

## PROCESSOS DE ELETRIZAÇÃO

### Introdução Histórica

O sábio grego Tales de Mileto (640-546 AC) observou que um pedaço de âmbar (substância resinosa, amarela e fossilizada) atritado com um pano atraía corpos de massa pequena; essa atração não seria gravitacional uma vez que o âmbar só atraía quando atritado. Ficava, desde então, evidenciada a presença de forças muito mais intensas.

Até os dias de William Gilbert (1540-1603), não se fazia distinção entre magnetização e eletrização. Gilbert fazendo experiências verificou que muitas outras substâncias apresentavam tal propriedade e todos os fenômenos relacionados foram chamados de elétricos (âmbar em grego é elektron).

### Carga e Força Elétrica

No século XVIII, o físico francês Charles François Du Fay (1698-1739) publicou um trabalho acerca da existência de dois tipos de eletricidade:

→ Vitrosa, chamada assim porque é a carga que adquire uma barra de vidro depois de atritada com seda.

→ Resinosa, que é a carga da borracha quando atritada com lã.

Posteriormente, o físico americano Benjamin Franklin (1706-1790), sem conhecer os trabalhos de Du Fay, atribuiu os nomes de positiva e negativa aos dois tipos de eletricidade.

Até o século XIX se considerava que as forças elétricas eram fenômenos particulares que não tinham relação com o resto dos fenômenos físicos. Em nossos dias se considera que a força elétrica é uma das quatro forças chamadas fundamentais; as outras são a gravidade e as forças nucleares, forte e fraca.<sup>1</sup>

A força elétrica provem da presença de cargas elétricas; estas podem ser de dois tipos, positivas ou negativas. A carga elétrica é uma propriedade fundamental da matéria como a massa e o volume.

O conceito de carga elétrica, ainda que um pouco abstrato, é tão importante que não se pode deixar de mencionar-se na descrição do mundo físico. No princípio, dito conceito físico era somente um artifício inventado para descrever uma situação, porém depois adquiriu realidade ao descobrir-se as unidades naturais de carga. Na atualidade se percebe que as unidades de carga como o elétron, o pósitron, o próton e diversos mésons realmente existem e são entidades fundamentais com relação ao es-

<sup>1</sup> Força nuclear forte é a força que mantém unido o núcleo de um átomo. Afeta as partículas do núcleo: nêutrons, prótons e mésons.

Força nuclear fraca é a força que se manifesta nos núcleos de átomos instáveis com mais de 89 prótons através de emissões alfa e beta.

tudo das propriedades da matéria.

Quando duas cargas elétricas interagem, a direção das forças é dada pela Lei de Du Fay: cargas de sinais iguais se repelem e cargas de sinais diferentes se atraem.

A unidade para medir a carga no SI é o coulomb (C), em homenagem ao físico francês Charles Augustin de Coulomb (1736-1806), quem descobriu a relação que existe entre a força elétrica e as cargas elétricas.

A carga do elétron é igual, em módulo, a carga do próton e vale  $1,6 \times 10^{-19} \text{C}$ .<sup>2</sup>

### Processos de Eletrização

Os átomos e a matéria em estado natural têm cargas positivas e negativas e porque nos átomos há o mesmo número de prótons e elétrons, o átomo é eletricamente neutro.

Para alterar tal situação, ou seja, para eletrizar um corpo, é necessário fazer um certo trabalho ou esforço. Dizemos que um corpo está eletrizado ou carregado quando o número de prótons é diferente do número de elétrons.

<sup>2</sup> O valor  $1,6 \times 10^{-19} \text{C}$  é chamado carga elementar e é representado por "e".

Diz-se que a carga elétrica é uma grandeza quantizada, pois é sempre múltipla de uma quantidade mínima, no caso "e".

Para eletrizar um corpo é necessário retirar ou acrescentar elétrons em um corpo.

Experimentalmente, verifica-se que os elétrons localizados nas últimas camadas eletrônicas de certos átomos podem ser facilmente deslocados de suas posições e ainda transferidos para outros átomos.

A maior ou menor dificuldade encontrada em movimentar os elétrons dentro de um material determina se esse material é um condutor de elétrons ou um Isolante.<sup>3</sup>

As principais formas para um corpo perder ou ganhar elétrons são:

### 1. Por Atrito

Quando ocorre a fricção entre dois corpos neutros de naturezas diferentes, pode surgir um fluxo de elétrons de um corpo para outro.

A medida que um corpo perde elétrons, este vai apresentando uma predominância de cargas elementares positivas equivalente a quantidade de elétrons perdida, enquanto que o outro recebe elétrons ficando com uma quantidade de cargas elementares negativas em excesso.

### Conclusão

<sup>3</sup> Condutor: nos materiais condutores sólidos, os elétrons são facilmente deslocados de suas posições, e recebem o nome de elétrons livres. Os elétrons livres ficam na superfície externa (veremos a seguir).

Ex.: metais

Isolante: nos materiais isolantes, os elétrons apresentam forte ligação com o núcleo, tornando difícil deslocá-los, ao longo do material.

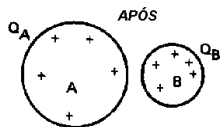
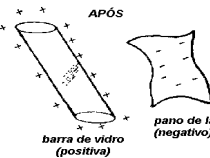
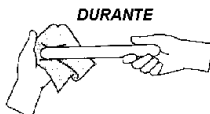
As substâncias isolantes não possuem elétrons livres, e toda carga em excesso permanece estacionária no local onde foi depositada.

Ex.: plástico, borracha, porcelana, vidro, etc.

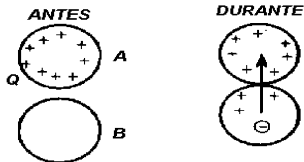
Existem materiais, como o Ge e o Si que são denominados semicondutores, porque o grau de dificuldade em deslocar os elétrons das últimas camadas é intermediário entre os condutores e os isolantes.

“Eletrizam-se com sinais contrários e com mesma quantidade de carga.”

Veja as figuras a seguir:



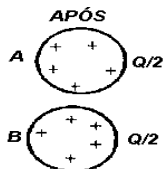
Há um caso particular que merece destaque: é aquele em que os condutores são esféricos e de mesmo raio. Nesse caso, o excesso de carga elétrica se distribui igualmente pelas duas superfícies esféricas.



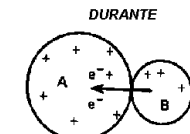
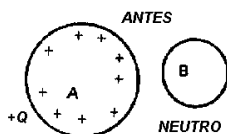
### 2. Por Contato

Colocando-se em contato dois condutores, (A) eletrizado e (B) neutro, verifica-se que B se eletriza com carga de sinal igual ao de (A). Aos condutores A e B aplica-se o princípio da conservação das cargas elétricas: antes e após o contato, a carga total deve ser a mesma.

A figura ilustra a eletrização por contato:



Deve-se sempre observar o princípio da conservação das cargas elétricas, ou seja, a quantidade de cargas no final deve ser a mesma que no início.



Elétrons passam de B para A

### 3. Por Indução

Neste processo nos utilizaremos de dois corpos (A) e (B), ambos de materiais condutores, por exemplo: duas esferas de cobre. Um deles (A) deverá estar eletrizado e o outro (B), neutro.

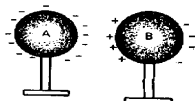
Suponhamos, por exemplo, que o corpo (A) esteja eletrizado negativamente. Vamos chamá-lo de indutor.

a) Com os corpos (A) e (B) afastados um do outro, temos:

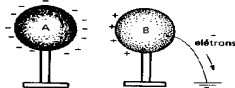
INDUTOR INDUZIDO



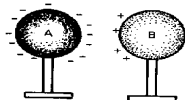
b) Se aproximarmos o indutor do induzido ocorre a **polarização** por indução.



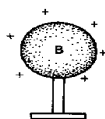
c) Se ligarmos o induzido (B) à Terra, observaremos um escoamento de elétrons de (B) para a Terra.



d) Ainda, na presença do indutor, desfazemos a ligação com a Terra.



e) Agora, afastamos o indutor e as cargas do induzido distribuem-se uniformemente pela superfície.



## Observações:

### 1. Eletroscópios

São aparelhos que servem para determinar se um corpo está eletricamente carregado ou não.

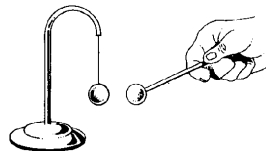
Os principais tipos de eletroscópios são:

#### a) Pêndulo elétrico

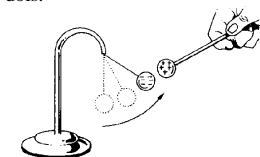
Constitui-se de uma haste (suporte), um fio de seda (isolante) e uma bolinha leve, recoberta de material condutor

(papel de alumínio, por exemplo).

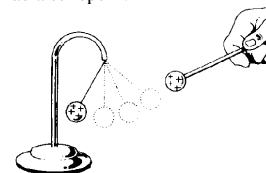
Se aproximarmos do Pêndulo um corpo neutro, ele não se move, pois não há interação entre cargas elétricas.



Se, no entanto, aproximarmos do pêndulo um corpo carregado, haverá uma polarização na bola do pêndulo e uma conseqüente atração entre os dois.

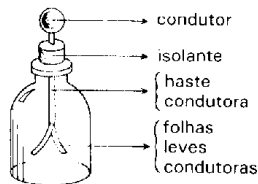


Se houver contato entre um corpo carregado e a bolinha, ambos ficarão carregados com cargas de mesmo sinal e passarão a se repelir.



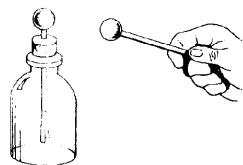
#### b) Eletroscópio de folhas

O eletroscópio de folhas é mais sensível que o pêndulo elétrico. Veja o esquema de um deles:

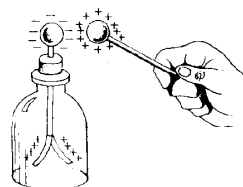


Se aproximarmos do topo de um eletroscópio de fo-

lhas um corpo neutro, as folhas não se moverão.



Entretanto, se aproximarmos do topo do eletroscópio um corpo carregado, haverá a polarização das cargas do eletroscópio: o topo ficará carregado com carga de sinal diferente do que as folhas. Isso vai provocar a repulsão entre as folhas, pois ambas ficam carregadas com cargas de mesma natureza.



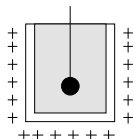
## 2. Distribuição das cargas elétricas em excesso num condutor isolado em equilíbrio eletrostático.

Um condutor isolado encontra-se em equilíbrio eletrostático quando não há movimento ordenado de cargas elétricas no seu interior e na superfície. Seus elétrons livres encontram-se em movimento aleatório.

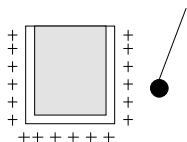
Observemos que um condutor isolado, em equilíbrio eletrostático, pode ou não estar eletrizado.

As cargas elétricas em excesso de um condutor são de um mesmo sinal: ou positivas ou negativas. Evidentemente, elas se repelem e, procurando a maior distância entre si, vão para a superfície do condutor.

Benjamin Franklin, segundo consta, foi o primeiro a observar que as cargas elétricas em excesso de um cilindro metálico iam para a superfície externa. Eletrizou um cilindro oco de prata e fez descer uma esfera de cortiça pendurada num fio isolante e notou que ela não era atraída pelas paredes internas, como seria ao descer a esfera junto a sua parede externa. O próprio Franklin não soube explicar esse fato naquela ocasião (1775).



A esfera de cortiça não é atraída pelas paredes internas do cilindro eletrizado.



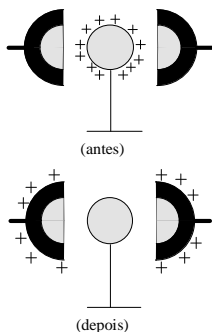
A esfera de cortiça é atraída pela parede externa do cilindro eletrizado.

O físico inglês Michael Faraday (1791-1867) realizou diversas experiências comprobatórias da distribuição de cargas elétricas em excesso na superfície externa no condutor isolado. Uma delas foi a da tela cônica. Trata-se de uma tela em forma de cone, feita de linho, que é um material que conduz relativamente bem a eletricidade. Eletrizando a tela, Faraday notou, usando um pêndulo de cortiça, que não havia cargas elétricas em excesso no interior, mas apenas na superfície externa, e, virando-a do avesso, repetiu o teste com o pêndulo. Novamente verificou que as cargas em excesso estavam na superfície. Ao virar a tela do avesso, as cargas em ex-

cesso deveriam permanecer no interior dela, porém, repeliram-se e foram para a nova superfície externa.

Outro físico inglês, o Dr. Henry Cavendish (1731-1810) também realizou uma experiência nesse campo, usando dois hemisférios metálicos, dotados de cabos isolantes, que se adaptavam perfeitamente a uma esfera oca, metálica, montada sobre suporte isolante fixo. Eletrizando a esfera metálica, adaptava os hemisférios a ela. Ao separá-los, notava que a esfera estava neutra, enquanto que os hemisférios haviam recebido toda sua carga.

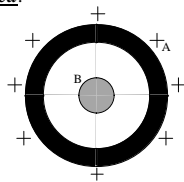
Vejam as figuras a seguir.



Um fato interessante de tudo isso é quando consideramos um condutor A, eletrizado ou não. Ele apresenta as mesmas propriedades: é nulo o campo elétrico em seu interior<sup>4</sup> e as cargas elétricas em excesso, se existirem, distribuem-se pela superfície. Se considerarmos um corpo B, neutro, no interior de A, mesmo que A esteja eletrizado, B não sofre indução eletrostática.

Verifica-se que qualquer que seja a situação elétrica de A, nada acontecerá com B.

Dizemos que o condutor A constitui uma **blindagem eletrostática**.



A carcaça metálica de um amplificador eletrônico, a carcaça metálica de um carro ou de um ônibus são exemplos de blindagem eletrostática.

Michael Faraday realizou uma experiência com a finalidade de comprovar a blindagem eletrostática: construiu uma grande “gaiola” metálica, montou-a sobre suportes isolantes e ligou-a a um potente gerador eletrostático.

Conforme suas próprias palavras:

“Penetrei no interior da gaiola e ali permaneci sem nenhum dano. Usando velas acesas, eletrômetros e todos os demais instrumentos de verificação de fenômenos elétricos, não percebi a menor influência sobre eles ... embora durante todo o tempo o exterior dela estivesse altamente carregado e grandes eflúvios elétricos saltassem de todos os pontos da superfície externa.”

Até hoje, usam-se gaiolas de Faraday como cabina de teste de pára-raios, transformadores e geradores eletrostáticos nas indústrias.

### 3. O Poder das Pontas

**E**m um condutor esférico carregado as cargas se distribuem uniformemente na superfície mas, se houverem protuberâncias ou pontas, as cargas se concentram em maior quantidade por

<sup>4</sup> Posteriormente analisaremos em detalhes o conceito de campo elétrico.

área (densidade superficial) nessas regiões.

O campo elétrico nessas regiões é muito intenso e se for suficientemente forte pode ionizar o meio envolto, possibilitando a emissão de elétrons se o corpo estiver eletrizado negativamente.

Ao valor máximo da intensidade do campo elétrico que um isolante suporta sem se ionizar, dá-se o nome de **rigidez dielétrica** do isolante. Para o ar, ela é de 3.000.000 V/m.

Uma vez atingida a rigidez dielétrica do dielétrico, ele se ioniza e torna-se condutor. Quando isto acontece com o dielétrico das vizinhanças da ponta de um condutor, verifica-se que cargas do mesmo sinal que a ponta são repelidas e de sinais contrários são atraídas. Evidentemente, o condutor acaba se descarregando pela ponta.

A construção de pára-raios com hastes metálicas terminadas em pontas fundamenta-se no poder das pontas.

Mais a frente analisaremos com maiores detalhes a formação de raios na atmosfera terrestre.

#### 4. Polarização de um Isolante(Dielétrico)

**H**á dois tipos de substâncias isolantes: aquelas que apresentam moléculas polares e as que apresentam moléculas apolares.

Moléculas polares são aquelas que possuem um dipolo permanente. A água é um exemplo. Nas moléculas apolares há uma distribuição simétrica de cargas elétricas no seu interior.

Colocando-se na presença de um campo elétrico um dielétrico de moléculas polares, os dipolos tendem a se orientar pelo campo elétrico.

Como as moléculas estão em constante agitação térmica o alinhamento não é perfeito. Evidentemente, se abaixarmos a temperatura, conseguiremos um melhor direcionamento das moléculas.

Mesmo que o dielétrico fosse constituído de moléculas não-polares a distribuição de cargas elétricas no seu interior seria modificada em presença do campo elétrico, por indução.

O campo elétrico tem a tendência de separar as cargas elétricas positivas das negativas de um átomo ou molécula. O fenômeno é denominado **polarização do dielétrico** e perdura enquanto existir o campo elétrico externo.

#### Exercícios de Fixação

1. Sabemos que a carga elétrica é quantizada. Os seguintes enunciados deste fato são equivalentes?  
a) Existe uma carga elétrica mínima não nula (a unidade de carga mínima);  
b) Qualquer carga elétrica é um múltiplo inteiro (positivo ou negativo) de uma carga elétrica elementar;  
c) A carga elétrica não é uma grandeza contínua (considerando todos os valores reais).

2. "Afirmar que a carga elétrica de um sistema se conserva é afirmar":

01. Que ela é invariante;
02. Que a soma aritmética das cargas positivas e negativas presentes no sistema é constante;
04. Que a soma algébrica das cargas é constante;
08. Que a soma das cargas positivas e a soma das cargas negativas são constantes separadamente;

16. Que as interações no sistema não podem fazer variar a sua carga total.

A soma das alternativas corretas é .....

3. Podemos ler, em certas revistas de divulgação científica, que um buraco negro é um corpo tão denso que tudo o que passa numa certa vizinhança é absorvido por ele e desaparece para sempre.

Se um elétron cair nesse buraco negro, a sua carga elétrica desaparecerá?

4. Quando da ligação de uma televisão, podemos verificar, durante alguns instantes, que a tela atrai corpos leves (folhas de papel, pó, etc.).

A que podemos atribuir esse fenômeno e porque é ele transitório?

5. Por que quando o ar está úmido os fenômenos eletrostáticos são atenuados?

6. Dado que a "gaiola de Faraday" protege os corpos que nela são encerrados contra as influências elétricas vindas do exterior, será que também protege os corpos exteriores contra as influências vindas do interior? Por exemplo, se encerrarmos nela uma carga elétrica, poderá um observador exterior detectar o campo dessa carga

- a) se a gaiola estiver isolada?
- b) se a gaiola estiver ligada ao solo?

7. As causas do "enjôo na estrada" são por vezes atribuídas à eletricidade estática. Segundo uma publicidade recente de um "dispositivo antiestático": "Numerosas experiências confirmam que esta 'poluição' elétrica, tão nefasta quanto pífida, se acumula rapidamente na carcaça do veículo e formam uma gaiola de Faraday [...] Somos todos mais ou menos inconscientemente incomodados, mesmo os condutores mais experientes."

Vendem-se no comércio dispositivos de eliminação da eletricidade estática, correntes ou

fitas condutoras fixas ao carro e arrastando pelo chão, ou mesmo (é o engenho elogiado pela referida publicidade), “microemissores eletromagnéticos autônomos e permanentes criando entre eles por sintonização uma grande barreira de ondas ultracurtas absolutamente inultrapassável pela eletricidade estática”.

O que você pensa da utilidade e eficácia destes dispositivos?

8. Num condutor sólido, os elétrons movem-se livremente.

Então porque não caem no interior do condutor sob o efeito do seu peso?

9. Um avião em vôo pode eletrizar-se por fricção no ar e adquirir uma carga elétrica elevada.

a) Por que este fenômeno é embaraçoso?

Evita-se isto, em grande parte, munindo a cauda do aparelho com uma fina calha metálica ou com um pequeno comprimento de cabo.

b) Como opera este dispositivo?

### Exercícios de Vestibular

1. Três bolas metálicas podem ser carregadas eletricamente. Observa-se que cada uma das três bolas atrai uma das outras. Três hipóteses são apresentadas: I) Apenas uma das bolas está carregada.

II) Duas das bolas estão carregadas.

III) As três bolas estão carregadas.

O fenômeno pode ser explicado:

(A) somente pelas hipóteses II ou III;

(B) somente pela hipótese I;

(C) somente pela hipótese III;

(D) somente pela hipótese II;

(E) somente pelas hipóteses I ou II.

2. Se um condutor eletrizado positivamente for aproximado de

um condutor neutro, sem tocá-lo, podemos afirmar que o condutor neutro:

(A) conserva sua carga total nula, mas é atraído pelo eletrizado.

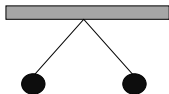
(B) eletriza-se negativamente e é atraído pelo eletrizado.

(C) eletriza-se positivamente e é repelido pelo eletrizado.

(D) conserva a sua carga total nula e não é atraído pelo eletrizado.

(E) fica com a metade da carga do eletrizado.

3. A figura representa duas esferas eletrizadas negativamente que se repelem, suspensas por dois fios isolantes. Observa-se que, com o tempo, o ângulo formado pelos fios tende a diminuir. Isto ocorre porque as esferas:



(A) perdem elétrons para o ar.

(B) absorvem elétrons do ar.

(C) perdem prótons para o ar.

(D) absorvem prótons do ar.

(E) trocam elétrons entre si.

4. Um corpo tem  $2 \times 10^{18}$  elétrons e  $4 \times 10^{18}$  prótons. Dado que a carga elétrica de um elétron (ou de um próton) vale, em módulo,  $1,6 \times 10^{-19} \text{C}$ , podemos afirmar que o corpo está carregado com uma carga elétrica de:

(A) -0,32 C

(B) 0,32 C

(C) 0,64 C

(D) -0,64 C

(E) 2,00 C

5. Juliana penteia seu cabelo. Logo depois, verifica que o pente utilizado atrai pedaços de papel. A explicação mais plausível deste fato é que:

(A) o papel já estava eletrizado.

(B) a atração gravitacional age entre os dois corpos.

(C) o pente se eletrizou.

(D) o pente é bom condutor elétrico.

(E) n.d.a.

6. Três esferas de isopor, M, N e P, estão suspensas por fios isolantes. Quando se aproxima N de P, nota-se uma repulsão entre as esferas; Quando se aproxima N de M, nota-se uma atração. Das possibilidades apontadas na tabela abaixo quais são as compatíveis com as observações?

Possibilidades	CARGAS		
	M	N	P
1ª	+	+	-
2ª	-	-	+
3ª	zero	-	zero
4ª	-	+	+
5ª	+	-	-

(A) A 1ª e a 3ª

(B) A 2ª e a 4ª

(C) A 3ª e a 5ª

(D) A 4ª e a 5ª

(E) A 1ª e a 2ª

7. Dispõe-se de três esferas metálicas idênticas e isoladas uma da outra. Duas delas A e B estão descarregadas, enquanto a esfera C contém uma carga elétrica Q. Faz-se a esfera C tocar primeiro a esfera A e depois a esfera B. No final deste procedimento, qual a carga elétrica das esferas A, B e C respectivamente?

(A) Q/2, Q/2 e nula

(B) Q/4, Q/4 e Q/2

(C) Q, nula e nula

(D) Q/2, Q/4 e Q/4

(E) Q/3, Q/3 e Q/3

8. Três esferas E1, E2 e E3, bem afastadas entre si, têm seus raios na razão 1:3:5 e estão eletrizadas com cargas respectivamente iguais a  $3nC$ ,  $6nC$  e  $-18nC$ .

Supondo que as esferas sejam ligadas entre si por fios de capacidade desprezível, as cargas de E1, E2 e E3, após a ligação, serão respectivamente iguais, em nC, a:

(A) -1, -3, -5

(B) -5, -3, -1

- (C) 10,6,2
  - (D) -2,-6,-10
  - (E) 5,3,1
- 

9.