

Exp. 5

Medidas de cargas eletrostáticas

FSC5143 - Laboratório de Física III

lemo.ufsc.br

Versão de 15 de outubro de 2019

1 Objetivos

Neste experimento, o aluno deverá

- determinar cargas elétricas induzidas em esferas, discos e gaiolas de Faraday;
- determinar polaridades (sinais) de cargas elétricas em objetos atritados.

2 Teoria Básica

O processo de eletrização de materiais, sejam eles condutores ou dielétricos (isolantes), pode ser feito de várias maneiras, sendo os métodos de indução por interação de campos elétricos a distância, contato ou fricção (atrato) muito utilizados em experimentos envolvendo campos eletrostáticos. Esses campos eletrostáticos são produzidos por cargas elétricas que estão fixas (em repouso) ou em movimento muito lento em relação a um sistema de referência inercial. Denominamos, portanto, de eletrostática a parte da teoria da eletricidade que estuda os fenômenos relacionados com as interações e as propriedades dos sistemas que envolvem essas cargas elétricas.

Existem dois tipos de cargas elétricas: as positivas e as negativas. Por convenção, a carga do elétron é -1 e a do próton $+1$. A interação entre essas cargas produz forças denominadas forças eletrostáticas, sendo força de atração, ou força atrativa, se as cargas forem de sinais contrários e força de repulsão, ou força repulsiva, se forem de sinais iguais. A carga elétrica de um corpo é constituída por múltiplos inteiros de pequena unidade individual, chamada de carga elementar, cujo valor é aproximadamente igual a $1,602 \times 10^{-19}$ coulomb, exceto as cargas das partículas denominadas quarks, que são múltiplos de $e/3$, isto é, tais cargas são fracionadas e iguais a $-1/3$ e $+2/3$, mas esse assunto, devido a sua complexidade, será somente discutido em cursos mais avançados de física. A unidade de carga no Sistema Internacional (SI) é o coulomb, representada pelo símbolo C e definida como a carga que, quando colocada no vácuo, a um metro de distância de outra carga semelhante, irá repeli-la com uma força igual a $8,987 \times 10^9$ newtons ou, em termos de corrente elétrica, como a quantidade de carga que passa pela seção reta de um condutor elétrico, conduzindo um ampère de corrente (1 A), no tempo de um segundo (1 s). Experimentalmente, a quantidade de carga eletrostática em materiais condutores ou isolantes pode ser diretamente medida utilizando-se um eletrômetro.

A descrição quantitativa das forças de interação envolvendo cargas elétricas é representada pela equação fundamental da eletrostática, conhecida como Lei de Coulomb, que relaciona a força de interação entre duas cargas pontuais: a intensidade da força eletrostática entre duas cargas elétricas pontuais q_1 e q_2 é diretamente proporcional ao produto das intensidades de cada carga e inversamente proporcional ao quadrado da distância a que essas cargas se encontram uma da outra (r). Essa força de interação é expressa pela equação:

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

onde ϵ_0 é a permissividade elétrica do vácuo, igual a $8,85 \times 10^{-12} \frac{\text{C}^2}{\text{N}\cdot\text{m}^2}$.

2.1 Eletrização de objetos

O processo de eletrizar induzindo cargas por fricção (contato), por exemplo, acontece quando certos objetos de materiais diferentes, eletricamente neutros, são friccionados entre si e então separados. Um dos objetos será carregado positivamente, enquanto o outro, negativamente, isto é, um objeto terá carga elétrica positiva em excesso, o outro, negativa em excesso, e as intensidades das cargas distribuídas neles serão exatamente iguais (lei de conservação da carga elétrica). Nessa situação, uma força atrativa será exercida entre os objetos, pois as cargas elétricas induzidas são de sinais opostos. As intensidades e sinais das cargas dependem principalmente do tipo de material utilizado, polidez da superfície, temperatura e umidade relativa do ar, assim, a simples presença de objetos carregados significa a existência de forças elétricas atrativas ou repulsivas. As cargas nos objetos podem ser geradas tocando ou esfregando duas superfícies de diferentes materiais e, então, separando-as. Melhores resultados no processo de eletrização de objetos são obtidos quando são utilizados materiais isolantes, porque podem gerar e manter cargas superficiais por mais tempo, e usada a fricção, pois os materiais geralmente possuem superfícies com rugosidades. Para carregar os objetos apenas por contato, seria necessário um tempo muito maior que o utilizado com a fricção. Borrachas, plásticos e vidros são os melhores exemplos de materiais isolantes que podem ser utilizados em experimentos para geração de cargas e, conseqüentemente, campos eletrostáticos (produzidos por cargas estáticas). As cargas estáticas, que produzem a conhecida *eletricidade estática*, surgem sempre nas superfícies dos objetos, permanecendo nelas até que o objeto seja *aterrado* (descarregado), ou seja, neutralizado por descargas elétricas. É importante enfatizar, entretanto, que *as cargas estáticas serão mantidas nos objetos quando ao menos uma das superfícies tiver alta resistência a qualquer fluxo de carga, isto é, a correntes elétricas*.

Existem dois processos principais de eletrização por indução:

i) Processo de separação de cargas induzido por contato: Quando há troca de elétrons entre os objetos que estão fisicamente em contato um com o outro. Nesse caso, objetos feitos de materiais que possuem elétrons fracamente ligados nas últimas camadas eletrônicas tendem a perdê-los, enquanto objetos feitos de materiais com camadas eletrônicas externas preenchidas tendem a ganhar elétrons. Exemplo:

ao se atritar um balão de borracha no cabelo, o balão ficará carregado negativamente (excesso de elétrons); porém, ao ser aproximado de uma parede de alvenaria, o balão será atraído pelas cargas positivas da parede e ficará suspenso (preso) nela. Outro exemplo facilmente realizável é atritar os cabelos com um pente de plástico e então aproximá-lo de pequenos pedaços de papel picado: os pedaços de papel serão atraídos para o pente, mostrando, dessa forma, a indução de cargas elétricas de sinais opostos com a respectiva força de atração atuando.

A Figura 1 ilustra o processo de eletrização por indução através de contato entre dois objetos, A e B; o objeto B está carregado com excesso de cargas elétricas negativas (elétrons), e o objeto A é eletricamente neutro, isto é, a carga total é nula ($Q = 0$). Inicialmente, ao se aproximar o objeto carregado B do objeto descarregado A, haverá a influência (interação) das cargas do objeto carregado sobre o objeto descarregado, como mostra a situação (a) da Figura 1. Quando os objetos A e B são ligeiramente tocados e separados em seguida, cargas serão transferidas do objeto carregado para o objeto neutro, fazendo com que o objeto inicialmente descarregado agora esteja carregado com cargas em excesso, cedidas pelo objeto B. Dependendo do material e capacitância dos objetos utilizados, umidade do ambiente, etc., as cargas podem ser completamente transferidas de um para outro, parcialmente transferidas ou, ainda, parte delas perdidas para o ambiente.

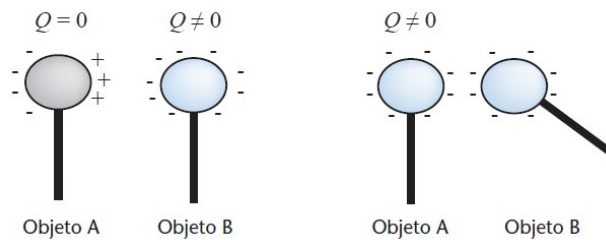


Figura 1 Método de eletrização por indução através de contato.

ii) Processo de separação de cargas induzido por cargas: Quando aproximamos um objeto carregado de outro objeto eletricamente neutro, normalmente um condutor, sem haver contato físico entre eles, as cargas têm mais liberdade de movimento, obtendo-se maior efeito. Nessa situação, o objeto carregado produzirá uma separação das cargas do condutor de tal maneira que cargas de mesmo sinal serão repelidas e cargas de sinais opostos serão atraídas. As cargas elétricas mais próximas do objeto carregado têm sinal oposto à carga do objeto, e a força eletrostática será de atração, pois é uma força mais forte que a força de repulsão, em consequência da maior distância entre as cargas. Ao se tocar (aterrar) uma das partes do objeto com as cargas induzidas positivas ou negativas, elétrons serão adicionados ao objeto ou removidos dele, deixando-o permanentemente carregado com excesso de cargas elétricas.

A Figura 2 ilustra o processo de indução por interação de campo elétrico produzido por objeto carregado, sem que haja contato entre eles. Na situação (a), o objeto A é eletricamente neutro, isto é, a carga total é nula ($Q = 0$), e o objeto B está carregado com excesso de cargas negativas (elétrons), sendo a separação entre A e B muito grande, de maneira que não há influência (interação) das cargas

do objeto carregado sobre o objeto descarregado. Na situação (b), os objetos foram aproximados, sem haver contato físico entre eles. O objeto A continua com carga total nula, entretanto, devido à influência (campo elétrico) dos elétrons em excesso que estão no objeto B, as cargas fracamente ligadas em A são afetadas pela ação da força eletrostática coulombiana, distribuindo-se pelo objeto A. Assim, a distribuição de cargas no objeto A não será mais uniforme, ficando as partes mais afastadas do objeto B com excesso de cargas negativas, e as mais próximas, com falta dessas cargas.

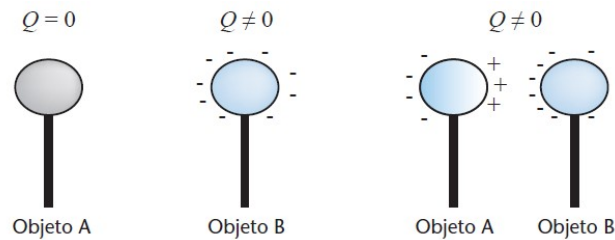


Figura 2 Método de eletrização por indução devido à ação de campos elétricos.

3 Referências Bibliográficas

- Halliday, Resnick & Walker, *Fundamentos de Física*, Vol. 3, Ed. LTC
- Moysés Nussenzveig, *Curso de Física Básica*, Vol. 3, Ed. Blucher
- Piacentini, Grandi, Hofmann, de Lima & Zimmerman, *Introdução ao Laboratório de Física*, Ed. da UFSC.
- Helene & Vanin, *Tratamento estatístico de dados em física experimental*, Ed. Blucher

4 Relação do material

- 1 eletrômetro
- 1 fonte de alta tensão
- 3 discos produtores de carga
- 1 gaiola de Faraday
- 1 esfera condutora
- 1 ponteira de alta impedância
- 1 cabo coaxial com terminais tipo “jacaré”
- 1 cabo para conexão elétrica de 100 cm de comprimento
- 1 paquímetro
- 1 régua milimetrada com 30 cm de comprimento
- 1 secador de cabelo

5 Esquema Experimental

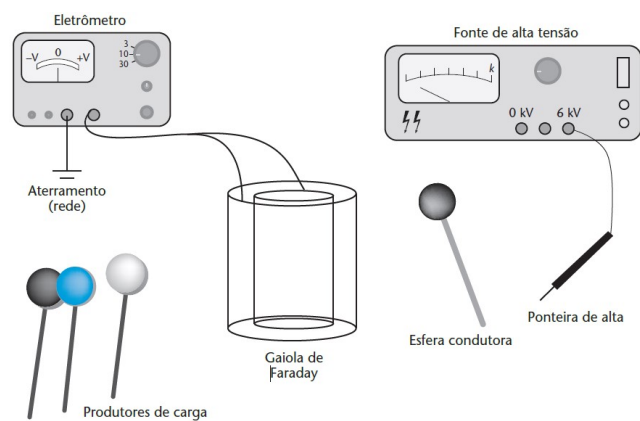


Figura 3 Esquema de montagem.

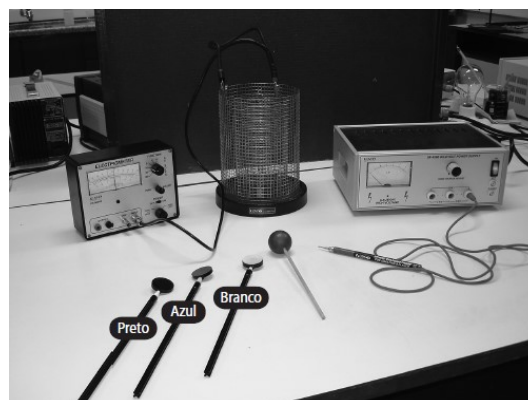


Figura 4 Foto da montagem.

6 Procedimento Experimental

Informações básicas antes de iniciar o procedimento:

- Experimentos com cargas eletrostáticas somente serão bem-sucedidos se forem adotados cuidados extras, pois as condições laboratoriais afetam enormemente as medidas, como temperatura e umidade. Assim, momentos antes de iniciar as medições, elimine todas as cargas eletrostáticas residuais presentes no eletrômetro, na gaiola de Faraday, na esfera condutora e nos discos produtores de carga. O professor dará instruções de como descarregar as cargas no eletrômetro. Para descarregar os demais componentes (gaiola, esferas, discos), utilize os dedos (que devem estar limpos e secos), pois o corpo humano também é condutor, ou seja, funciona como o aterramento. A gaiola de Faraday pode ser descarregada tocando as partes metálicas interna e externa simultaneamente com o dedo.
- O equipamento possui três discos produtores de cargas: dois discos feitos de material dielétrico, um de cor azul e outro branco, colados em material plástico condutor (parte preta do disco), e um disco completamente preto, também feito de plástico condutor.
- A relação entre a tensão V lida no eletrômetro e a carga q depositada no sistema é dada pela equação

$$q = CV, \quad (2)$$

sendo C a capacitância total do sistema, isto é, a capacitância do eletrômetro, da gaiola de Faraday e dos conectores elétricos.

- Capacitância do eletrômetro mais conectores: previamente estimadas em 150 pF.

- Capacitância da esfera condutora de raio R é dada por

$$C = 4\pi\epsilon_0 R. \quad (3)$$

- Capacitância da gaiola de Faraday:

$$C = \frac{2\pi\epsilon_0 L}{\ln(R_2/R_1)}, \quad (4)$$

onde L é o comprimento da gaiola e R_2 e R_1 são, respectivamente, os raios maior e menor dos cilindros da gaiola.

6.1 Cargas elétricas induzidas numa esfera

1. A carga elétrica induzida em uma esfera pode ser medida com precisão, usando o eletrômetro e a gaiola de Faraday, fornecidos no conjunto experimental. Observe os equipamentos e as ligações elétricas mostrados no esquema da Figura 3.
2. Selecione, para esta experiência, o eletrômetro, a fonte de alta tensão, a gaiola de Faraday, a esfera com o suporte de nylon (não toque na superfície da esfera), o cabo de conexão elétrica para aterramento, a ponteira de alta impedância (para a fonte de alta tensão) e o cabo coaxial com terminais tipo “jacaré”.
3. Antes de prosseguir no experimento, chame o professor para dar as orientações necessárias iniciais:
 - i) explicações de como utilizar o eletrômetro para eliminar cargas eletrostáticas residuais;
 - ii) instruções para o manuseio adequado da fonte de alta tensão. Dependendo das condições de umidade, poderá haver descargas elétricas nocivas ao operador.
4. Conecte o cabo coaxial ao eletrômetro e à gaiola de Faraday e aterre o eletrômetro com o cabo elétrico ao terra da rede elétrica, conforme mostra o esquema. Conecte a ponteira de alta impedância na saída de 6 kV da fonte de alta tensão.
5. Ligue e zere o eletrômetro. Dê curto-circuito nas paredes da gaiola de Faraday, momentos antes de iniciar a medida, para eliminar cargas residuais estáticas. **Repita este procedimento sempre antes de iniciar uma medida de carga.**
6. Verifique se o botão de ajuste de tensão da fonte de alta tensão se encontra na posição de tensão mínima. Havendo confirmação, segure a ponteira pela parte de trás, o mais longe possível da extremidade metálica, do seu corpo, dos colegas e dos demais objetos em volta. Ligue a fonte de alta tensão e ajuste a tensão para 2 kV.
7. Segurando a esfera condutora pelo suporte de nylon e próxima da gaiola, toque a esfera momentaneamente com a ponteira (reduza imediatamente a tensão da fonte logo após esse procedimento). A esfera adquirirá cargas elétricas e ficará eletrizada (com excesso de cargas). Toque a parte metálica interna da gaiola de Faraday com a esfera, permitindo que as cargas sejam assim transferidas para a gaiola. O eletrômetro acusará diferença de potencial. Anote, na Tabela I, a tensão lida no eletrômetro.
8. Repita os procedimentos anteriores até completar a Tabela I.

6.2 Cargas induzidas em produtores de cargas

1. Nesta etapa, você utilizará os três discos produtores de cargas. Os discos dielétricos (o azul e o branco) serão usados para produzir cargas elétricas iguais, positivas e negativas, por fricção entre eles (atrimento). O disco condutor (o preto), produtor de cargas, será usado para medir a densidade de carga superficial em objetos carregados.
2. Antes de iniciar o experimento, elimine as cargas estáticas residuais que podem estar nos discos, descarregando-os (toque neles rapidamente com os dedos). Não toque no material branco (suporte) que liga o cabo e o disco. Tal material branco deve estar completamente livre de cargas durante o experimento, caso contrário, as medidas serão afetadas. Na dúvida, limpe-o com álcool momentos antes de realizar as medidas.
3. Ligue o eletrômetro e faça as ligações elétricas com a gaiola de Faraday. Repita os procedimentos 4 e 5 da primeira parte, deixando, porém, a fonte de alta tensão desconectada, pois ela não será mais utilizada.
4. Atrite entre si os discos produtores de cargas com superfícies **azul e branca**. Toque no cilindro interno da gaiola de Faraday com o disco branco, usando a face e não a borda do disco. Anote a tensão medida pelo eletrômetro e a polaridade das cargas na Tabela II. Descarregue a gaiola. Agora toque na gaiola com o disco azul, leia a tensão e a polaridade e anote-as na Tabela II. Repita esses experimentos mais duas vezes, afim de observar eventuais variações de resultado entre uma realização e outra.
5. Atrite o disco de superfície **branca** com o disco condutor **preto** (ambos devem estar descarregados). Repita o procedimento 4 para esses dois discos produtores de cargas.
6. Atrite o disco de superfície **azul** com o disco condutor **preto** (ambos devem estar descarregados). Repita o procedimento 4 para esses dois discos produtores de cargas.

7 Questionário

1. Baseando-se apenas nas dimensões geométricas dos objetos em questão, calcule a capacitância da esfera (ver eq. 3) e da gaiola de Faraday (ver eq. 4).
2. Calcule a carga elétrica induzida na esfera para cada tensão aplicada, completando a coluna correspondente da tabela fornecida (Tabela I).
3. Calcule a carga elétrica induzida na gaiola de Faraday para cada tensão aplicada, completando a coluna correspondente da tabela fornecida (Tabela I).
4. Faça o gráfico da tensão aplicada na esfera (alta tensão) em função da carga induzida nela.
5. Faça o gráfico da tensão lida no eletrômetro em função da carga induzida na esfera.
6. Faça o gráfico das tensões aplicadas pela fonte de alta tensão em função da tensão medida no eletrômetro.
7. Analise e discuta os gráficos das questões 3, 4 e 5, quanto aos valores obtidos das cargas.
8. Todas as cargas foram transferidas da esfera para a gaiola ou existem cargas residuais na esfera? Comente com base nos seus experimentos.
9. Quando você tocou na gaiola de Faraday (inicialmente descarregada) com um dos discos produtores de carga, o eletrômetro acusou tensão. Podemos garantir que todas as cargas foram transferidas do disco para a gaiola? Alguma carga residual permaneceu no disco?

Exp. 5 - Medidas de cargas eletrostáticas

GRUPO: _____

ALUNOS: _____

TURMA: _____

DATA: _____

➤ Cargas induzidas numa esfera condutora

TABELA I

Tensão da fonte (kV)	Tensão lida no eletrômetro (V)	Carga na esfera (C)	Carga na gaiola (C)
2,0			
3,0			
4,0			
5,0			
6,0			

Gaiola de Faraday:

- diâmetro interno =
- diâmetro externo =
- comprimento =

Esfera:

- diâmetro =

➤ Cargas induzidas em produtores de cargas

TABELA II

Disco	Tensões lidas no eletrômetro (V)			Média das tensões (V)	Polaridade (sinal da carga)
azul					
branco					
azul					
preto					
branco					
preto					

Discos:

- diâmetro =