

Relatório Final de Tópicos de Ensino de Física I
(F 609)



Aluno: Valter Aparecido Silva Júnior
RA: 072554
E-mail: valtersjunior@gmail.com

Orientador: Prof. Dr. André Koch Torres de Assis
Homepage: www.ifi.unicamp.br/~assis

Coordenador da disciplina: Prof. Dr. José J. Lunazzi
E-mail: lunazzi@ifi.unicamp.br

Título do Projeto: Fabricação e Aplicação de Eletretos

Instituto de Física
UNICAMP

Novembro de 2010

1 Agradecimentos

Ao Prof. Dr. André Koch Torres de Assis, orientador, pela ideia inicial e acompanhamento durante todo o desenvolvimento deste trabalho. Pelas sugestões e discussões sempre pertinentes e enriquecedoras.

A Sérgio Luiz Bragatto Boss, pelos artigos enviados.

Ao prezado colega e amigo Eduardo Zavanin pela ajuda e colaboração dadas.

A João Paulo Martins de Castro Chaib pelo auxílio técnico prestado.

Sumário

1	Agradecimentos	2
2	Introdução	4
2.1	Descrição	4
2.2	Importância Didática	4
2.3	Originalidade	5
2.4	Lista de Materiais	5
2.5	Comentários Adicionais	5
3	Resultados Atingidos	5
3.1	Instrumentos Elétricos Construídos	5
3.1.1	O Eletroscópio	5
3.1.2	Linha Pendular	8
3.2	O Eletróforo de Volta	10
3.2.1	Operando o Eletróforo	10
3.2.2	Preservação Temporal das Cargas em uma Superfície Isolante Atritada	11
3.2.3	Algumas Experiências com o Eletróforo	12
3.3	Fabricação de Eletretos	13
3.3.1	Primeiras Tentativas	13
3.3.2	Caracterizando as Cargas de um Eletreto	14
3.3.3	Preservação Temporal das Cargas em um Eletreto de Parafina	15
3.3.4	Algumas Experiências com o Eletreto de Parafina	16
3.3.5	Microfone de Eletreto	16
3.3.6	Algumas Experiências com um Eletreto Comercial	18
4	Conclusão	18
5	Declaração do Orientador	18

2 Introdução

2.1 Descrição

Os eletretos são considerados os ímãs da eletrostática.¹ Ou seja, são substâncias que apresentam uma eletrização permanente. Alguns eletretos possuem uma carga permanente positiva, outros têm uma carga permanente negativa, enquanto que outros apresentam um dipolo elétrico permanente. Eles foram descobertos por Stephen Gray (1666-1736) em 1732.² Deve-se a Gray a descoberta fundamental dos condutores e isolantes, assim como de suas principais características.³

Este trabalho tem dois objetivos principais. O primeiro é a tentativa de fabricação de eletretos utilizando um método similar ao de Gray, analisando ainda as condições para se obter a preservação temporal da eletrização assim adquirida. O segundo é a realização de experiências com eletretos industrializados encontrados em microfones e em outros equipamentos modernos.⁴

Para fabricar os eletretos, Gray utilizou as seguintes substâncias dielétricas: resina, goma-laca, cera de abelhas e enxofre. Elas eram derretidas em conchas de ferro, sendo depois resfriadas e endurecidas. Após este processo observou que elas haviam sido naturalmente eletrizadas, atraindo corpos leves colocados em suas proximidades.

Além disso, Gray descobriu que podia preservar esta eletrização por alguns meses ao embrulhar estes corpos com papel ou com tecidos. Tentaremos reproduzir a maior parte destas experiências neste projeto.

Em paralelo com isto pretendemos também realizar algumas experiências com os eletróforos de Volta utilizando materiais de baixo custo.⁵ A ideia aqui é explorar a preservação temporal das cargas nestes eletróforos, comparando com o que ocorre nos eletretos.

A segunda parte do projeto é a realização de experiências utilizando eletretos comerciais que são encontrados em microfones e em outros instrumentos modernos. A ideia é utilizar equipamentos de baixo custo e buscar experiências didáticas que possam ser aplicadas em sala de aula.

2.2 Importância Didática

A principal importância didática deste projeto é a de tornar este assunto mais divulgado e conhecido tanto a nível de ensino médio quanto universitário. Com este trabalho esperamos mostrar um exemplo de como se pode juntar a história da ciência com as experiências de baixo custo e com as aplicações comerciais modernas.

¹[Net].

²[Gra 2] e [JW80].

³[Ass10, Apêndice B: Stephen Gray e a Descoberta da Condução Elétrica] e [BC10].

⁴[Net].

⁵[Fera] e [Ferb].

2.3 Originalidade

O tema é antigo, embora seja pouco difundido nos livros didáticos.

2.4 Lista de Materiais

Resinas, goma-laca, cera de abelhas, enxofre, parafina, plásticos etc. Conchas metálicas de ferro e de alumínio. Papel, panos, flanelas, papel de alumínio.

Eletretos comerciais encontrados em microfones e em outros equipamentos modernos.

2.5 Comentários Adicionais

Em uma outra disciplina que estamos cursando neste segundo semestre de 2010, Monografia (F 896), coordenada pelo Prof. Edison Zacarias da Silva, analisamos a história e as propriedades físicas dos eletretos, assim como algumas contribuições desenvolvidas no Brasil sobre eletretos. Desta forma esperamos ter uma formação mais ampla sobre este assunto.

3 Resultados Atingidos

3.1 Instrumentos Elétricos Construídos

Para observar de maneira clara os fenômenos elétricos de interesse, foram construídos alguns instrumentos específicos.

3.1.1 O Eletroscópio

Material utilizado:

- Canudo de refresco.
- Papel-cartão.
- Tira de papel de seda.
- Copo plástico.
- Fita adesiva.

Recortamos um retângulo de papel-cartão, com dimensões aproximadas de 7 por 10 cm (o lado maior vai ficar na vertical). Ele é preso a um canudo de plástico com duas fitas adesivas que devem ficar apenas do lado de trás do retângulo. A ponta superior do canudo não deve também ultrapassar a borda superior do retângulo.

Recorta-se uma tirinha de papel de seda bem fina, tendo 2 mm de largura, com 6 cm de comprimento. Com um pequeno pedaço de fita adesiva, a extremidade superior da tirinha é colada na parte da frente do retângulo, tomando-se o

cuidado para que ela não ultrapasse a extremidade inferior do retângulo. Todo o restante da tira está livre para se afastar do eletroscópio quando este é carregado eletricamente, Figura 1. Utiliza-se um copinho plástico, com a boca virada para baixo, com um parafuso apontando verticalmente para cima, saindo da base do copinho, como suporte para o canudo do eletroscópio.

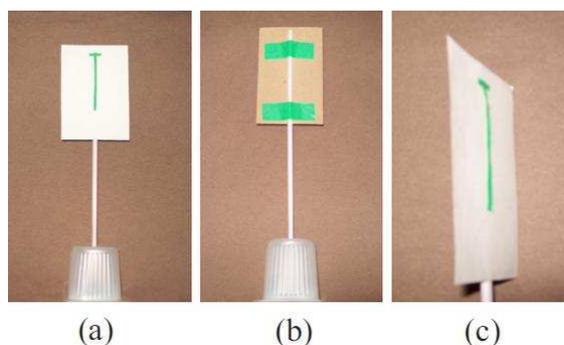


Figura 1: (a) Um eletroscópio descarregado visto de frente. (b) De costas. (c) De perfil.

Os aspectos mais importantes que caracterizam o eletroscópio são que tanto o papel-cartão quanto a tirinha de papel de seda comportam-se como condutores. Embora o chamado “papel de seda” tenha a palavra “seda” no nome, de fato ele não é feito de seda, mas é apenas um papel comum muito fino e de baixa densidade. Um pano ou uma linha feitos realmente de seda se comportam como isolantes. Já o canudo plástico que suporta o papel-cartão do eletroscópio comporta-se como isolante. É este canudo que, após o eletroscópio ter sido eletrizado, impede a perdas de cargas para a Terra por aterramento. Não é possível construir um eletroscópio tal que o suporte do papel-cartão seja um espeto de metal ou de madeira, já que estas duas substâncias comportam-se como condutores para as experiências usuais de eletrostática. Todos estes tópicos são tratados detalhadamente no livro *Os Fundamentos Experimentais e Históricos da Eletricidade*.⁶

Apresentamos agora algumas experiências realizadas com o eletroscópio.

- **Carregando um Eletroscópio por Contato.**

Atrita-se um canudo de plástico no cabelo ou em algum tecido para eletrizá-lo. Este canudo, uma vez eletrizado, é raspado nas bordas do eletroscópio. Durante esse procedimento, a tirinha se afasta do papel-cartão. Ela permanece afastada do papel-cartão mesmo quando o canudo atritado é levado para longe do eletroscópio, Figura 2. Este afastamento da tirinha indica que o eletroscópio ficou carregado eletricamente. É a repulsão elétrica entre a carga que está no papel-cartão e a carga que está na tirinha

⁶[Ass10, Seções 6.1 e 6.5].

que a impede de encostar no papel-cartão, como deveria fazer se apenas a força da gravidade terrestre estivesse atuando sobre ela.⁷



Figura 2: Eletroscópio carregado.

- **Carregando um Eletroscópio por Indução.**

Atrita-se novamente um canudo de plástico que, uma vez eletrizado, é aproximado de uma das bordas laterais do eletroscópio, sem deixar que se toquem. Mantendo o canudo perto da borda do eletroscópio, toca-se com o dedo na borda oposta. Afasta-se então o dedo e, por último, afasta-se o canudo atritado. Ao final deste procedimento, a tirinha do eletroscópio se levanta, indicando que ele ficou carregado, Figura 2.

- **Classificando os Materiais entre Condutores e Isolantes.**

Todos os materiais utilizados neste trabalho foram inicialmente caracterizados como condutores ou isolantes. Para isto foi utilizado o seguinte procedimento:

Com a mão, seguramos diversos materiais que foram encostados na borda superior de um eletroscópio carregado previamente por um canudo atritado. Caso o eletroscópio permanecesse carregado (tirinha levantada), concluíamos que o material testado era um isolante. Caso ele se descarregasse (tirinha abaixada), concluíamos que o material era um condutor. Durante os testes, tomamos o cuidado para que o eletroscópio, uma vez carregado, não fosse tocado diretamente pela mão, evitando assim o seu aterramento através do nosso corpo. Os resultados obtidos com diversos materiais foram os seguintes:

⁷[Ass10, Capítulo 6].

Tabela 1: *Caracterização dos materiais.*

Isolantes	Condutores
Canudo de refresco	Papel-cartão
Placa de PVC	Fita adesiva
Régua plástica	Papel de seda
Fio de náilon ¹	Papel de alumínio
Linha de poliéster ¹	Papel comum
Linha de seda ¹	Corpo humano
Tubo plástico de caneta	Linha de algodão
Disco de vinil	Palito de churrasco
Saco plástico	Flanela de algodão
Cera de abelha ²	Massa de modelar
Cola quente ²	Isopor
Parafina ²	Copo plástico
Enxofre ²	Cortiça (rolha)
	Concha de alumínio
	Concha de ferro

¹ Materiais que impregnados de umidade, como o suor das mãos, se tornam condutores.

² Materiais utilizados na fabricação dos eletretos.

Como a Tabela 1 sugere, de fato, é verificado experimentalmente que existe um número muito maior de substâncias condutoras do que isolantes.⁸

Observações:

1. Os materiais a partir dos quais pretendíamos fabricar os eletretos, foram caracterizados como isolantes, tanto antes quanto depois de fundidos.
2. O enxofre, antes de ser fundido, é encontrado na forma de pó. Por isso, conforme procedimento descrito na obra já citada,⁹ para que pudesse ser caracterizado como isolante ou condutor, uma concha de alumínio foi preenchida pelo enxofre e nele, então, foi afundada uma das quinças de um eletroscópio carregado. Novamente, os cuidados tomados foram para que o eletroscópio carregado não tocasse na concha condutora ou no nosso próprio corpo.

3.1.2 Linha Pendular

Material utilizado:

- Palito de churrasco.
- Linha de algodão.

⁸[Ass10, Seção 6.3].

⁹[Ass10, Seção 6.3].

A linha pendular é simplesmente uma linha fina condutora presa, por uma de suas extremidades, a um palito de churrasco, também condutor, que é segurado com a mão e mantido na horizontal. A extremidade inferior da linha é livre para se deslocar para qualquer lado, Figura 3 (a).

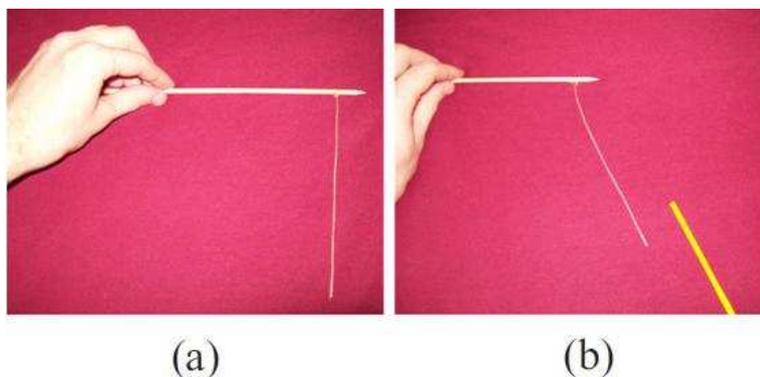


Figura 3: (a) Linha pendular de Gray em repouso, suspensa na vertical. (b) Linha pendular sendo atraída por um canudo atritado.

Vamos descrever agora algumas experiências realizadas com a linha pendular.

- **Sabendo se um Corpo Está Neutro ou Eletrizado.**

A linha pendular é um tipo de eletroscópio inventado por Stephen Gray (1666-1736), em 1729, e chamado por ele de “*a pendulous thread*.”¹⁰ Sua principal função é indicar se um corpo está ou não carregado. Como a linha é condutora, ao se aproximar de um corpo carregado, ela é atraída por ele, Figura 3 (b). Isto não ocorre se o corpo for neutro.

O ângulo de inclinação da linha pendular em relação à vertical pode ainda ser usado como um indicador da quantidade de cargas armazenada pelo corpo.

- **Definindo um Critério de Neutralidade.**

É muito importante se ter claro um critério de neutralidade sempre que a eletrização de um corpo for verificada. Neste trabalho adotaremos a seguinte convenção:

Definição: Um corpo será considerado eletricamente neutro se, na aproximação máxima de 1 cm da linha pendular, a atração eletrostática entre eles não for suficiente para que o corpo se desloque visivelmente em direção à linha pendular. Ou seja, caso não chegue a haver contato entre eles, diremos que o corpo está neutro eletricamente.

¹⁰[Ass10, Seção 4.9].

3.2 O Eletróforo de Volta

Material utilizado:

- Papel-cartão.
- Canudo de refresco.
- Massa de modelar.

Recortamos um disco de papel-cartão com aproximadamente 11 cm de diâmetro. Prende-se, no centro do disco, com massa de modelar, um canudo de plástico, disposto perpendicularmente em relação ao disco, ao longo de seu eixo de simetria, Figura 4.



Figura 4: O eletróforo de Volta.

A parte essencial para se compreender o funcionamento de um eletróforo é que seu disco é um material condutor e o cabo preso no centro do disco é um material isolante.

3.2.1 Operando o Eletróforo

Uma das funções do eletróforo é a de obter uma carga por indução, como foi feito com o eletroscópio na Subseção 3.1.1. Ele é sempre seguro pelo canudo isolante. Inicialmente toca-se com o dedo no papel-cartão. Ao aproximar o disco do eletróforo de uma linha pendular observa-se que ele está eletricamente neutro.

Para que pudesse ser eletrizado por indução, o eletróforo, que era segurado pelo canudo de plástico, foi colocado sobre uma placa de PVC, de mesmo diâmetro, atritada previamente no cabelo. Enquanto ele estava sobre a placa atritada, tocou-se com o dedo a face superior de seu disco de papel-cartão. Retirado o dedo, o eletróforo foi afastado da placa. Ao aproximar do disco do eletróforo de uma linha pendular, observa-se que a linha é atraída por ele. Isto indica que ele ficou eletrizado neste procedimento. Durante esses testes, evitamos tocar diretamente no disco de papel-cartão depois que ele havia sido afastado da placa de PVC.

O eletróforo pode ser facilmente descarregado novamente tocando com o dedo em seu disco de papel-cartão.

Quando descarregado, o eletróforo pôde ainda ser eletrizado repetidas vezes sem, contudo, a necessidade de a placa de PVC ser atritada novamente. Por tal característica, em 1775, Alessandro Volta (1745-1827) denominou tal dispositivo de “eletróforo perpétuo.”¹¹

3.2.2 Preservação Temporal das Cargas em uma Superfície Isolante Atritada

Material utilizado:

- Linha pendular.
- Eletróforo.
- Placa de PVC (diâmetro = 11 cm).
- Papel de alumínio, flanela de algodão e saco plástico.

Nesse conjunto de experiências que se segue, foram utilizados quatro eletróforos distintos, construídos conforme a descrição anterior. Cada um deles sofreu uma pequena modificação: a superfície inferior de seus discos de papel-cartão foi revestida por diversos materiais. Chamaremos de eletróforo A àquele sem revestimento, ou seja, ao eletróforo concebido originalmente; de B, ao eletróforo revestido por uma flanela de algodão (condutora); de eletróforo C, àquele revestido por papel de alumínio (condutor); e, finalmente, de D àquele cujo revestimento foi feito por um saco plástico (isolante).

Queríamos estudar a preservação temporal das cargas na superfície do PVC atritado. Lembramos que o PVC é um material isolante. Para isso, partimos de uma placa de PVC eletricamente neutra (ver critério de neutralidade), que foi atritada no cabelo e, uma vez eletrizada, deixada exposta ao ar livre. Utilizando uma linha pendular, sua eletrização foi constantemente verificada e pudemos observar que o tempo (t_0) em que ela permanecia eletrizada variava entre 20 e 40 minutos. Este t_0 corresponde ao tempo de decaimento das cargas superficiais produzidas por atrito sobre a placa de PVC. Este decaimento temporal das cargas na placa de PVC é devido à condutividade do ar.

Essa experiência foi realizada mais algumas vezes. Nas repetições posteriores, entretanto, a placa atritada foi mantida isolada do ar externo por um dos quatro eletróforos construídos (A, B, C e D). De tempos em tempos o eletróforo era retirado de cima da placa de PVC atritada e verificávamos se ela continuava eletrizada utilizando a linha pendular. O intervalo de tempo em que a placa de PVC permaneceu eletrizada para cada conjunto composto pela placa e pelo eletróforo é dado na Tabela 2. Nesta Tabela o tempo t indica o intervalo de tempo no qual a placa atritada de PVC permaneceu eletrizada.

¹¹[Jon].

Eletróforo	t
A	Entre 2 e 5 min
B	Entre 0 e 1 min
C	Entre 4 e 6 min
D	Entre 8 e 9 min

Tabela 2: Intervalo de tempo t no qual a placa de PVC permaneceu eletrizada quando estava coberta por um eletróforo.

A Tabela 2 mostra que, nas situações em que a placa de PVC atritada esteve em contato com uma superfície condutora, o intervalo de tempo em que ela permaneceu eletrizada diminuiu significativamente em relação ao tempo t_0 no qual estava exposta ao ar livre. Embora o revestimento plástico do eletróforo D conste como isolante na Tabela 1, o conjunto composto pelo papel-cartão juntamente com o plástico foi caracterizado experimentalmente como um condutor.

Uma justificativa pode ser encontrada em uma possível transferência de cargas, entre o eletróforo e a placa, no sentido de neutralizar as cargas sobre a placa. Um detalhe curioso é que, durante toda a experiência, os eletróforos se mantiveram eletricamente neutros (neutralidade comprovada por uma linha pendular). Logo, se houve de fato uma transferência, pode-se afirmar que eles, os eletróforos, se comportaram como reservatórios “infinitos” de cargas elétricas ou, simplesmente, como reservatórios elétricos (uma analogia elétrica dos reservatórios térmicos, que ganham ou cedem calor sem variações sensíveis de temperatura).

Fizemos ainda mais uma experiência. Desta vez, a placa atritada de PVC foi mantida isolada do ar externo por outra placa de PVC de mesmo formato e composta pelo mesmo material isolante. Esta segunda placa de PVC não estava eletrizada. Para esse conjunto, o tempo em que a placa de PVC atritada permaneceu eletrizada variou entre 30 e 50 minutos, mostrando uma ligeira tendência de crescimento se comparado a t_0 . Se por um lado, esses números mostram que não houve transferência apreciável de cargas de uma placa de PVC para outra, por outro, revelam que o isolamento da placa atritada pela superfície isolante foi pouco efetivo.

3.2.3 Algumas Experiências com o Eletróforo

Utilizando uma linha pendular, verificamos que todos os eletróforos construídos, exceto o eletróforo B, apresentavam uma boa eletrização após terem sido eletrizados por indução da forma já descrita (ver Seção 3.2.1). Trabalhando então com os eletróforos A, C e D, conseguimos carregar um eletroscópio por contato e por indução. No caso da carga por indução, embora não tenha sido possível observar a tirinha do eletroscópio levantada, sabíamos que o eletroscópio estava carregado pois, ao aproximar lentamente o dedo da tirinha, a tirinha era atraída pelo dedo. Como o dedo é condutor e o corpo humano está aterrado,

esta atração da tirinha só pode ocorrer se ela, juntamente com o eletroscópio, estiverem eletrizados. Esta atração é explicada pela indução de cargas produzidas na ponta do dedo pelas cargas da própria tirinha. Estas cargas induzidas na ponta do dedo possuem sinal contrário à carga da tirinha. Com isto há uma atração entre eles, fazendo com que a tirinha seja atraída pelo dedo.

Para eletrizar os eletróforos, dispúnhamos de uma placa de PVC atritada. Em dias secos, um eletróforo podia ser eletrizado e descarregado dezenas de vezes sem que houvesse a necessidade de a placa ser atritada novamente.

3.3 Fabricação de Eletretos

Após explorar a preservação temporal das cargas nos eletróforos, partimos para a fabricação dos eletretos. Nosso objetivo foi o de reproduzir a maioria das experiências de Gray.

3.3.1 Primeiras Tentativas

Material utilizado:

- Parafina.
- Cera de abelha (jataí).
- Cola quente (resina sintética).
- Enxofre.
- Conchas de ferro e alumínio.

Os materiais da Figura 5 foram fundidos separadamente em conchas de ferro e alumínio. Dado que o ponto de fusão (PF) de cada um deles é relativamente baixo, não foram necessárias grandes fontes de calor, sendo suficiente um fogão comum.

Uma vez fundidos, eles eram retirados do fogo e colocados de lado na concha para esfriar e endurecer. Utilizamos um tubo plástico de caneta, “espetado” na base do material antes de sua completa solidificação, como cabo isolante. Ele permitirá, na fase de testes, a manipulação do eletreto sem que haja contato direto com as mãos, Figura 6.

Quando sólido novamente, o material era aquecido apenas o suficiente para que ele, pela inversão da concha, pudesse ser retirado.

Tendo em mãos uma linha pendular, instrumento que permite perceber pequenos graus de atração, começamos então a fase de testes. Nossa preocupação inicial consistia em identificar os eletretos obtidos. Dentre os materiais testados, somente a parafina, nas duas situações em que foi fundida, a saber, em conchas de ferro e alumínio, possuía a capacidade de atrair não somente a linha pendular, mas também outros corpos leves colocados em suas vizinhanças. Armazenada nos recipientes onde foi fundida, mantida isolada do ar externo, sua eletrização perdurou por vários dias.

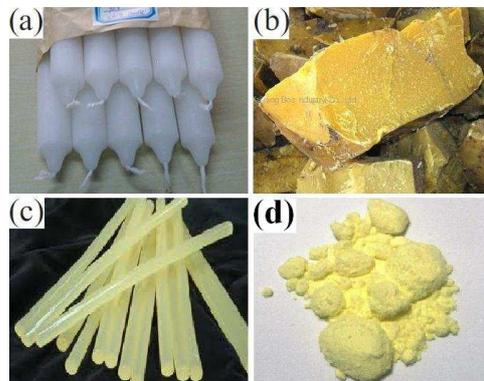


Figura 5: (a) Parafina (PF $\simeq 62^{\circ}\text{C}$). (b) Cera de abelha (PF $\simeq 64^{\circ}\text{C}$). (c) Cola quente (PF $\simeq 83^{\circ}\text{C}$). (d) Enxofre (PF $\simeq 119^{\circ}\text{C}$).



Figura 6: Concha com o eletreto espetado por um cabo isolante, tomando a forma de um “picolé”.

Observações importantes:

1. A cola quente se mostrou, durante as experiências, um material pouco apropriado, de difícil manuseio quando fundido. Por isso acabou sendo abolida de nossa lista de materiais.
2. Transcorridas duas horas após sua completa solidificação, se não houvesse indícios de uma eletrização residual, era descartada a possibilidade do material em questão vir a se comportar como um eletreto.

3.3.2 Caracterizando as Cargas de um Eletreto

A parafina diminui de volume, em relação a sua fase líquida, quando se solidifica. Por isso, durante nossas experiências, não foi necessário aquecer e fundir novamente sua superfície antes de retirá-la da concha. O mesmo não aconteceu com a cera de abelha e com o enxofre que, dentre os materiais tratados termicamente, foram aqueles que não se comportaram como um eletreto.

Esse resultado sugere algo interessante: as cargas, que seriam responsáveis pela eletrização de um eletreto produzido a partir de cera de abelha ou de enxofre, devem ter ficado na fina camada de material fundido que restou na concha, o que as caracterizaria como cargas superficiais ou de pequena penetração. Portanto, do ponto de vista de se produzir cargas superficiais sobre dois corpos distintos postos em contato íntimo, o procedimento para se obter um eletreto é análogo àquele para eletrizar uma placa de PVC por atrito.

3.3.3 Preservação Temporal das Cargas em um Eletreto de Parafina

Material utilizado:

- Linha pendular.
- Eletreto.
- Conchas de ferro e alumínio.
- Flanela de algodão, papel-cartão e saco plástico.

Nesse conjunto de experiências que se segue, foram utilizadas quatro conchas de alumínio e apenas uma concha de ferro, que tiveram suas superfícies internas revestidas por diversos materiais. Chamaremos de concha 1 e 2 às conchas de ferro e alumínio, respectivamente, sem qualquer revestimento; de 3, à concha de alumínio revestida por uma flanela de algodão (condutora); de 4, àquela revestida por papel-cartão (condutor); e, finalmente, de 5 àquela cujo revestimento foi feito por um saco plástico (isolante).

Queríamos estudar a preservação temporal das cargas em um eletreto de parafina, fabricado conforme a descrição anterior (ver Seção 3.3.1). Para isso, um eletreto foi inicialmente deixado exposto ao ar livre. Utilizando uma linha pendular, sua eletrização foi constantemente verificada e pudemos observar que o tempo t_0 em que ele permanecia eletrizado variava entre 5 e 7 horas.

Essa experiência foi realizada mais algumas vezes. Contudo, nas repetições posteriores, o eletreto foi mantido isolado do ar externo em uma das cinco conchas previamente enumeradas. De tempos em tempos o eletreto era retirado da concha e sua eletrização era verificada com uma linha pendular. Após cada teste ele voltava a ser colocado na concha. O intervalo de tempo t em que o eletreto permaneceu eletrizado para cada conjunto composto pela concha e pelo eletreto é dado na Tabela 3.

A Tabela 3 mostra que o intervalo de tempo t no qual o eletreto permaneceu eletrizado aumentou significativamente, se comparado a t_0 , nas situações em que esteve em contato com uma superfície qualquer (condutora ou isolante) e, portanto, mantido isolado do ar externo. Este comportamento difere totalmente daquele apresentado pela placa de PVC atritada.

Ao ar livre, os eletretos atraem partículas de poeira carregadas e vários íons provenientes do ar, perdendo rapidamente sua eletrização. Ou seja, o campo externo dos eletretos é anulado pela deposição de cargas opostas em suas superfícies. Por isso, fora de uso, eles deverão ser embrulhados ou cobertos por

Concha	t
1	Inferior a 15 dias
2	Entre 14 e 16 dias
3	Entre 7 e 8 dias
4	Entre 10 e 12 dias
5	Entre 7 e 8 dias

Tabela 3: Intervalo de tempo t no qual o eletreto permaneceu eletrizado.

uma camada protetora. Este arranjo experimental ocorre em muitos eletretos comerciais (encontrados em vários aparelhos modernos), que são protegidos do ar externo por um disco de alumínio em cada face.¹²

3.3.4 Algumas Experiências com o Eletreto de Parafina

Os eletretos de parafina puderam substituir a placa de PVC atritada e, com eles, conseguimos eletrizar um eletróforo repetidas vezes. O disco de parafina e o eletróforo funcionam como polos de uma pilha eletrostática permanente, cada um deles fornecendo cargas de sinais opostos. O termo “permanente” é aqui empregado tendo-se em vista o fato de que o intervalo de tempo no qual o eletreto permanece eletrizado, mesmo quando deixado exposto ao ar livre, é muito maior que o de uma placa de PVC simplesmente atritada.

Trabalhando com os eletretos, também foi possível carregar um eletroscópio por contato e indução. Em ambos os carregamentos, embora não tenha sido possível observar o afastamento da tirinha em relação ao papel-cartão do eletroscópio, sabíamos que o eletroscópio estava carregado pois, ao aproximar lentamente o dedo da tirinha, a tirinha era atraída pelo dedo. A explicação para esta atração da tirinha foi dada na Subseção 3.2.3.

Um fino filete de água, que escorria de forma contínua por uma torneira para dentro de um recipiente colocado abaixo dela, podia ser curvado quando dele aproximávamos o eletreto. Algumas vezes, a atração era tão intensa que havia um toque entre ambos, molhando o eletreto. Em geral, a atração era suficiente para fazer com que o filete caísse fora do recipiente.

3.3.5 Microfone de Eletreto

A mais antiga aplicação dos eletretos modernos deve-se aos japoneses, que os utilizaram em seus telefones militares durante a Segunda Guerra Mundial.¹³ Os microfones de eletreto são hoje extremamente difundidos por seu preço, tamanho e excelentes características eletroacústicas. Na Figura 7, mostramos alguns desses microfones que podem ser facilmente encontrados no comércio.

Os eletretos comerciais obtidos destes aparelhos são membranas flexíveis (filmes delgados) produzidas a partir de um material plástico, que retêm uma carga

¹²[Net].

¹³[Net].



Figura 7: Microfone de eletreto.

estática indefinidamente. O emprego deste tipo de material está relacionado a suas excelentes propriedades mecânicas. De fato, materiais como ceras e resinas são apropriados para experiências de laboratório, mas eles perdem rapidamente sua estabilidade mecânica (ficam quebradiços), não sendo convenientes para aplicações industriais.¹⁴

O modo mais simples para se fazer um eletreto de filme delgado (Figura 8) é “pulverizar” uma folha plástica com cargas elétricas através de pequenas faíscas (descarga corona). Durante este processo, há uma transferência efetiva de cargas de uma fonte externa (eletrodos) para o dielétrico de modo que os eletretos assim produzidos, também conhecidos como corona-eletretos, possuem uma carga resultante não nula, responsável por uma polarização de pequena intensidade. Acoplado aos microfones de eletreto existe ainda um amplificador de sinal que aumenta a intensidade do sinal de saída e, conseqüentemente, a sensibilidade do aparelho.¹⁵

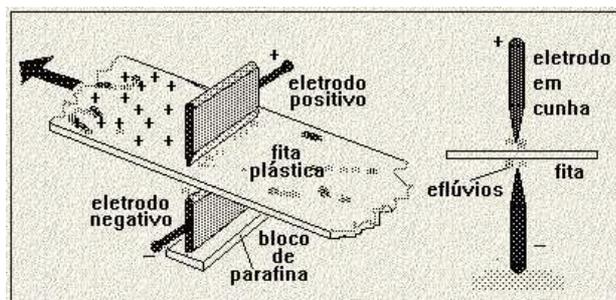


Figura 8: Produção de um corona-eletreto: os dois eletrodos são conectados a uma fonte de alta tensão (\approx kV), [Net].

¹⁴[JW80].

¹⁵[Eng].

3.3.6 Algumas Experiências com um Eletreto Comercial

Com o eletreto obtido de um microfone, tentamos reproduzir todas as experiências realizadas com o eletreto de parafina. Porém, dada sua fraca polarização, só foi possível verificar a atração de uma linha pendular quando dela aproximávamos o eletreto comercial.

Houve também uma tentativa de se observar de que forma um eletreto comercial afetava outro eletreto semelhante quando eles eram aproximados um do outro, pendurados apenas por uma linha fina, que os mantinha livres para girar ou para se deslocar para qualquer lado. Novamente, devido à fraca polarização apresentada pelos eletretos, não foi possível a observação de qualquer fenômeno.

Um eletroscópio foi, então, carregado por um canudo de plástico atritado. Aproximando lentamente o eletreto comercial da tirinha levantada, observou-se uma pequena repulsão entre eles. Isso mostra que, de fato, tal eletreto possui uma carga resultante não nula e, que esta carga é de mesmo sinal daquela que carregou o eletroscópio.

4 Conclusão

Os objetivos deste trabalho foram alcançados. Fomos bem sucedidos na construção de vários instrumentos elétricos sensíveis (eletroscópio, linha pendular e eletróforo) utilizando materiais simples e de baixo custo. Com estes instrumentos, foi possível realizar algumas experiências interessantes e explorar conceitos fundamentais da ciência da eletricidade, como o de condutor e isolante.

Conseguimos também reproduzir grande parte das experiências de Gray, exemplificando a possibilidade de se explorar, de forma independente de qualquer laboratório escolar ou de pesquisa, questões científicas de grande importância histórica e conceitual.

Por fim, o tema é bastante rico, não sendo possível esgotá-lo em um único trabalho. Por isso, a bibliografia que se segue pode servir de referência para trabalhos posteriores neste mesmo tema.

5 Declaração do Orientador

O aluno Valter dedicou-se com afinco a este projeto. O relatório final está bem escrito e reflete suas atividades durante este semestre relacionadas a este trabalho. Além da pesquisa bibliográfica e das experiências realizadas, aprendeu também a utilizar o editor de textos latex. O cronograma inicial foi cumprido. Considero que realizou um bom trabalho.

Referências

- [Ass10] A. K. T. Assis. *Os Fundamentos Experimentais e Históricos da Eletricidade*. Apeiron, Montreal, 2010. ISBN: 9780986492617. Disponível em: www.ifi.unicamp.br/~assis.
- [BC10] S. L. B. Boss and J. J. Caluzi. Uma breve biografia de Stephen Gray (1666-1736). *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 32:1602–1609, 2010.
- [Eng] T. Engdahl. Powering microphones. Disponível em: http://www.epanorama.net/circuits/microphone_powering.html.
- [Fera] N. Ferreira. *Eletrostática*, volume 1. Instituto de Física, USP, São Paulo. Projeto RIPE - Rede de Instrumentação para o Ensino.
- [Ferb] N. Ferreira. *Eletrostática*, volume 2. Instituto de Física, USP, São Paulo. Projeto RIPE - Rede de Instrumentação para o Ensino.
- [Gra 2] S. Gray. Farther account of his experiments concerning electricity. *Philosophical Transactions*, 37:285–291, 1731-2.
- [Jon] T. B. Jones. Electrophorus and accessories. Disponível em: <http://www.ece.rochester.edu/jones/demos/electrophorus.html>.
- [JW80] O. D. Jefimenko and D. Walker. Electrets. *The Physics Teacher*, 18:651–659, 1980.
- [Net] L. F. Netto. Eletreto (o ímã da eletrostática). Disponível em: http://www.feiradeciencias.com.br/sala11/11_T02.asp.