, caiu, tendo o garoto perdido grande parte da sua atração. Em um segundo movimento de seu dedo para a mão do senhor, a atração cessou. Então, a linha pendular foi colocada próxima àquele senhor [que estava isolado sobre a goma-laca], e ele estava atraindo muito fortemente.<sup>18</sup> Mas, tendo repetido este experimento desde então, encontrei que embora a atração do garoto tivesse diminuído bastante, ele ainda não a tinha perdido totalmente, até que houvessem duas, três e algumas vezes quatro aplicações do seu dedo na mão daquele [homem] que estava em pé sobre o corpo elétrico, mas sem tocá-lo. Em outro momento, fiz com que três pessoas ficassem em pé, uma delas sobre um bolo de goma-laca etc., outra sobre um bolo de enxofre, e a terceira sobre um bolo de cera de abelha e resina. Estando as pessoas todas de mãos dadas, o garoto aplicou seu [p. 169] dedo próximo à mão do primeiro homem, [então] todos os três tornaram-se elétricos, como mostrado pela atração da linha [pendular], quando mantida próxima a qualquer um deles.

## PÓS-ESCRITO

<sup>18</sup>Do ponto de vista da “*física atual*”, o garoto suspenso em linhas isolantes fica polarizado eletricamente por meio da aproximação do tubo de vidro atritado. Vamos supor que o tubo esteja positivo. Então a parte do garoto próxima ao tubo ficará negativa, enquanto que as partes do garoto mais afastadas do tubo ficarão positivas. Quando ele aproxima seu dedo da pessoa em pé sobre a goma-laca, ou seja, que está isolada, provavelmente ocorre uma descarga elétrica entre ambos. Sendo assim, o garoto perde parte das cargas positivas de seu dedo e o homem isolado fica eletrizado positivamente. Embora agora o garoto possua uma carga resultante negativa, esta carga fica essencialmente na parte do garoto que está próxima ao tubo. As outras partes do menino ficam essencialmente neutras. Com isto diminui a atração que ele exercia sobre uma linha pendular. Já o homem que estava isolado possui agora uma carga positiva, podendo então atrair uma linha pendular que se aproxime dele.



*Uma repetição de alguns destes experimentos e uma adição  
a alguns outros feitos em 10 de junho.*

No dia 10 de junho de manhã, repeti os experimentos com as varas de madeira. A maior parte do material foi feito com a vara de azevinho. Esta foi colocada sobre o cilindro de vidro, e uma tábua de abeto de aproximadamente um pé quadrado<sup>19</sup> e três décimos de uma polegada [0,8 cm] de espessura foi colocada ereta sobre um suporte, que foi colocado sobre outro cilindro de vidro, de tal forma que o centro da tábua fosse colocado próximo à ponta da vara, mas não [a ponto de] tocá-la, ficando a aproximadamente meia polegada [1,3 cm] de distância. Então, o tubo [de vidro eletrizado] foi mantido próximo à maior extremidade da vara, e saiu uma luz da extremidade menor dela, que era aquela próxima à tábua.<sup>20</sup> E, como o garoto me contou, ela foi acompanhada de um assobio e bateu contra a placa. Quando ele tocou a tábua, houve uma luz e, ao mesmo tempo, outra na ponta da vara. Mas, ele não ouviu nenhum estalo e nem [sentiu qualquer] picada em seu dedo, como quando foram utilizadas a placa de latão e as varas de ferro.<sup>21</sup>

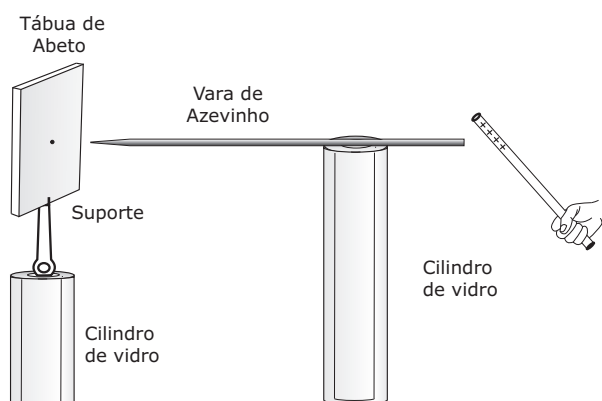


Figura 202: À esquerda da figura está o cilindro de vidro, suporte e a tábua de abeto. À direita encontra-se a vara de azevinho apoiada no cilindro de vidro e o tubo eletrizado sendo aplicado na extremidade maior da vara.

*Repetição dos experimentos com as linhas escarlate e azul de fios de lã.*

Quando o garoto foi suspenso nas linhas escarlates, ele atraiu a linha [pendular] branca a uma distância muito pequena, mas a atração cessou em aproximadamente 6 ou 7 segun-

<sup>19</sup>Isto é, um quadrado tendo lado de 1 pé = 0,30 m. Ou seja, uma área de 0,09 m<sup>2</sup>.

<sup>20</sup>A ilustração de uma possível conformação deste experimento pode ser vista na Figura 202. Nesta ilustração, fizemos o cilindro de vidro que suporta a vara em tamanho maior que aquele que suporta a tábua. Isto não está descrito no texto, mas o fizemos para que a vara apoiada sobre o cilindro ficasse com a ponta na altura do centro da tábua, como descreve o texto.

<sup>21</sup>Não fica claro no texto qual o papel do garoto no experimento, nem se ele estava sobre algum material isolante ou não.

dos.<sup>22</sup> Então, o menino foi retirado e uma vara de ferro foi colocada nas linhas [escarlates], mas não houve [p. 170] atração da linha [pendular] pelo corpo da vara. Mas, quando a linha [pendular] foi colocada próxima a qualquer uma das pontas dela, houve uma pequena repulsão [da linha], e no escuro uma pequenina luz foi vista em cada extremidade da vara.

Quando o garoto foi suspenso nas linhas azuis, ele atraiu a linha [pendular] para si quando [ela] estava sendo mantida a pelo menos um pé [30 cm] de distância dele e manteve sua atração por aproximadamente 75 segundos. A vara de ferro manteve sua atração por não mais do que 36 segundos.

*Experimentos feitos à tarde com um garoto quando ele estava suspenso em linhas de seda de várias cores.*

Quando ele foi suspenso em linhas azuis, manteve sua atração por 50 minutos; em linhas escarlates por 25 minutos; em linhas de cor laranja por 21 minutos.

Por meio destes experimentos vemos a eficiência da eletricidade em corpos suspensos em linhas de mesma substância, mas de cores diferentes. E também, que a atração permanece por muito mais tempo na seda do que na lã (*yarn*). Consequentemente, a seda é o corpo mais apropriado que podemos utilizar para suspender aqueles corpos para os quais comunicamos uma eletricidade. Mas, [falarei] mais sobre este assunto quando retomar os experimentos a respeito da influência das cores na eletricidade. Eu sou,

<sup>22</sup>Nesta e nas próximas experiências não fica claro se o tubo de vidro eletrizado ficou o tempo todo próximo aos corpos que estavam atraindo a linha pendular, ou se ele era aproximado destes corpos, sendo então afastado deles, e apenas após isto é que se aproximaria a linha pendular. Na primeira hipótese, o garoto ficaria inicialmente polarizado eletricamente por indução devido à aproximação do tubo eletrizado. Se o tubo for positivo, a parte do garoto próxima ao tubo ficaria o tempo todo negativa, sendo que as partes superficiais do garoto afastadas do tubo ficariam inicialmente positivas. Haveria então perda destas cargas positivas por condução pelos fios de lã que não são totalmente isolantes, como veremos a seguir. Na segunda hipótese, para que o garoto ficasse inicialmente eletrizado, teria de haver uma faísca ou descarga entre o tubo e o garoto. O garoto iria então perdendo esta eletrização por condução pelos fios de lã que não são totalmente isolantes.

A primeira hipótese nos parece mais plausível, já que as cargas obtidas por faíscas ou descargas elétricas entre o tubo de vidro eletrizado e o corpo possuem pequena intensidade, só sendo perceptíveis sobre corpos pequenos como um copo isolado, mas não sobre um corpo grande como um garoto isolado.

Na sequência, Gray vai comparar as propriedades isolantes de linhas de seda com cores diferentes. Independente de como o tubo de vidro eletrizado tenha sido utilizado, muito provavelmente Gray utilizou o mesmo procedimento com as linhas de lã de todas as cores. Conclui-se então que a perda de carga que ocorre nestas experiências com a passagem do tempo é principalmente devida à condução de eletricidade pelas linhas de lã, que não se comportam como isolantes perfeitos, já que permitem uma passagem lenta da eletricidade através delas.

*O mais obediente e humilde servi-  
dor do Senhor e da Sociedade.*

**Stephen Gray.**

*Charter-House,*  
12 de junho de 1735.

## 11.2 Experimentos

### 11.2.1 Introdução

Nesta seção apresentamos a reconstrução de alguns experimentos descritos por Gray que evidenciam a eletrização sem contato físico ou toque entre o objeto eletrizado (*i.e.*, indutor) e aquele a ser eletrizado. Em geral, utilizamos um tubo de PVC eletrizado por meio de atrito com poliamida como indutor. Um fator relevante nos experimentos a seguir é que o corpo a ser eletrizado pelo indutor sempre estará isolado eletricamente, seja por meio de fios isolantes (*i.e.*, de seda ou de poliamida) ou por meio de uma base de isopor. O isolamento dos corpos é condição *sine qua non* para que possamos evidenciar os fenômenos descritos. Outro ponto importante é que o tubo eletrizado é sempre colocado próximo a uma das extremidade das *varas de madeira e sem tocá-las*. Como já dissemos, nestes experimentos a eletrização ocorre a partir da aproximação do indutor (*i.e.*, o tubo eletrizado) sem que haja contato físico ou toque com o corpo isolado. Do ponto de vista da “física atual”, isso ocorre porque na medida em que o tubo atritado é aproximado da extremidade de uma vara de madeira isolada eletricamente, a vara se polariza eletricamente, como já mencionado, sendo este fenômeno conhecido como *polarização* ou *indução elétrica*. A partir de uma certa distância entre o tubo e o objeto, ocorre uma descarga elétrica entre eles, o que faz com que o objeto isolado fique carregado eletricamente, com carga líquida diferente de zero. Algumas vezes, em nossos experimentos, ao aproximarmos o tubo atritado da extremidade das varas, foi possível escutar estalidos, o que evidencia a ocorrência da descarga elétrica. Havendo estalidos ou não, é possível verificar a eletrização dos objetos isolados por meio da aproximação de uma *linha pendular*, como será feito a seguir nos experimentos.

No texto (GRAY, 1735-6c, p. 166-170) são descritos alguns experimentos sobre a eletrização, por descarga elétrica, de *varas de madeira* suspensas ou apoiadas em materiais isolantes. No artigo original há relatos de que ao aproximar um tubo de vidro eletrizado de uma vara de madeira isolada eletricamente, havia a emissão de luz (*i.e.*, faíscas). Nos experimentos que realizamos, não foi possível obter a emissão de faíscas, apenas de estalidos. Isso pode estar relacionado com o quão eletrizado estava nosso tubo de PVC atritado com poliamida, de tal forma que a eletrização obtida não foi suficiente para evidenciar a emissão das faíscas. Descreveremos aqui dois experimentos envolvendo a eletrização de madeira.

## 11.2.2 Experimentos com Materiais Acessíveis

### Experimento 11.1 *Eletrização de uma vara de madeira isolada eletricamente*

✓ MATERIAIS UTILIZADOS	
⇒ Tubo de PVC	⇒ Vara de madeira
⇒ Poliamida	⇒ Linha pendular de algodão
⇒ Suporte de madeira	⇒ Linha de seda

À página 166 do texto original (página 308 desta tese) Gray descreve um experimento em que uma vara de madeira isolada eletricamente por meio de fios isolantes é eletrizada quando se aproxima um tubo de vidro carregado. Para a reconstrução deste experimento, suspendemos uma vara de madeira de 30 cm em fios isolantes (*i.e.*, de seda ou de poliamida) fixados a um suporte de madeira com haste horizontal metálica, como ilustra a Figura 203.



Figura 203: Suporte de madeira com haste horizontal de ferro e uma vara de madeira pendurada por meio de linhas de poliamida.

Para a realização do experimento, um tubo de PVC foi atritado com poliamida e aproximado de uma das extremidades da vara isolada. Com isso, algumas vezes ocorreram estalidos na medida em que o tubo se aproximava. Esses estalidos não ocorriam em todas as aproximações do tubo atritado e, para que ocorressem, era necessário que o tubo estivesse bem eletrizado. Os estalidos indicam a ocorrência de descargas elétricas entre a madeira e o PVC eletrizado. Para testar a eletrização da vara, utilizamos uma linha

pendular (*i.e.*, linha condutora de algodão presa a um palito de madeira), a qual foi atraída pela vara, indicando que a mesma estava carregada eletricamente.

**Experimento 11.2** *Eletrização de um anteparo de papel alumínio a partir da eletrização de uma vara de madeira*

✓ MATERIAIS UTILIZADOS	
⇒ Tubo de PVC	⇒ Linha pendular de algodão
⇒ Poliamida	⇒ Linha de seda
⇒ Vara de madeira	⇒ Base de isopor
⇒ Suporte com base de gesso	⇒ Papel alumínio
⇒ Anteparo de madeira	⇒ Fita adesiva

À página 169 do texto original (página 311 desta tese) é descrito um experimento em que um anteparo de madeira é eletrizado por uma vara de madeira isolada eletricamente e carregada pela aplicação de um tubo de vidro atritado. Para a reconstrução deste experimento, utilizamos uma base de isopor para isolar eletricamente a vara de madeira e um anteparo de madeira isolado também por meio de isopor, como ilustra a Figura 204.



Figura 204: À esquerda há um anteparo de madeira sobre uma base de isopor; à direita há uma vara de madeira sobre uma base de isopor.

O anteparo é uma colher de madeira cujo cabo foi cortado, como ilustra a Figura 205. Ao aproximar o tubo de PVC eletrizado da extremidade da vara de madeira, daquela oposta à que estava em frente ao anteparo, cerca de 4 ou 5 vezes (em algumas aproximações houve estalidos), o anteparo foi eletrizado. Isso foi verificado por meio da aproximação

de uma linha pendular de algodão, a qual foi atraída pelo anteparo. Este apresentou eletrização tanto com a vara de madeira posicionada como na Figura 204, quanto com a vara afastada daquela posição. Isto evidencia que para as distâncias que utilizamos entre os objetos, cerca de 2 cm, houve descarga elétrica entre a vara e o anteparo. Desta forma, a eletrização do anteparo não foi apenas devido à indução elétrica gerada pela vara carregada.

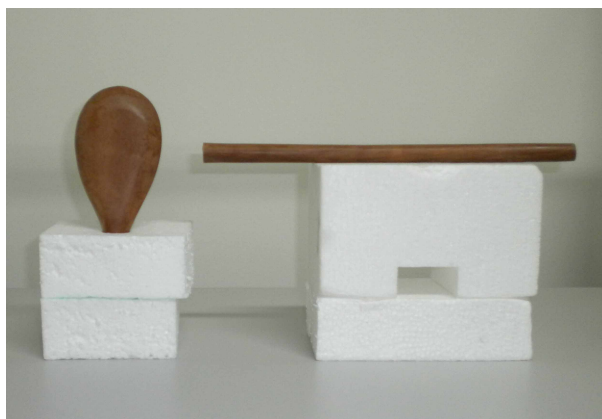


Figura 205: À esquerda a colher de madeira utilizada como anteparo no experimento sobre uma base de isopor; à direita há uma vara de madeira sobre uma base de isopor.

Também realizamos o experimento com um anteparo de papel alumínio, como ilustra a Figura 206. Para fazer o anteparo, recortamos um retângulo de cartolina de cerca de 20 por 12 cm. Então o encapamos com papel alumínio e o fixamos por meio de fita adesiva em um suporte com base de gesso. É importante ressaltar que todos os materiais deste anteparo são condutores elétricos, por isso é fundamental que ele esteja sobre uma base isolante.



Figura 206: À esquerda há um anteparo de papel alumínio sobre uma base de isopor; à direita há uma vara de madeira sobre uma base de isopor.

Além desse, também realizamos o experimento com a vara suspensa por meio de linhas

isolantes de seda, como ilustra a Figura 207. Todos apresentaram os mesmos resultados quanto à eletrização dos materiais.



Figura 207: À esquerda há um anteparo de papel alumínio sobre uma base de isopor; à direita há uma vara de madeira suspensa por linhas de seda fixadas na haste horizontal de um suporte de madeira.



## 12 Tradução 9

### 12.1 Tradução 9 - Sr. Stephen Gray, F. R. S. sua Última Carta para Granville Wheler, Esq.; F. R. S. a Respeito das Revoluções que Pequenos Corpos Pendulares, pela Eletricidade, Fazem em torno de Grandes Corpos de Oeste para Leste como Fazem os Planetas ao Redor do Sol

Ultimamente<sup>1;2;3</sup> tenho feito vários experimentos novos sobre movimento de projétil e [sobre movimento] pendular de pequenos corpos, [movimento este produzido] pela eletricidade, por meio da qual eles podem ser colocados a se movimentar ao redor de grandes corpos, em círculos ou elipses, e isto tanto [em revoluções] concêntricas quanto excêntricas em relação ao centro dos grandes corpos em torno dos quais se movem, de forma a fazerem muitas revoluções ao redor deles. Este movimento ocorrerá, constantemente, da mesma forma que os planetas se movem nos arredores do Sol, a saber, da direita para a esquerda, ou de Oeste para Leste. Mas estes pequenos *planetas*, se assim posso chamá-los, movem-se muito mais rápido na região do *apogeu*<sup>4</sup> do que no *perigeu*<sup>5</sup> de suas órbitas. Este [comportamento] é diretamente contrário ao movimento dos planetas ao redor do Sol, como você sabe muito bem.<sup>6</sup> Ainda não comuniquei estes experimentos à *Royal Society*, pois tenho

<sup>1</sup>Tradução do texto: (GRAY, 1735-6d, p. 220).

<sup>2</sup>O *texto original* em inglês apresenta várias palavras iniciadas com letra maiúscula no meio das frases, as quais optamos por grafar com letra minúscula para facilitar a leitura. Além disso, a pontuação gramatical foi alterada para facilitar a sua compreensão.

<sup>3</sup>Os destaques em *italico* no texto são dos tradutores, assim como as palavras entre colchetes. Os colchetes [p. ] indicam a página original do texto em inglês.

<sup>4</sup>Ou seja, quando se encontram mais afastados do grande corpo ao redor do qual estão orbitando.

<sup>5</sup>Quando se encontram mais próximos do grande corpo ao redor do qual estão orbitando.

<sup>6</sup>De acordo com a segunda lei de Kepler, a lei das áreas, “num dado intervalo de tempo  $t$ , o planeta descreve uma porção maior da órbita quando está no periélio (posição mais próxima do Sol) do que no afélio (posição mais distante do Sol)” (NUSSENZVEIG, 2002, p. 194). “Em termos qualitativos, essa lei nos diz que o planeta se moverá mais devagar, quando estiver mais afastado do Sol, e mais rápido, quando mais perto” (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 1996, p. 61). Desta forma, os corpos em órbita nos experimentos de Gray apresentam um comportamento contrário àquele dos planetas em torno do Sol.

esperança de fazer mais algumas descobertas, ou no mínimo de mostrá-los posteriormente de uma maneira um pouco mais elegante do que faço no momento, quando [então] você pode esperar ouvir relatos adicionais sobre eles.<sup>7</sup>

*Senhor,*  
*o seu mais obediente e*  
*humilde servidor,*  
**Stephen Gray.**

*Londres, 6 de fevereiro de 173<sup>5</sup>/6.*

---

<sup>7</sup>Provavelmente Gray fala em “*ouvir relatos*” e não em “*ler relatos*” porque está se referindo a apresentação dos experimentos que deveria ser feita na *Royal Society*.

## 13 Tradução 10

### 13.1 Tradução 10 - Um Relato de Alguns Experimentos Elétricos Planejados para serem Comunicados à *Royal Society* pelo Sr. Stephen Gray, F. R. S. Tomado de sua Boca por Cromwell Mortimer, M. D. Secr. R. S. em 14 de Fevereiro de 173<sup>5</sup>/<sub>6</sub>. Sendo o Dia Anterior a Sua Morte

#### EXPERIMENTO I

Pegue<sup>1;2;3</sup> um pequeno globo de ferro de uma polegada [2,54 cm] ou uma polegada e meia [3,8 cm] de diâmetro, o qual é colocado no meio de um bolo de resina de aproximadamente sete ou oito polegadas [17,5 ou 20 cm] de diâmetro. Inicialmente, o bolo [de resina] foi excitado ao ser atritado suavemente, batendo nele com as mãos três ou quatro vezes, ou aquecendo-o um pouco diante do fogo. Então, prenda um corpo leve, como um pequeno pedaço de cortiça, ou de miolo de sabugo (*pith of elder*), em uma fina linha de cinco ou seis polegadas [12,5 ou 15 cm] de comprimento,<sup>4</sup> a qual é mantida entre seu dedo indicador e o polegar, exatamente sobre o globo, em uma altura tal que a cortiça, ou outro corpo leve, pudesse ficar pendurado próximo ao meio do globo.<sup>5</sup> Este corpo leve começará a se mover por si só em torno do globo,<sup>6</sup> e isto constantemente, de Oeste para

<sup>1</sup>Tradução do texto: (GRAY, 1735-6a, p. 400-403).

<sup>2</sup>O *texto original* em inglês apresenta várias palavras iniciadas com letra maiúscula no meio das frases, as quais optamos por grafar com letra minúscula para facilitar a leitura. Além disso, a pontuação gramatical foi alterada para facilitar a sua compreensão.

<sup>3</sup>Os destaques em *itálico* no texto são dos tradutores, assim como as palavras entre colchetes. Os colchetes [p. ] indicam a página original do texto em inglês.

<sup>4</sup>“*Thread*” no original. Gray não especifica se esta linha é feita de um material condutor como o algodão, ou de um material isolante como a seda. Já Du Fay, ao repetir esta experiência, afirma ser importante que a linha que sustenta a cortiça deve ser feita de um material isolante como a seda (DU FAY, 1737, p. 325).

<sup>5</sup>Ou seja, a cortiça e o centro do globo vão estar em um mesmo plano horizontal. A cortiça vai orbitar no plano equatorial do globo de ferro.

<sup>6</sup>Uma ilustração da conformação deste experimento pode ser vista na Figura 208. Apresentamos a seguir

Leste, sendo a mesma direção que os planetas têm em sua órbita em volta do Sol.<sup>7</sup> Se o bolo de resina for circular,<sup>8</sup> e o globo de ferro for colocado exatamente no centro dele, então o corpo leve descreverá uma órbita ao redor do globo de ferro, que será um círculo. Mas, se o globo de ferro for colocado a qualquer distância do centro do bolo [de resina] circular, então o corpo leve descreverá uma órbita [elíptica],<sup>9</sup> que [p. 401] terá a mesma excentricidade que a distância do globo ao centro do bolo.

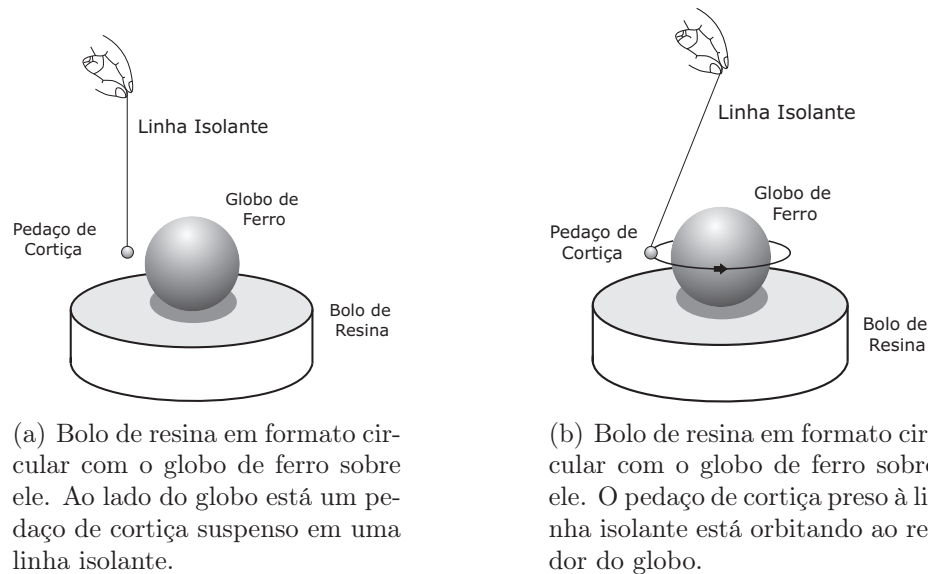


Figura 208: Bolo de resina com o globo de ferro em cima, e o pedaço de cortiça preso à linha isolante está ao lado do globo (no seu plano equatorial).

uma possível explicação para este experimento.

O bolo de resina estando eletrizado, eletrizará o globo de ferro, com carga de mesmo sinal, quando colocado sobre ele. O pedaço de cortiça preso à linha isolante também poderá ficar eletrizado quando colocado próximo ao globo, com carga de mesmo sinal que o bolo e o globo. A cortiça permanecerá eletrizada desta forma se a linha que a suspende for isolante. Na medida em que o globo e o pedaço de cortiça estão eletrizados com carga de mesma natureza, haverá repulsão entre eles, de tal forma que seja possível a órbita. O princípio de funcionamento deste experimento seria o mesmo do pêndulo elétrico (ou eletrostático), ver (ASSIS, 2010, p. 75);(GASPAR, 2005, p. 225).

A eletrização do pedaço de cortiça pode ocorrer de duas formas: i) ao aproximá-la do globo eletrizado, haveria uma pequena descarga elétrica entre eles, o que permite que a eletrização dos corpos seja com cargas de mesma natureza; ii) caso não haja a descarga elétrica entre os corpos quando próximos, as cargas do pedaço de cortiça se reorganizarão de tal forma que a região da cortiça que esteja mais próxima do globo terá cargas de sinal contrário às cargas do globo eletrizado. Esta conformação das cargas fará com que haja atração entre a cortiça polarizada e o globo eletrizado. Neste momento, se houver contato entre a cortiça e o globo, ambos ficarão eletrizados com cargas de mesmo sinal. A partir deste instante a cortiça passará a ser repelida pelo globo.

<sup>7</sup>Ao repetir esta experiência Du Fay encontrou que o sentido da órbita era aleatório (DU FAY, 1737). Ou seja, algumas vezes a órbita ia de Leste para Oeste, enquanto que em outras ocasiões ia de Oeste para Leste. Sua conclusão foi a de que o sentido do movimento era provavelmente determinado por alguma perturbação nas condições iniciais. Por exemplo, a mão que segurava a linha de seda poderia naturalmente tremer, oscilar ou trepidar. Este pequeno movimento inicial da mão determinaria o sentido do movimento da cortiça presa ao fio isolante.

<sup>8</sup>Isto é, de formato cilíndrico como ilustrado na Figura 208.

<sup>9</sup>Colchetes do original. Provavelmente é uma inserção do redator, *i.e.*, Cromwell Mortimer.

Se o bolo de resina for de forma elíptica, e o globo de ferro for colocado no centro dele, o corpo leve descreverá uma órbita elíptica da mesma excentricidade que a forma do bolo.

Se o globo de ferro for colocado em um dos *focos* do bolo elíptico, ou próximo a ele, o corpo leve se movimentará muito mais rápido na região do *apogeu*<sup>10</sup> da órbita do que na região do *perigeu*,<sup>11</sup> ao contrário do que é observado nos planetas.<sup>12</sup>

## EXPERIMENTO II

Pegue o mesmo globo de ferro, ou um outro similar a ele, e fixe-o sobre um pedestal de ferro de aproximadamente uma polegada [2,54 cm] de altura. Coloque-o sobre uma mesa, e então coloque em volta dele um aro de vidro, ou uma parte de um cilindro oco de vidro, de sete ou oito polegadas [17,5 ou 20 cm] de diâmetro e duas ou três polegadas [5 ou 7,5 cm] de altura. Este aro deve ser inicialmente excitado por meio de aquecimento e sutilmente atritado. Então, segure o corpo leve, suspenso como no primeiro experimento, e ele por si só se movimentará em torno do globo de ferro, de Oeste para Leste, em uma órbita circular, se o aro for circular e o globo ficar sobre o centro dele.<sup>13</sup> Mas, [terá] uma órbita elíptica com a mesma excentricidade, se o globo não ficar no centro do aro, como no primeiro experimento, quando o globo não ficou sobre o centro do bolo [de resina].<sup>14</sup>

[Ele não mencionou o que acontecerá se o aro for elíptico. Suponho que ele não tinha um aro oval de vidro com ele.]<sup>15</sup>

## EXPERIMENTO III

<sup>10</sup>Ou seja, quando está mais afastado do globo.

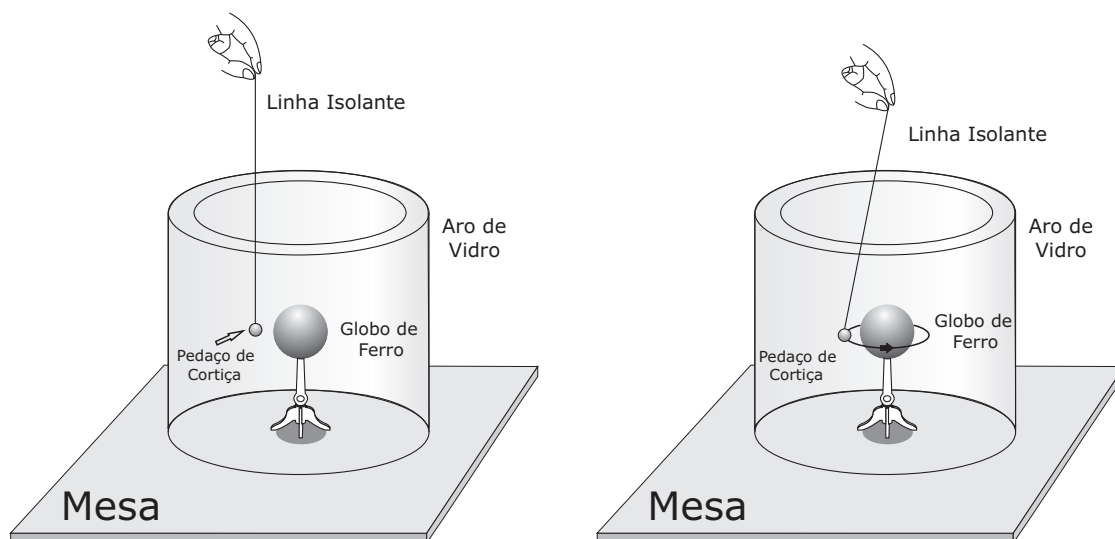
<sup>11</sup>Isto é, quando está mais próximo do globo.

<sup>12</sup>De acordo com a segunda lei de Kepler, a lei das áreas, “num dado intervalo de tempo  $t$ , o planeta descreve uma porção maior da órbita quando está no periélio (posição mais próxima do Sol) do que no afélio (posição mais distante do Sol)” (NUSSENZVEIG, 2002, p. 194). “Em termos qualitativos, essa lei nos diz que o planeta se moverá mais devagar, quando estiver mais afastado do Sol, e mais rápido, quando mais perto” (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 1996, p. 61). Desta forma, os corpos em órbita nos experimentos de Gray apresentam um comportamento contrário àquele dos planetas em torno do Sol.

<sup>13</sup>Uma ilustração da conformação deste experimento pode ser vista na Figura 209. Estamos supondo que o pedaço de cortiça está ao lado do globo de ferro (*i.e.*, no seu plano equatorial) e dentro do cilindro de vidro.

<sup>14</sup>O pedestal utilizado por Gray neste experimento é condutor, já que é feito de ferro. Sendo assim, o globo de ferro e o cilindro de vidro que o envolve estão, inicialmente, neutros. Além disso, o globo está aterrado, pois não há qualquer base de material isolante elétrico sob ele. Do ponto de vista da “física atual”, na medida em que o cilindro de vidro é eletrizado, pode ocorrer uma indução de cargas elétricas no globo de ferro, que o torna eletrizado e permite a ocorrência do fenômeno observado por Gray, *i.e.*, a cortiça orbitar em torno do globo.

<sup>15</sup>Colchetes do original. Provavelmente é uma inserção do redator, *i.e.*, Cromwell Mortimer.



(a) Sobre a mesa está apoiado o pedestal com o globo de ferro sobre ele e o aro de vidro. Ao lado do globo está um pedaço de cortiça suspenso em uma linha isolante.

(b) Sobre a mesa está apoiado o pedestal com o globo de ferro sobre ele e o aro de vidro. O pedaço de cortiça preso à linha isolante está orbitando ao redor do globo.

Figura 209: Sobre a mesa está apoiado o pedestal com o globo de ferro sobre ele e o aro de vidro, e o pedaço de cortiça preso à linha isolante está ao lado do globo (no seu plano equatorial).

Sendo este mesmo globo de ferro colocado sobre a mesa vazia, [isto é,] sem o bolo de resina ou o aro de vidro, e o [p. 402] pequeno corpo leve sendo suspenso como nos experimentos I e II, fará revoluções em torno dele. Mas, [serão] mais lentas e mais próximas [do globo] do que quando ele é colocado sobre um bolo de resina ou dentro de um aro de vidro.<sup>16</sup>

## OBSERVAÇÕES

Ele ainda não tinha verificado se esses experimentos teriam êxito se a linha, pela qual o corpo leve era suspenso, fosse segurada por qualquer outra coisa que não uma mão humana. Mas ele imaginava que pudesse acontecer o mesmo [fenômeno] se a linha fosse segurada, ou fixada, por qualquer substância animal. E ele pretendia testar [como suporte] o pé de uma galinha, um pedaço de carne cru ou similares.

Ele imaginava explicar os aspectos particulares expostos anteriormente, pelo seguinte estranho fenômeno, o qual me assegurou que estava muito certo [da sua existência], tendo frequentemente o observado. A saber, se um homem apoia seus cotovelos sobre seus joelhos, colocando suas mãos a uma pequena distância uma da outra, elas gradualmente acederão uma para a outra, sem qualquer vontade ou intenção do homem de juntá-las. E

<sup>16</sup>Uma ilustração da conformação deste experimento pode ser vista na Figura 210.

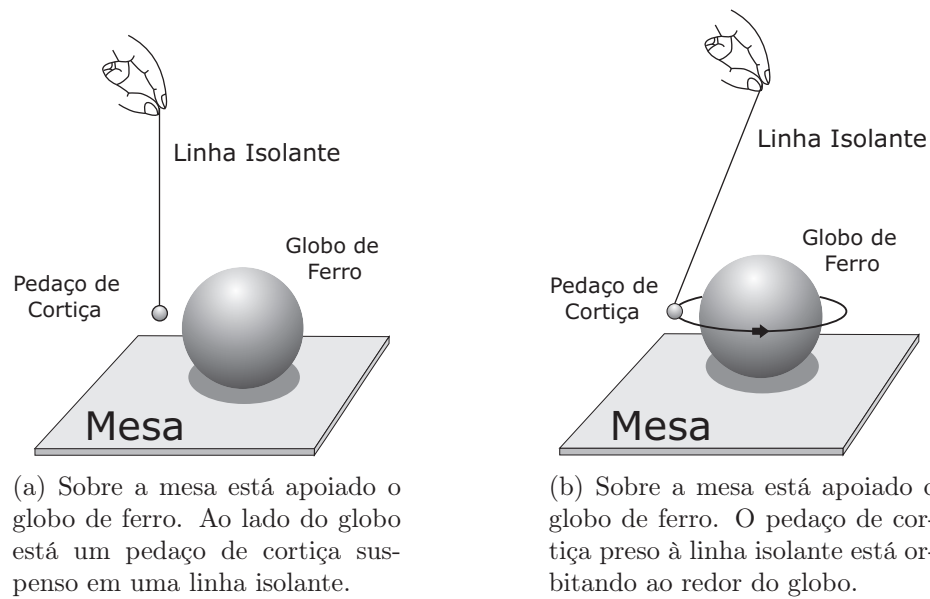


Figura 210: Sobre a mesa está apoiado o globo de ferro, e o pedaço de cortiça preso à linha isolante está ao lado do globo (no seu plano equatorial).

elas recuarão por si só novamente. Da mesma maneira, a mão será atraída pelo corpo. Ou, a face de um homem, se ele ficar em pé próximo a uma parede, será atraída para a parede, e será novamente repelida por ela.

Ele me contou, que havia pensado nestes experimentos apenas por um tempo muito curto antes de adoecer, e que não tinha, ainda, testado-os com uma variedade de corpos. Mas, que a partir do que já tinha visto sobre eles, que o surpreendiam toda vez que os repetia, ele esperava e deveria, se Deus poupasse a sua vida um pouco mais, a partir do que estes fenômenos apontam, aperfeiçoar ao máximo seus experimentos elétricos. [p. 403] Ele não tinha dúvidas que em um pequeno intervalo de tempo seria capaz de surpreender o mundo com um novo tipo de planetário, nunca antes pensado. E que a partir desses experimentos poderia ser estabelecida uma certa teoria para explicar os movimentos do grande planetário do universo.

Testando estes experimentos desde a sua morte, tenho encontrado que o pequeno corpo leve fará revoluções em volta de um corpo de várias formas e feito de substâncias diferentes, tão bem quanto em torno do globo de ferro, se colocado sobre o bolo de resina. Desta forma, testei com um globo de mármore preto, um prato de areia cor de prata, uma pequena caixa de aparas (*chip box*), e uma grande cortiça. Observei que o bolo, se nada ficar sobre ele, em qualquer parte atrairia fortemente o corpo leve, enquanto mantido suspenso pela linha. Mas, quando o globo, ou outro corpo, foi colocado sobre ele, a borda do bolo atraiu mais fortemente e assim, gradualmente, parecia diminuir a

atração na medida em que ele [isto é, o pequeno corpo] se aproximava do centro [do bolo de resina], até que a uma certa distância ela era transformada em uma repulsão. Esta procedia a partir do globo, ou de outro corpo colocado sobre o bolo, o qual repelia muito fortemente o corpo leve, a menos que estivesse colocado muito próximo dele, e então o atraía fortemente. Enquanto o corpo leve está suspenso, como nos experimentos já citados, se você colocar o dedo da outra mão próximo a ele, ele voará a partir do dedo, ou será repelido por ele, com grande vigor.<sup>17;18</sup>

---

<sup>17</sup>Para que o dedo possa repelir o objeto leve, o dedo deve estar eletrizado com carga de mesmo sinal que o objeto.

<sup>18</sup>Para outras informações sobre este experimento ver (DU FAY, 1737);(WHEELER; MORTIMER, 1739-41);(WHEELER, 1739-41).



## 13.2 Experimentos

### 13.2.1 Introdução

Nesta seção apresentamos a reconstrução de um experimento que Gray comenta e descreve nos textos (GRAY, 1735-6d, p. 220) e (GRAY, 1735-6a, p. 400-403). Ele aparece nas páginas 320 e 322 desta tese. Este experimento consiste em fazer uma bolinha de cortiça, presa a uma linha de seda, orbitar em torno de uma esfera condutora colocada sobre uma base isolante eletrizada. Neste experimento, tanto a base isolante quanto a esfera e a cortiça estão eletrizadas com cargas de mesma natureza. Sendo assim, a interação elétrica entre a esfera e a cortiça é repulsiva. Chamamos a atenção para a linha que sustenta o pedaço de cortiça ser de material isolante. Isto é fundamental para que seja possível manter a bolinha de cortiça eletrizada depois que ela adquiriu alguma carga.

### 13.2.2 Experimentos com Materiais Acessíveis

#### Experimento 13.1

✓ MATERIAIS UTILIZADOS	
⇒ Tubo de PVC	⇒ Bolinha de cortiça
⇒ Poliamida	⇒ Base de PVC
⇒ Linha de seda	⇒ Esferas diversas

Para a reconstrução do experimento utilizamos esferas de tamanhos e materiais diversos, tais como: madeira, vidro, metal e cerâmica. Como base isolante utilizamos uma peça de PVC de 15 cm de diâmetro<sup>19</sup>. Cortamos um pedaço de cortiça do tamanho aproximado da cabeça de um alfinete e aparamos as pontas, com o objetivo de deixá-lo o mais arredondado possível<sup>20</sup>. A bolinha de cortiça foi presa a uma linha de seda isolante. O aparato utilizado pode ser visto nas Figuras 211 e 212.

<sup>19</sup>Aquelas utilizadas para tampar canos de PVC e cujo nome é “CAP”. Em geral são vendidas em lojas de material para construção.

<sup>20</sup>As pontas foram aparadas para tentarmos manter o objeto mais tempo eletrizado, diminuindo a perda de carga elétrica do pedacinho de cortiça para o ambiente devido ao fenômeno conhecido como “poder das pontas”.

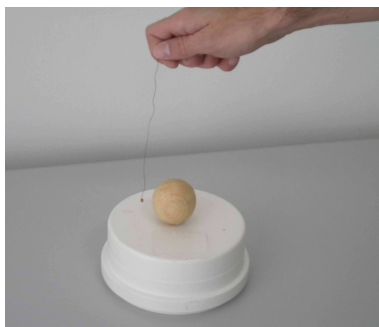


Figura 211: No alto da figura uma mão segura a linha de seda, em cuja extremidade inferior está presa uma bolinha de cortiça. A cortiça gira, no plano equatorial, ao redor de uma esfera eletrizada de madeira colocada sobre uma base de PVC atritada.



Figura 212: Em detalhe a bolinha de cortiça flutuando em torno da esfera de madeira.

Para realizar o experimento, inicialmente a base de PVC foi atritada com poliamida, tal que fique o mais eletrizada possível. Então, uma esfera condutora é colocada no centro da base eletrizada. Em nossos experimentos a base eletrizada não deixava a esfera suficientemente carregada para a realização do experimento. Por isso, após colocá-la sobre a base, a eletrizávamos aproximando um tubo de PVC atritado com poliamida. Desta forma, a esfera adquiria carga elétrica de mesma natureza que a da base. Em seguida, a bolinha de cortiça presa à linha de seda de cerca de 15 cm era aproximada da esfera eletrizada, pela lateral ou pela vertical que passava junto ao lado da esfera. Em ambos os casos, após a cortiça tocar a esfera eletrizada era preciso movimentar a mão que segurava a linha até próximo à vertical que passava pelo centro da esfera. Ao tocar a esfera, a bolinha de cortiça se eletrizava e era repelida pela esfera. Desta forma, ela ganhava movimento e circulava em torno da esfera, em seu plano equatorial. Uma outra maneira de fazer o experimento é eletrizando a cortiça por meio do contato com o tubo de PVC atritado, antes de aproximá-la da esfera. Neste caso, a cortiça também era aproximada da esfera pela vertical que passa pelo seu centro.<sup>21</sup>

<sup>21</sup>Tendo em vista que não é possível fotografar esse fenômeno, fizemos um vídeo sobre ele, o qual pode ser acessado no endereço: <[www.youtube.com/watch?v=RtWRVr-1A1U](http://www.youtube.com/watch?v=RtWRVr-1A1U)> (BOSS; ASSIS; CALUZI, 2011b).

É importante destacar que só foi possível ver a cortiça girar em torno da esfera eletrizada quando a linha de seda era segurada por uma mão. Quando a linha estava presa a um suporte fixo, não houve movimento circular. Isso evidencia que o movimento de rotação da cortiça está atrelado aos pequenos movimentos que a mão acaba fazendo, sejam esses movimentos involuntários ou não. Em nossos testes nos ficou evidente que o giro da cortiça ocorria devido aos pequenos movimentos da mão que segurava a linha.

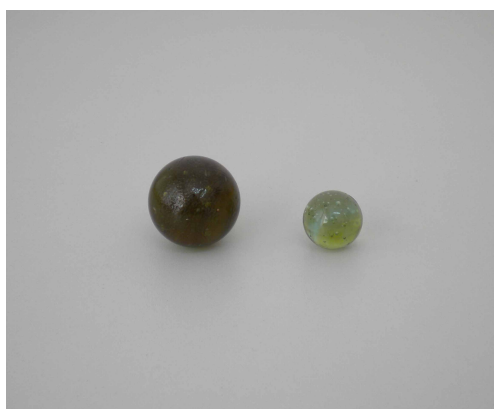
Em geral, a cortiça dava uma volta ou menos de uma volta ao redor da esfera. Poucas vezes foi possível ver duas voltas completas. Procurávamos deixar a mão que segurava a linha de seda próxima à vertical que cruza o centro da esfera. Não percebemos qualquer padrão quanto ao sentido de giro (*i.e.*, horário ou anti-horário) da bolinha de cortiça. Este sentido de giro nos pareceu ser aleatório e dependente de alguma condição inicial, como o movimento da mão ou do ar, a posição da mão, a forma como a cortiça tocava a esfera ou como ela era aproximada da esfera (no caso de a cortiça já estar eletrizada), etc. Além disso, não percebemos qualquer regularidade quanto à velocidade da cortiça com relação ao apogeu ou perigeu. Ou seja, ela poderia se deslocar ao redor da esfera com velocidade maior no apogeu do que no perigeu, ou com velocidade menor no apogeu do que no perigeu, ou ainda com a mesma velocidade nestes dois locais. Algumas vezes, foi possível ver uma diferença de velocidade enquanto ela executava o giro, mas isso nos pareceu, também, estar relacionado a alguma condição inicial do sistema. Além disso, a cortiça cessava o movimento, em geral, com no máximo uma volta completa. Portanto, é natural que na fase final do circuito descrito por ela a sua velocidade seja menor. Cabe ressaltar que em parte das aproximações da cortiça não houve movimento em torno da esfera eletrizada. Também é importante destacar que a distância entre a cortiça e a esfera, quando há repulsão entre elas, varia de acordo com o quão eletrizadas estão as peças.

As esferas utilizadas foram adquiridas de formas variadas. Das esferas de madeira, três delas foram encomendadas a um marceneiro que faz peças redondas de madeira em um torno mecânico, e as outras duas foram adquiridas em uma loja especializada no comércio de brinquedos de madeira. Pedimos para o marceneiro fazer duas esferas nas medidas citadas por Gray em seu artigo, ou seja, uma esfera de uma polegada (2,5 cm) e outra de 1,5 polegada (3,75 cm) de diâmetro, a terceira pedimos com 6 cm de diâmetro. As duas esferas compradas na loja de brinquedos de madeira tinham duas polegadas (5 cm) de diâmetro. Das esferas de vidro, duas são *bolinhas de gude* adquiridas em loja de variedades, uma delas tem quase 2 cm de diâmetro e a outra 3 cm de diâmetro. A

---

Acesso em: 16 out. 2011. A bolinha de cortiça está presa a uma linha de seda, orbitando ao redor de uma esfera condutora eletrizada que está sobre uma base isolante eletrizada.

terceira esfera de vidro foi comprada em uma loja de decoração para residências, a qual tinha cerca de 8 cm de diâmetro. Nesta mesma loja foi comprada a esfera de cerâmica, cujo diâmetro tinha cerca de 10 cm. Como esfera de ferro utilizamos uma bola para engate de reboque de automóveis, com 5 cm de diâmetro, que foi adquirida em um loja para acessórios de automóveis. Também adquirimos uma segunda esfera de metal de cerca de 5 cm de diâmetro, a qual foi cortada de um haltere para musculação. As bolinhas de gude e as esferas de madeira são mostradas na Figura 213.



(a) Bolinhas de gude.



(b) Esferas de madeira.

Figura 213: Bolinhas de gude e esferas de madeira utilizadas no experimento.

Cabe destacar que realizamos o experimento com todas as esferas, e com todas elas foi possível obter os resultados. No entanto, algumas eletrizam com mais facilidade do que as outras, e quanto mais eletrizada está a esfera, menos difícil é de se realizar o experimento. Tendo em vista a relação custo benefício, as esferas mais indicadas, pelo menos nos nossos testes, são as bolinhas de gude, pois são fáceis de serem encontradas e eletrizaram o suficiente para a realização do experimento.

## 14 Considerações Finais

A escassez de material histórico de qualidade para a educação científica é um problema bem documentado na literatura da área de Ensino de Ciências, em especial no que se refere à falta de traduções de fontes primárias. Neste contexto, há, também, uma discussão quanto à acessibilidade desse material traduzido para professores e alunos. Ou seja, não basta que sejam produzidos materiais de qualidade, é preciso que seu conteúdo seja acessível. Frente a isso, levantamos duas questões. i) Quais elementos podem ser inseridos em uma tradução de fonte primária a fim de ampliar o seu acesso para professores e alunos? ii) Como tais elementos podem ampliar o acesso às traduções de fontes primárias?

Entendemos que traduções de fontes primárias podem ter seu acesso ampliado se fizerem parte de um material mais amplo que contenha elementos como: comentários em forma de notas; figuras; sugestões de experimentos históricos com material de baixo custo; uma breve biografia do autor do texto; uma linha do tempo e algumas informações introdutórias. Esses elementos são recursos didáticos que podem dar ao leitor da tradução maior condição de compreender aquilo que está lendo, na medida em que disponibilizam informações que não estão no texto original e que são fundamentais para o seu entendimento.

Diante do exposto, este trabalho tem como resultado final um material de história da ciência, voltado para a educação científica, que não só disponibiliza traduções dos dez textos de Stephen Gray que versam sobre a temática eletricidade, mas permite maior acesso de professores e alunos ao conteúdo desses textos traduzidos. Buscamos propor, discutir e elaborar recursos didáticos para serem inseridos nas traduções, tendo em vista promover uma maior acessibilidade do seu conteúdo para docentes e aprendizes. A partir da elaboração desse material, procuramos contribuir para a diminuição da escassez de material histórico adequado para a educação em ciências, um problema sério que pode colocar em xeque a aproximação entre História da Ciência e Ensino de Ciências. Além disso, este trabalho contribui com a discussão sobre a acessibilidade de material histórico para a educação científica, ponto que entendemos como essencial quando se pensa no

sucesso daquela aproximação.

O material que produzimos é composto por traduções de textos de fonte primária escritos no início do Século XVIII por Stephen Gray. Junto às traduções foram inseridos comentários em forma de notas de rodapé, sendo estes de dois tipos. Um deles traz informações sobre a época em que os textos foram escritos, buscando contribuir para a análise diacrônica dos fatos e ideias. O outro tipo, traz discussões sobre os experimentos e fenômenos descritos nos textos a partir da física que está colocada em nossos livros texto. Estas discussões visam refletir sobre os conceitos físicos que são objeto de ensino nas escolas. Todos os comentários apresentados no material foram feitos por nós, uma vez que os originais não têm esse elemento. Os textos traduzidos passaram a contar com uma série de figuras, sendo que a maior parte delas foi feita por nós em um software específico. Algumas ilustrações foram adquiridas em fontes secundárias. Todas as figuras presentes nas traduções foram inseridas por nós, uma vez que os originais não trazem tal elemento. Juntamente às traduções disponibilizamos para os leitores um material que explica como reproduzir um conjunto de experimentos históricos feitos com material de baixo custo, sendo que todos eles referem-se a experimentos descritos por Gray. Apesar de serem feitos com materiais diferentes dos originais, guardam importantes características, princípios físicos e fenômenos fundamentais em relação àqueles descritos nos textos. A opção pelo material de baixo custo deve-se à sua maior acessibilidade e possibilidade de aplicação em sala de aula. Os comentários em forma de notas e as figuras estão disponíveis para o leitor no próprio texto. Já os experimentos históricos feitos com material de baixo custo foram colocados em subseções específicas após cada tradução.

Além desses três recursos, também elaboramos um conjunto de informações introdutórias, uma breve biografia e uma linha do tempo do período em que Gray viveu. As informações introdutórias foram disponibilizadas no 2º capítulo, feito especificamente para a discussão de elementos dos textos que devem ficar claros previamente para o leitor, a fim de que ele tenha maiores condições de entender o conteúdo das traduções. O 3º capítulo traz uma breve biografia de Gray e uma linha do tempo da sua época, uma vez que a partir desses recursos é possível disponibilizar informações gerais sobre a vida do autor e do período em que viveu, sobre o contexto científico e elementos conceituais da época. Tais informações podem ser relevantes para uma análise diacrônica dos fatos e das ideias.

Ainda com relação aos recursos produzidos para a elaboração do material histórico, cabe destacar que alguns desses elementos foram anacronizados. Se partirmos da acepção

do termo expressa nos dicionários, isto é, atribuir a uma época elementos que não lhe são peculiares, percebemos que algumas das figuras que fizemos apresentam informações que não são próprias do início do Século XVIII. Como já apontamos anteriormente, os sinais de “+” e/ou “-” representando cargas elétricas de naturezas distintas foram idealizados posteriormente aos trabalhos de Gray. Desta forma, as figuras são sempre representações dos experimentos e dos fenômenos descritos nos textos, mas as cargas ilustradas são sempre um auxílio para as discussões dos fenômenos feitas a partir da “teoria atual” da física. Vale ressaltar que as figuras representam nossas interpretações dos experimentos descritos nos textos. Os experimentos com material de baixo custo também são anacronizados, pois muitos dos materiais que utilizamos, *e.g.*, canudos de plástico, tubo de PVC, poliamida, etc., não são peculiares ao tempo em que Gray escreveu seus artigos. Da mesma forma, as notas que apresentam discussões dos fenômenos a partir das ideias presentes nos livros texto de hoje são elementos anacronizados, uma vez que fundamentam-se em conhecimentos de momentos posteriores à época dos textos traduzidos aqui.

Insistimos que estas notas não se enquadram na definição usual do conceito de anacronismo presente na historiografia da ciência, *i.e.*, estudar o passado com os olhos do presente ignorando o contexto da época, promovendo uma análise descontextualizada que traz sérias distorções na interpretação dos fatos. Muitas vezes, faz-se uma análise preconceituosa, selecionando e enaltecendo conceitos, teorias e cientistas em detrimento de outros fatores que são ignorados ou ridicularizados (MARTINS, 2005, p. 314);(FORATO; MARTINS; PIETROCOLA, 2009). Sem dúvida alguma este tipo de análise não traz qualquer contribuição para a educação científica.

Durante a realização deste trabalho nos deparamos com algumas dificuldades que julgamos pertinente reportar nessas considerações finais. Com relação à tradução, houve uma dificuldade inerente à escrita da época. Por exemplo, palavras que tiveram a grafia alterada; a fonte em que os textos foram impressos, que muitas vezes gera confusão entre algumas letras (*e.g.*, letra “s” e “f”), principalmente para o leitor iniciante; a pontuação dos textos, que às vezes dificulta o entendimento dos relatos; o estilo de escrita, que difere daquele que estamos acostumados. O primeiro texto, em específico, trouxe uma dificuldade maior porque não há pontuação, o que torna o processo de tradução bastante laborioso. Com relação à construção das figuras, cabe destacar que para elaborar várias delas foi preciso um trabalho minucioso de estudo, análise e interpretação das descrições. Muitas vezes não foi possível entender a conformação dos instrumentos e experimentos com base apenas na leitura imediata das descrições presentes nos textos. Em algumas situações fomos auxiliados por conhecimentos que já havíamos adquirido com o estudo do

próprio trabalho de Gray, em momentos anteriores à tese. No que tange aos experimentos históricos com material de baixo custo, destacamos duas dificuldades: i) na obtenção dos fenômenos descritos; ii) na aquisição do material para a construção dos experimentos.

Alguns fenômenos descritos por Gray não foram obtidos com os experimentos que realizamos, um exemplo disso é a luz que os textos reportam aparecer quando o tubo de vidro eletrizado era aproximado de alguns objetos. Ao que nos parece, a eletrização obtida com o tipo de vidro utilizado por Gray e por seus contemporâneos, como Hauksbee e Du Fay, era bem mais intensa do que aquela que obtemos com o tubo de PVC atritado com poliamida. De tal forma que o efeito luminoso reportado por Gray e por outros pesquisadores daquele período, só seria possível a partir de um objeto que estivesse bem mais eletrizado do que o tubo de PVC. Durante todo período em que realizamos este trabalho procuramos por materiais que pudessem apresentar maior eletrização do que o PVC, mas não foi possível encontrar nenhum. O fato de não conseguirmos chegar aos fenômenos descritos não coloca em xeque o trabalho de Gray, mas ilustra algumas limitações inerentes ao material que utilizamos. Na seção 2.5 foram discutidas outras dificuldades relacionadas com a comparação entre os fenômenos obtidos por Gray com os vidros de sua época e aqueles obtidos atualmente com os vidros comuns encontrados nas residências ou no comércio.

Com relação à dificuldade enfrentada para encontrar alguns materiais, destacamos o caso da linha de seda. Pequenos carretéis dessa linha são facilmente encontrados em algumas cidades, em lojas de material de costura. No entanto, inexitem em outras cidades, fato que vivenciamos ao longo deste trabalho. Neste mesmo sentido, não foi fácil encontrar esferas de madeira para realizar os experimentos da tradução 10, as quais só foram adquiridas porque contamos com a colaboração de dois amigos que se dispuseram a procurá-las e conseguiram adquiri-las para nós.

Na “Introdução” desta tese discorremos sobre a aproximação entre a História da Ciência e o Ensino de Ciências. Essa aproximação tem ganhado destaque nos últimos anos na educação em ciências, tendo em vista as contribuições que pode trazer para a alfabetização científica e para a formação do cidadão crítico e atuante na sociedade. Frente a este cenário, apresentamos três desafios elencados por Freire Jr. (2002, p. 24-7). O primeiro deles diz respeito à eficácia dos aspectos históricos na educação em ciências, sendo destacado que na abordagem histórica é preciso atentar para a importância dos conteúdos da ciência. O segundo desafio discute o problema da pequena quantidade de pesquisas empíricas a respeito da aplicação em sala de aula de propostas metodológicas organizadas



a partir da abordagem histórica. O terceiro propõe uma discussão acerca de qual é a história da ciência que interessa para a educação em ciências.

Entendemos que a História da Ciência pode contribuir de forma bastante importante para a compreensão dos conceitos científicos. A compreensão plena de alguns destes conceitos (ou seja, um entendimento real que não se limite a uma resolução algorítmica de contas) seria bastante facilitada, e talvez só seja possível, se o processo de ensino-aprendizagem for realizado a partir da análise conceitual por meio do estudo histórico. Caso contrário, estamos fadados a permanecer nesse processo de ensino-aprendizagem que permite aos alunos, no máximo, a aprendizagem por memorização. Insistimos que a física não é trivial, como muito bem argumenta a Professora Penha Dias (2001, p. 226-7). Compreender esse corpo de conhecimento organizado, articulado e complexo não é uma tarefa fácil, apesar de muitos de nós, os professores, não terem isso em mente na sua prática docente diária.

Por outro lado, a História da Ciência poderia servir de substrato para uma reflexão da física que temos em nossos livros texto atuais, a partir de fenômenos físicos descritos em textos antigos. A História da Ciência nos fornece inúmeros fenômenos que permitem uma reflexão sobre os “conceitos atuais” em situações bastante diversificadas e que não são assépticas como aquelas disponibilizadas pelos livros texto, cujo objetivo, em geral, é de o aluno operar um algoritmo de resolução de problemas.

Com relação às pesquisas que envolvem história da ciência e educação científica, entendemos ser fundamental que haja mais estudos empíricos em sala de aula. Isso é indispensável se quisermos pensar em uma abordagem histórica que contribua de fato com a alfabetização científica. Estas pesquisas revelam parâmetros importantes que devem ser considerados para uma efetiva e profícua aproximação entre História da Ciência e Ensino de Ciências. Um exemplo disso foi a nossa pesquisa de mestrado (BOSS, 2009). Após um semestre de discussões de traduções de fontes primárias em sala de aula, em uma disciplina de graduação em física, nos ficou evidente que esse tipo de texto tem que fazer parte de um material mais amplo que contemple outros elementos para que possa ser acessível para professores e alunos. Ou seja, foi a pesquisa empírica que nos fez perceber a importância de se pensar em recursos didáticos para serem disponibilizados junto às traduções.

Com relação a qual História da Ciência deve fazer parte da educação científica, a resposta pode ser dividida em duas partes. Primeiramente, as pesquisas têm mostrado que tanto a abordagem internalista quanto a externalista têm potencial para trazer con-

tribuições significativas para o ensino de ciências em qualquer nível. Portanto, é preciso se pensar na educação em ciências fundamentada em ambas as abordagens. Em segundo lugar, independentemente da abordagem, é preciso que os materiais históricos sejam de qualidade, além de acessíveis. Para que seja minimamente qualificado, um material deve ser elaborado procurando se evitar ao máximo aqueles quatro problemas discutidos pela Professora Lilian Martins (2005), isto é: i) História da Ciência puramente descritiva; ii) interpretação *anacrônica* da História, *i.e.*, descontextualizada, que ignora o contexto da época, preconceituosa, seletiva, etc.; iii) utilização ideológica da História da Ciência; iv) o “apudismo”. Neste mesmo sentido, o Professor Roberto Martins (2001) destaca erros bastante comuns presentes em trabalhos sobre história da ciência e aponta requisitos necessários para um pesquisador sério nessa área. Não restam dúvidas de que se o material histórico disponível para a educação em ciências não for de qualidade, tendo em vista o que fora discutido aqui, a abordagem histórica prestará um desserviço para a educação científica, sendo, inclusive, nociva a ela.

## Referências

- ASSIS, A. K. T. Newton e suas grandes obras: o Principia e o Óptica. In: ALMEIDA, M. J. P. M.; SILVA, H. C. (Org.). *Linguagens, leituras e ensino da ciência*. Campinas/SP: Mercado de Letras/Associação de Leitura do Brasil, 1998. p. 33–45.
- ASSIS, A. K. T. *Arquimedes, o centro de gravidade e a lei da alavanca*. Montreal: Apeiron, 2008. ISBN: 978-0-9732911-7-9. Disponível em: <[www.ifi.unicamp.br/~assis](http://www.ifi.unicamp.br/~assis)>.
- ASSIS, A. K. T. *Os fundamentos experimentais e históricos da eletricidade*. Montreal: Apeiron, 2010. ISBN: 9780986492617. Disponível em: <[www.ifi.unicamp.br/~assis](http://www.ifi.unicamp.br/~assis)>.
- AUSUBEL, D. P. *Educational psychology: a cognitive view*. Nova York: Holt, Rinehart and Winston, INC., 1968.
- AUSUBEL, D. P. *Aquisição e retenção de conhecimentos: uma perspectiva cognitiva*. Tradução de Lígia Teopisto. Lisboa: Paralelo, 2003.
- AUSUBEL, D. P.; NOVAK, J. D.; HANESIAN, H. *Psicologia educacional*. Tradução de Eva Nick *et al.* 2. ed. Rio de Janeiro: Interamericana, 1980.
- BASTOS, F. *História da Ciência e Ensino de Biologia: A pesquisa médica sobre a febre amarela (1881-1903)*. 203 p. Tese (Doutorado em Educação) — Faculdade de Educação – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.
- BASTOS, F. História da Ciência e pesquisa em ensino de ciências: breves considerações. In: NARDI, R. (Org.). *Questões atuais no ensino de ciências*. 2. ed. São Paulo: Escrituras, 2009. p. 49–58.
- BLONDEL, C.; WOLFF, B. Teinturiers et tubes de verre: Gray et Dufay. Disponível em: [www.ampere.cnrs.fr/parcourspedagogique](http://www.ampere.cnrs.fr/parcourspedagogique). 2005.
- BORVON, G. Pourquoi deux espèces d'électricité? Pourquoi deux sens du courant électrique? L'histoire de l'électricité nous aide à comprendre. Disponível em: [www.ampere.cnrs.fr](http://www.ampere.cnrs.fr). 2006.
- BOSS, S. L. B. *Ensino de eletrostática: a história da ciência contribuindo para a aquisição de subsunçores*. 136 f. Dissertação (Mestrado em Educação para a Ciência) — Faculdade de Ciências, Universidade Estadual Paulista, Bauru/SP, 2009.
- BOSS, S. L. B.; ASSIS, A. K. T.; CALUZI, J. J. *Stephen Gray - Montinho de água*. 2011. Vídeo (19seg.). Disponível em: <<http://www.youtube.com/watch?v=wh77Vzw-24s>>. Acesso em: 12 dez. 2011.
- BOSS, S. L. B.; ASSIS, A. K. T.; CALUZI, J. J. *Stephen Gray Revolução de pequenos corpos*. 2011. Vídeo (15seg.). Disponível em: <<http://www.youtube.com/watch?v=RtWRVr-1A1U>>. Acesso em: 12 dez. 2011.

BOSS, S. L. B.; CALUZI, J. J. Os conceitos de eletricidade vítrea e eletricidade resinosa segundo Du Fay. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 29, n. 4, p. 635–644, 2007.

BOSS, S. L. B.; CALUZI, J. J. Uma breve biografia de Stephen Gray (1666-1736). *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 32, n. 1, p. 1602, 2010.

BOSS, S. L. B.; SOUZA FILHO, M. P.; CALUZI, J. J. Fontes primárias e aprendizagem significativa: aquisição de subsunçores para a aprendizagem do conceito de carga elétrica. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, VII., 2009, Florianópolis. *Anais eletrônicos...* Florianópolis: Associação Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências, 2009. Disponível em: <[www.foco.fae.ufmg.br/viienepec/](http://www.foco.fae.ufmg.br/viienepec/)>. Acesso em: 11 jul. 2010.

BOSS, S. L. B.; SOUZA FILHO, M. P.; CALUZI, J. J. História da ciência e aprendizagem significativa: o experimento de Coulomb. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, VII., 2009, Florianópolis. *Anais eletrônicos...* Florianópolis: Associação Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências, 2009. Disponível em: <[www.foco.fae.ufmg.br/viienepec/](http://www.foco.fae.ufmg.br/viienepec/)>. Acesso em: 11 jul. 2010.

BOSS, S. L. B.; SOUZA FILHO, M. P.; CALUZI, J. J. Textos históricos de fonte primária - contribuições para a aquisição de subsunçores pelos estudantes para a formação do conceito de carga elétrica. In: CALDEIRA, A. M. A. (Org.). *Ensino de ciências e matemática II: temas sobre a formação de conceitos*. São Paulo: Cultura Acadêmica, 2009. Disponível em: <[www.culturaacademica.com.br/titulo\\_view.asp?ID=29](http://www.culturaacademica.com.br/titulo_view.asp?ID=29)>. Acesso em: 11 jul. 2010.

BOSS, S. L. B.; SOUZA FILHO, M. P.; CALUZI, J. J. Contribuições de um texto histórico de fonte primária para a aprendizagem significativa da lei de Coulomb. In: BASTOS, F. (Org.). *Ensino de ciências e matemática III: contribuições da pesquisa acadêmica a partir de múltiplas perspectivas*. São Paulo: Cultura Acadêmica, 2010. p. 193–217. Disponível em: <[www.culturaacademica.com.br/titulo\\_view.asp?ID=109](http://www.culturaacademica.com.br/titulo_view.asp?ID=109)>. Acesso em: 05 maio 2011.

BOSS, S. L. B. et al. História da ciência e aprendizagem significativa: o conceito de carga elétrica. In: ENCONTRO DE PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA, XI., 2008, Curitiba. *Anais eletrônicos...* Curitiba: Sociedade Brasileira de Física, 2008.

BOSSA, T. H. S. et al. Estudo da condutividade elétrica de vidros de isoladores de linhas de transmissão hvdc dopados. In: CONGRESSO DA ACADEMIA TRINACIONAL DE CIÊNCIAS, II., 2007, Foz do Iguaçu/PR. *Anais eletrônicos...* Foz do Iguaçu/PR, 2007.

BOYLE, R. *The philosophical works of the Honourable Robert Boyle Esq: abridged, methodized, and disposed under the general heads of physics, statics, pneumatics, natural history, chymistry, and medicine*. (Ed.). SHAW, P. Londres: W. and J. Innys, 1725. Disponível em: <[books.google.com/books?id=Y-YJAAAAMAAJ](http://books.google.com/books?id=Y-YJAAAAMAAJ)>. Acesso em: 24 fev. 2011.

BOYLE, R. Experiments and notes about the mechanical origin or production of electricity. In: HUNTER, M.; DAVIS, E. B. (Eds.). *The works of Robert Boyle*. London: Pickering & Chatto, 2000. p. 509–523. v. 8. (Trabalho publicado originalmente em 1675).

- BRASIL. *Ministério da Educação. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. Parâmetros Curriculares Nacionais: Ensino Médio (Parte III - Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias)*. Brasília: MEC, 2000.
- BUENO, M. C. F. *Os textos originais para ensinar conceitos de mecânica*. 164 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências) — Universidade de São Paulo - Instituto de Física, São Paulo, 2009.
- BUENO, M. C. F.; PACCA, J. L. A. Os textos originais para ensinar conceitos de mecânica. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, XVIII., 2009, Vitória. *Anais eletrônicos...* Vitória: Sociedade Brasileira de Física, 2009.
- CALUZI, J. J.; BOSS, S. L. B.; SOUZA FILHO, M. P. Otto de Guericke: experiências com um globo de enxofre. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE HISTÓRIA DA CIÊNCIA E DA TECNOLOGIA, 12., 2010, Salvador. *Anais eletrônicos...* Salvador: Sociedade Brasileira de História da Ciência, 2010.
- CALUZI, J. J.; SOUZA FILHO, M. P.; BOSS, S. L. B. A história hipotética na Física: distorções da História da Ciência nos livros didáticos sobre o experimento de Oersted. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, VI., 2007, Florianópolis. *Anais eletrônicos...* Florianópolis: Associação Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências, 2007. Disponível em: <[www.fae.ufmg.br/abrapec/viempec](http://www.fae.ufmg.br/abrapec/viempec)>. Acesso em: 3 set. 2008.
- CANBY, E. T. *História da eletricidade*. Tradução portuguesa de Helena Paes. Lausanne: Livraria Moraes, 1966. (Coleção A Ciência Ilustrada).
- CARVALHO, A. M. P.; VANNUCCHI, A. O currículo de Física: inovações e tendências nos anos noventa. *Investigações em Ensino de Ciências*, v. 1, n. 1, p. 3–19, 1996.
- CAVICCHI, E. M. Historical experiments in students' hands: unfragmenting science through action and history. *Science & Education*, v. 17, n. 7, p. 717–49, 2008.
- CAVICCHI, E. M. Classroom explorations: pendulums, mirrors, and Galileo's drama. *Interchange*, v. 42, n. 1, p. 21–50, 2011.
- CHAIB, J. P. M. C.; ASSIS, A. K. T. Experiência de Oersted em sala de aula. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 29, n. 1, p. 41–51, 2007.
- CHANG, H. How historical experiments can improve scientific knowledge and science education: the cases of boiling water and electrochemistry. *Science & Education*, v. 20, n. 3-4, p. 317–41, 2011.
- CHIPMAN, R. A. An unpublished letter of Stephen Gray on electrical experiments, 1707-1708. *Isis*, v. 45, n. 1, p. 33–40, 1954.
- CHIPMAN, R. A. The manuscript letters of Stephen Gray, F.R.S. (1666/7-1736). *Isis*, v. 49, n. 4, p. 414–433, 1958.
- CLARK, D. H.; CLARK, S. P. H. *Newton's tyranny: the suppressed scientific discoveries of Stephen Gray and John Flamsteed*. Nova York: Freeman and Company, 2000.

- CLARK, D. H.; MURDIN, L. The enigma of Stephen Gray astronomer and scientist (1666-1736). *Vistas in Astronomy*, v. 23, p. 351–404, 1979.
- COHEN, I. B. Neglected sources for the life of Stephen Gray (1666 or 1667-1736). *Isis*, v. 45, n. 1, p. 41–50, 1954.
- COLONESE, P. H. História da Ciência a partir de fontes originais, textos teatrais e iconografias: os casos das estrelas esquisitas de júpiter, do escriba egípcio Ahmés e do curioso Leeuwenhoeck. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIA, VII., 2009, Florianópolis. *Anais eletrônicos...* Florianópolis: Associação Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências, 2009.
- COURTNEY, W. P. Stephen Gray, F.R.S. *Notes and Queries*, v. 6, p. 161–3 e 354, 1906.
- DANHONI NEVES, M. C. A história da ciência no ensino de física. *Ciência & Educação*, v. 5, n. 1, p. 73–81, 1998.
- DIAS, P. M. C. (Im)Pertinência da História ao aprendizado da Física (um estudo de caso). *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 23, n. 2, p. 226–235, 2001.
- DOPPELMAYR, J. G. *Neu-entdeckte Phaenomena von bewunderswürdigen Wirkungen der Natur*. Nurenburg: [s.n.], 1774.
- DU FAY, C. F. C. Quatrième mémoire sur l'électricité. De l'attraction et répulsion des corps électriques. *Mémoires de l'Académie Royale des Sciences*, p. 457–476, 1733.
- DU FAY, C. F. C. A letter from Mons. Du Fay, F.R.S. and of the Royal Academy of Sciences at Paris, to his Grace Charles Duke of Richmond and Lenox, concerning electricity. Translated from the French by T.S. MD. *Philosophical Transactions*, v. 38, n. 431, p. 258–266, 1733–4.
- DU FAY, C. F. C. Cinquième mémoire sur l'électricité: Où l'on rend compte des nouvelles découvertes sur cette matière, faites depuis peu par M. Gray; et où l'on examine quelles sont les circonstances qui peuvent apporter quelque changement à l'électricité pour l'augmentation ou la diminution de sa force, comme la température de l'air, le vuide, l'air comprimé, etc. *Mémoires de l'Académie Royale des Sciences*, p. 341–361, 1734.
- DU FAY, C. F. C. Huitième mémoire sur l'électricité. *Mémoires de l'Académie Royale des Sciences*, p. 307–325, 1737.
- EDDY, J. A. The maunder minimum. *Science*, v. 192, n. 4245, p. 1189–1202, 1976.
- EFFLUVIUM. In: *Encyclopaedia; or, a dictionary of arts, sciences, and miscellaneous literature*. Philadelphia: Thomas Dobson, 1798. v. 6, p. 365.
- EL-HANI, C. N. Notas sobre o ensino de História e Filosofia da Ciência na educação científica de nível superior. In: SILVA, C. C. (Org.). *Estudos de História e Filosofia das Ciências: subsídios para aplicação no ensino*. São Paulo: Livraria da Física, 2006. p. 3–21.
- EL-HANI, C. N. Notas sobre o ensino de História e Filosofia da Biologia na Educação Superior. In: NARDI, R. (Org.). *A pesquisa em ensino de ciências no Brasil: alguns recortes*. São Paulo: Escrituras, 2007. p. 293–315.

ELECTRICITY. In: *Encyclopaedia; or, a dictionary of arts, sciences, and miscellaneous literature*. Philadelphia: Thomas Dobson, 1798. v. 6, p. 418.

FERREIRA, N.; MAURY, J.-P. *Plus et Moins, les Charges Électriques. Qu'est-ce que c'est?* Paris: Ophrys, 1991. ISBN 2-7080-0643-6.

FERREIRA, N. C. O versorium. In: FERREIRA, N. C. (Org.). *Ciência hoje na escola: eletricidade*. São Paulo: Global - SBPC, 2001. v. 12.

FIGUIER, L. *Ler Merveilles de la Science ou Description Populaire des Inventions Modernes*. Paris: Jouvet et Cie., 1867.

FIGUIER, L. G. *Les Merveilles de l'Électricité*. Paris: Association pour l'Histoire de l'Électricité en France, 1985. Textes choisis présentés par Fabienne Cardot.

FORATO, T. C. M.; MARTINS, R. A.; PIETROCOLA, M. Prescrições historiográficas e saberes escolares: alguns desafios e riscos. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIA, VII., 2009, Florianópolis. *Anais eletrônicos...* Florianópolis: Associação Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências, 2009. Disponível em: <<http://www.foco.fae.ufmg.br/pdfs/920.pdf>>. Acesso em: 30 set. 2011.

FRANÇA SILVA, T. *O uso de organizadores prévios elaborados com trechos de textos históricos originais como recurso de ensino*. 109 f. Dissertação (Mestrado em Educação) — Universidade de Brasília – Faculdade de Educação, Brasília, 2010.

FREIRE JR., O. A relevância da Filosofia e da História da Ciências para a formação dos professores de Ciências. In: SILVA FILHO, W. J. (Org.). *Epistemologia e ensino de Ciências*. Salvador/BA: Arcádia, 2002. p. 13–30.

FURIO, C.; GUIASOLA, J. Difficulties in learning the concept of electric field. *Science Education*, v. 82, n. 4, p. 511–526, 1998.

FURIO, C.; GUIASOLA, J. Dificultades de aprendizaje de los conceptos de carga y de campo eléctrico en estudiantes de bachillerato y universidad. *Enseñanza de las Ciencias*, v. 16, n. 1, p. 131–146, 1998.

FURIO, C.; GUIASOLA, J. Concepciones alternativas y dificultades de aprendizaje en electrostática. Selección de cuestiones elaboradas para su detección y tratamiento. *Enseñanza de las Ciencias*, v. 17, n. 3, p. 441–452, 1999.

GALDABINI, S.; ROSSI, O. Using historical papers in ordinary physics teaching at high school. *Science & Education*, v. 2, n. 3, p. 239–242, 1993.

GASPAR, A. *Experiências de ciências para o ensino fundamental*. São Paulo: Ática, 2005.

GAUDENZI, G.; SATOLLI, R. *Jean-Paul Marat: Scienziato e Rivoluzionario*. Milano: Mursia, 1989.

GRAY, S. An account of some new electrical experiments. *Philosophical Transactions*, v. 31, n. 366, p. 104–107, 1720–1.

GRAY, S. A letter concerning the electricity of water, from Mr. Stephen Gray to Cromwell Mortimer, M.D. Secr. R.S. *Philosophical Transactions*, v. 37, n. 422, p. 227–230 e 260, 1731–2.

GRAY, S. A letter from Mr. Stephen Gray to Dr. Mortimer, Secr. R.S. containing a farther account of his experiments concerning electricity. *Philosophical Transactions*, v. 37, n. 423, p. 285–291, 1731–2.

GRAY, S. A letter to Cromwell Mortimer, M.D. Secr. R.S. containing several experiments concerning electricity. *Philosophical Transactions*, v. 37, n. 417, p. 18–44, 1731–2.

GRAY, S. Two letters from Mr. Stephen Gray, F.R.S. to C. Mortimer, M.D. Secr. R.S. containing farther accounts of his experiments concerning electricity. *Philosophical Transactions*, v. 37, n. 426, p. 397–407, 1731–2.

GRAY, S. An account of some electrical experiments intended to be communicated to the Royal Society by Mr. Stephen Gray, F.R.S. taken from his mouth by Cromwell Mortimer, M.D. R.S. Secr. on Feb. 14, 1735–6. Being the day before he died. *Philosophical Transactions*, v. 39, n. 444, p. 400–403, 1735–6.

GRAY, S. Experiments and observations upon the light that is produced by communicating electrical attraction to animal or inanimate bodies, together with some of its most surprising effects; communicated in a letter from Mr. Stephen Gray, F.R.S. to Cromwell Mortimer, M.D. R.S. Secr. *Philosophical Transactions*, v. 39, n. 436, p. 16–24, 1735–6.

GRAY, S. A letter from Stephen Gray, F.R.S. to Dr. Mortimer, Secr. R.S. containing some experiments relating to electricity. *Philosophical Transactions*, v. 39, n. 439, p. 166–170, 1735–6.

GRAY, S. Mr. Stephen Gray, F.R.S. his last letter to Granville Wheler, Esq.; F.R.S. concerning the revolutions which small pendulous bodies will, by electricity, make round larger ones from west to east as the planets do round the sun. *Philosophical Transactions*, v. 39, n. 441, p. 220, 1735–6.

GUERICKE, O. *Experimenta nova (ut vocantur) Magdeburgica de vacuo spatio*. [S.l.]: Joannem Janssonium, 1672. Disponível em: <[http://books.google.com/books?id=ZJU\\_AAAAcAAJ](http://books.google.com/books?id=ZJU_AAAAcAAJ)>. Acesso em: 06 mar. 2011.

GUÇÃO, M. F. B. et al. Uma análise do conteúdo histórico nos livros didáticos do Ensino Médio: Eletrostática. In: ENCONTRO DE PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA, XI., 2008, Curitiba. *Anais eletrônicos...* Curitiba: Sociedade Brasileira de Física, 2008.

GUÇÃO, M. F. B. et al. Dificuldades na inserção da história da ciência no ensino de ciência: poema para Galileu sob duas versões. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, VII., 2009, Florianópolis. *Anais eletrônicos...* Florianópolis: Associação Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências, 2009. Disponível em: <[www.foco.fae.ufmg.br/viienepec/](http://www.foco.fae.ufmg.br/viienepec/)>. Acesso em: 11 jul. 2010.

GUTMANN, F. The electret. *Reviews of Modern Physics*, v. 20, n. 3, p. 457–472, 1948.



HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. *Fundamentos de Física 2: Gravitação, Ondas e Termodinâmica*. Tradução de Amy Bello B. de Oliveira et al. 4. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1996.

HAUKSBEE, F. An account of an experiment made before the Royal Society at Gresham-Colledge, touching the extraordinary elisticity of glass, produceable on a smart attrition of it; with a continuation of experiments on the same subject, and other phenomena. *Philosophical Transactions*, v. 25, n. 308, p. 2327–2335, 1706–7.

HAUKSBEE, F. An account of an experiment made before the Royal Society, touching the proportion of the weight of air, to the weight of a like bulk of water, without knowing the quantity of either. *Philosophical Transactions*, v. 25, n. 305, p. 2221–2222, 1706–7.

HAUKSBEE, F. An account of an experiment, touching the quantity of air produced from a certain quantity of gunpowder fired in common air. *Philosophical Transactions*, v. 25, n. 311, p. 2409–2411, 1706–7.

HAUKSBEE, F. An experiment made at Gresham-College, shewing that the seemingly spontaneous ascension of water in small tubes open at both ends is the same in vacuo as in the open air. *Philosophical Transactions*, v. 25, n. 305, p. 2223–2224, 1706–7.

HAUKSBEE, F. An account of some experiments, touching the electricity and light producible on the attrition of several bodies. *Philosophical Transactions*, v. 26, n. 315, p. 87–92, 1708–9.

HAUKSBEE, F. An account of the repetition of an experiment touching motion given bodies included in a glass, by the approach of a finger near its outside: with other experiments on the effluvia of glass. *Philosophical Transactions*, v. 26, n. 315, p. 82–86, 1708–9.

HAUKSBEE, F. *Physico-mechanical experiments on various subjects. Containing an account of several surprizing phenomena touching light and electricity, producible on the attrition of bodies*. Londres: R. Brugis, 1709.

HAUKSBEE, F. An account of an experiment, concerning an endeavour to produce light thro' a metallick body, under the circumstances of a vacuum and attrition. *Philosophical Transactions*, v. 27, n. 331, p. 328–330, 1710–12.

HEERING, P. Getting shocks: teaching secondary school Physics through history. *Science & Education*, v. 9, n. 4, p. 363–73, 2000.

HEERING, P. Analysing unsuccessful experiments and instruments with the replication method. *Éndoxa*, n. 19, p. 315–40, 2005. (Series Filosóficas).

HEERING, P.; WITTJE, R. An historical perspective on instruments and experiments in science education. *Science & Education*, 2011. Published online: 09 January 2011 – DOI: 10.1007/s11191-010-9334-z.

HEILBRON, J. L. *Electricity in the 17th and 18th Century: a study of early modern physics*. Berkeley: University of California Press, 1979.

- HIPSTTUBE. *Electrical conduction on the wrong track*: Stephen Gray. Produção de History and Philosophy in Science Teaching – HIPSTTUBE. 2010. Vídeo (14:05min.). Disponível em: <<http://www.youtube.com/watch?v=CXth6EBxBCw&feature=endscreen&NR=1>>. Acesso em: 12 dez. 2011.
- HOME, R. W. *The effluvial theory of electricity*. New York: Arno Press, 1981.
- HOTTECKE, D. How and what can we learn from replicating historical experiments? A case study. *Science & Education*, v. 9, p. 343–362, 2000.
- HOTTECKE, D.; HENKE, A.; RIESS, F. Implementing History and Philosophy in Science Teaching: strategies, methods, results and experiences from the European HIPST Project. *Science & Education*, p. 1–29, 2010. Published online: 10 december 2010 – DOI 10.1007/s11191-010-9330-3.
- HOTTECKE, D.; SILVA, C. C. Why implementing History and Philosophy in school Science Education is a challenge: an analysis of obstacles. *Science & Education*, v. 20, n. 3-4, p. 293–316, 2011.
- HUYGENS, C. Tratado sobre a luz. *Cadernos de História e Filosofia da Ciência*, v. 4 (supl.), p. 1–99, 1986. Tradução de Roberto de Andrade Martins.
- JEFIMENKO, O. D.; WALKER, D. K. Electrets. *The Physics Teacher*, v. 18, n. 9, p. 651–659, 1980.
- KOPONEN, I. T.; MANTYLA, T. Generative role of experiments in Physics and in Teaching Physics: a suggestion for epistemological reconstruction. *Science & Education*, v. 15, n. 1, p. 31–54, 2006.
- KRAGH, H. *Introdução à historiografia da Ciência*. Tradução de Carlos Grifo Babo. Porto: Porto, 2001. (Coleção História e Filosofia da Ciência).
- LANGEVIN, P. O valor educativo da História das Ciências. In: GAMA, R. (Org.). *Ciência e técnica*: antologia de textos históricos. São Paulo: T. A. Queiroz, 1992. p. 8–29.
- LEAL FERREIRA, G. F. Há 50 anos: o efeito Costa Ribeiro. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 22, n. 3, p. 434–443, 2000.
- MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. *Fundamentos de metodologia científica*. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2009.
- 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. 112–31, 2007.
- MARTINS, L. A. P. História da ciência: objetos, métodos e problemas. *Ciência & Educação*, v. 11, n. 2, p. 305–317, 2005.
- MARTINS, R. A. Arquimedes e a coroa do rei: problemas históricos. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, v. 17, n. 2, p. 115–21, 2000.

MARTINS, R. A. Que tipo de História da Ciência esperamos ter nas próximas décadas? *Episteme*, n. 10, p. 39–56, 2000.

MARTINS, R. A. Como não escrever sobre História da Física - um manifesto historiográfico. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 23, n. 1, p. 113–129, 2001.

MARTINS, R. A. Introdução: a História das Ciências e seus usos na educação. In: SILVA, C. C. (Org.). *Estudos de História e Filosofia das Ciências: subsídios para aplicação no ensino*. São Paulo: Livraria da Física, 2006. p. XVII–XXX.

MARTINS, R. A. A maçã de Newton: história, lendas e tolices. In: SILVA, C. C. (Org.). *Estudos de História e Filosofia das Ciências: subsídios para aplicação no ensino*. São Paulo: Livraria da Física, 2006. p. 167–89.

MATTHEWS, M. R. *Science teaching: the role of History and Philosophy of Science*. New York: Routledge, 1994.

MATTHEWS, M. R. História, Filosofia e Ensino de Ciências: a tendência atual de reaproximação. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, v. 12, n. 3, p. 164–214, 1995.

MEDEIROS, A. As origens históricas do eletroscópio. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 24, n. 3, p. 353–61, 2002.

MEDEIROS, A. J. G.; MONTEIRO JR., F. N. A reconstrução de experimentos históricos como uma ferramenta heurística no ensino da Física. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, III., 2001, Atibaia-SP. *Anais eletrônicos...* Atibaia-SP: Associação Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências, 2001.

MEDEIROS, A. J. G.; MONTEIRO, M. A. As invisibilidades dos pressupostos e das limitações da teoria de copérnico nos livros didáticos de física. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 19, n. 1, p. 29–52, 2002.

METZ, D.; STINNER, A. A role for historical experiments: capturing the spirit of the itinerant lecturers of the 18th century. *Science & Education*, 2006. DOI: 10.1007/s11191-006-9016-z.

MONK, M.; OSBORNE, J. Placing the History and Philosophy of Science on the curriculum: a model for the development of pedagogy. *Science Education*, v. 81, n. 4, p. 405–424, 1997.

MONTENEGRO, A. G. P. M. A leitura de textos originais de Faraday por alunos da terceira série do Ensino Médio. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, XVI., 2005, Rio de Janeiro. *Anais eletrônicos...* Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Física, 2005.

MONTENEGRO, A. G. P. M. *A leitura de textos originais de Faraday por alunos do Ensino Fundamental e Médio*. 98 f. Dissertação (Mestrado em Educação) — Universidade Estadual de Campinas - Faculdade de Educação, Campinas/SP, 2005.

MOREIRA, M. A.; MASSONI, Z. T.; OSTERMANN, F. “História e epistemologia da física” na licenciatura em física: uma disciplina que busca mudar concepções dos alunos sobre a natureza da ciência. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 29, n. 1, p. 127–34, 2007.

NEWTON, I. *Óptica*. Tradução de André Koch Torres Assis. São Paulo: Edusp, 1996.

NOLLET, J. A. *Essai sur l'électricité des corps*. 3. ed. Paris: H. L. Guerin & L. F. Delatour, 1754.

NUSSENZVEIG, H. M. *Curso de física básica: 1 Mecânica*. 4. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2002.

OSTERMANN, F.; RICCI, T. Relatividade restrita no Ensino Médio: os conceitos de massa relativística e de equivalência massa-energia em livros didáticos de Física. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, v. 21, n. 1, p. 83–102, 2004.

PAULA, R. C. O. *O uso de experimentos históricos no Ensino de Física: integrando as dimensões histórica e empírica da Ciência na sala de aula*. 139 f. Dissertação (Mestrado Profissionalizante em Ensino de Ciências) — Universidade de Brasília - Decanato de Pesquisa e Pós-Graduação - Instituto de Física - Instituto de Química, Brasília, 2006.

PEDUZZI, L. O. Q. Do átomo grego ao átomo de Bohr: receptividade inicial e perspectivas de pesquisa em um texto voltado para uma disciplina de Evolução dos Conceitos da Física. In: NARDI, R. (Org.). *A pesquisa em ensino de ciências no Brasil: alguns recortes*. São Paulo: Escrituras, 2007. p. 293–315.

PEREIRA, G. J. S. A. *História e Filosofia da Ciência nos currículos das licenciaturas em Física e Química da UFRN*. 235 f. Dissertação (Mestrado em Educação) — Universidade Federal do Rio Grande do Norte - Centro de Ciências Sociais Aplicadas - Programa de Pós-Graduação em Educação, Natal/RN, 2009.

PESSOA JR., O. Quando a abordagem histórica deve ser utilizada no ensino de Física? *Ciência e Ensino*, v. 1, p. 4–6, 1996.

RIPE. *Ciência à Mão - Portal de Ensino de Ciências - Experimentoteca Ludoteca - Instituto de Física da USP*: Projeto RIPE - Seção Eletrostática. 1990. Disponível em: <[www.ludoteca.if.usp.br/index.php](http://www.ludoteca.if.usp.br/index.php)>. Acesso em: 14 set. 2010.

ROBILOTTA, M. R. O cinza, o branco e o preto - da relevância da História da Ciência no Ensino da Física. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, v. 5, 1988. Número Especial.

ROLLER, D.; ROLLER, D. H. D. The development of the concept of electric charge: electricity from the Greeks to Coulomb. In: CONANT, J. B.; NASH, L. K. (Org.). *Harvard case histories in experimental science*. Cambridge - Massachusetts: Harvard University Press, 1957. cap. 08, p. 543–639.

ROSA, K.; MARTINS, M. C. A inserção de História e Filosofia da Ciência no currículo de licenciatura em Física da Universidade Federal da Bahia: uma visão de professores universitários. *Investigações em Ensino de Ciências*, v. 12, n. 3, p. 321–37, 2007.

RUFATTO, C. A.; CARNEIRO, M. C. A importância da história e da filosofia da ciência para o ensino de ciências. In: CARNEIRO, M. C. (Org.). *História e filosofia das ciências e o ensino de ciências*. São Paulo: Cultura Acadêmica, 2011. p. 30–53.

SCHIRMER, S. B.; SAUERWEIN, I. P. S. História e Filosofia da Ciência para sala de aula no EPEF (2002-2010). In: ENCONTRO DE PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA, XIII., 2011, Foz do Iguaçu/PR. *Anais eletrônicos...* Foz do Iguaçu/PR: Sociedade Brasileira de Física, 2011. Disponível em: <<http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/enf/2011/sys/resumos/T2284-1.pdf>>. Acesso em: 20 set. 2011.

SESSLER, G. M. Bernhard Gross and the evolution of modern electret research. *Brazilian Journal of Physics*, v. 29, n. 2, p. 220–225, 1999.

SEVERINO, A. J. *Metodologia do trabalho científico*. 23. ed. São Paulo: Cortez, 2007.

SILVA, C. C.; MARTINS, R. A. A “Nova teoria sobre luz e cores” de Isaac Newton: uma tradução comentada. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 18, n. 4, p. 313–327, 1996.

SILVA JUNIOR, V. A. *Fabricação e aplicação de eletretos – relatório final de “Tópicos de Ensino de Física I” (F 609)*. 2010. Universidade Estadual de Campinas - Instituto de Física “Gleb Wataghin”.

SILVA JUNIOR, V. A. *História e propriedades dos eletretos*. 2010. Monografia - Universidade Estadual de Campinas - Instituto de Física “Gleb Wataghin”.

SOUSA, D. F. et al. Eletroscópio de alta sensibilidade. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 18, n. 1, p. 61–64, 1996.

SOUZA FILHO, M. P. *O erro em sala de aula: subsídios para o ensino do eletromagnetismo*. 229 p. Tese (Doutorado em Educação para a Ciência) — Faculdade de Ciências - Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2009.

SOUZA FILHO, M. P.; BOSS, S. L. B.; CALUZI, J. J. A eletricidade do século XVIII sob a óptica de Bachelard e suas implicações para o ensino de física. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, VII., 2009, Florianópolis. *Anais eletrônicos...* Florianópolis: Associação Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências, 2009. Disponível em: <[www.foco.fae.ufmg.br/viienepec/](http://www.foco.fae.ufmg.br/viienepec/)>. Acesso em: 11 jul. 2010.

STEVENS, A.; FLOY, J. *National Magazine*. Nova York: Carlton & Phillips, 1853. v. 3. (The Charterhouse - p. 195-201).

TEIXEIRA, E. S.; FREIRE JR., O.; EL-HANI, C. N. A influência de uma abordagem contextual sobre as concepções acerca da natureza da ciência de estudantes de Física. *Ciência & Educação*, v. 15, n. 3, p. 529–556, 2009.

TEIXEIRA, E. S.; GRECA, I. M.; FREIRE JR., O. The History and Philosophy of Science in Physics Teaching: a research synthesis of didactic interventions. *Science & Education*, p. 1–26, 2009. Published online: 13 november 2009 – DOI 10.1007/s11191-009-9217-3.

TOZONI-REIS, M. F. C. *Metodologia de pesquisa científica*. Curitiba: IESDE Brasil, 2007.

VILLANI, A. Reflexões sobre o Ensino de Física no Brasil: prática, conteúdos e pressupostos. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 6, n. 2, p. 76–95, 1984.

VILLANI, A. et al. Filosofia da Ciência, História da Ciência e Psicanálise: analogias para o Ensino de Ciências. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, v. 14, n. 1, p. 37–55, 1997.

WEST, J. B. Robert Boyle's landmark book of 1660 with the first experiments on rarified air. *Journal of Applied Physiology*, v. 98, p. 31–39, 2005.

WHEELER, G. A letter from Granvile Wheeler, Esq; to Dr. Mortimer, Secr. R.S. containing some remarks on the late Stephen Gray, F.R.S. his electrical circular experiment. *Philosophical Transactions*, v. 41, p. 118–25, 1739–41.

WHEELER, G.; MORTIMER, C. An account of some of the electrical experiments made by Granvile Wheeler, Esq; at the Royal Society's House, on may 11. 1737. Drawn up by C. Mortimer, M.D. R.S. Secr. *Philosophical Transactions*, v. 41, p. 112–17, 1739–41.

WHITTAKER, E. T. *A history of the theories of aether and electricity: from the age of Descartes to the close of the Nineteenth Century*. London: Longmans, Green and CO., 1910.

ZANETIC, J. Literatura e cultura científica. In: ALMEIDA, M. J. P. M.; SILVA, H. C. (Org.). *Linguagens, leituras e ensino da ciência*. Campinas/SP: Mercado de Letras/Associação de Leitura do Brasil, 1998. p. 11–31.

ZIMMERMANN, N.; SILVA, H. C. Os diferentes modos de leitura no ensino de Ciências. In: CONGRESSO DE LEITURA DO BRASIL, 16., 2007, Campinas/SP. *Anais...* Campinas/SP, 2007.