

## Um pouco mais sobre eletricidade

AULA

# 6

### Metas da aula

Introduzir os conceitos de materiais isolantes e condutores, bem como o fenômeno de polarização; discutir a lei de Coulomb.

## objetivos

Espera-se que, após estudar o conteúdo desta aula, você seja capaz de:

- diferenciar um material condutor de um isolante;
- explicar como ocorre o fenômeno da polarização;
- exercitar a aplicação da lei de Coulomb em casos simples.

## INTRODUÇÃO

Continuaremos, nesta aula, estudando o fenômeno da eletricidade. Veremos o que são materiais isolantes e condutores e introduziremos um importante resultado: a lei de Coulomb.

### INTERMEZZO: O FENÔMENO DA ELETRICIDADE

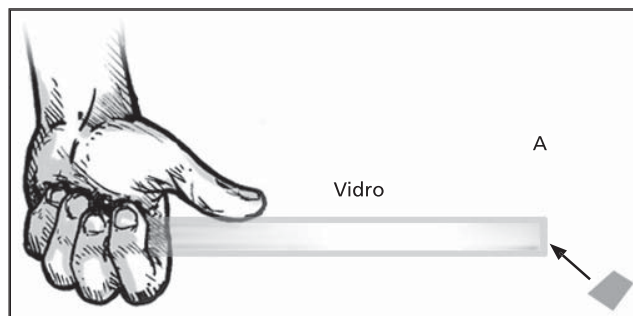
Continuamos no nosso *intermezzo*, estudando o fenômeno da eletricidade. Na aula anterior, você aprendeu que dois objetos com cargas de mesmo sinal se repelem, enquanto aqueles com cargas de sinal contrário se atraem. A primeira experiência que fizemos foi aquela do pente que, atritado contra uma flanela, atraía um pequeno pedaço de papel. Mas, nessa experiência, só um dos objetos, o pente, estava eletrizado, ou seja, com mais cargas de um tipo do que de outro. Portanto, essa experiência envolve um objeto carregado e outro neutro. Sim, mas agora já sabemos que, *no que diz respeito às cargas*, a única coisa que diferencia o pente do pedaço de papel é que, enquanto o pente tem excesso de um tipo de carga, o pedaço de papel tem tantas cargas positivas quanto negativas (é eletricamente neutro).

O que será que acontece, ao aproximarmos um objeto que está com excesso de carga de um tipo (positiva ou negativa) de outro que tem um igual número de cargas dos dois tipos? Vejamos isso em mais detalhes.

Vamos fazer quatro experiências simples. Talvez você não possa realizá-las em casa, mas, quem sabe, num dos laboratórios do pólo mais próximo de sua cidade. Vamos precisar de um bastão de vidro e de um bastão de metal – ferro, por exemplo.

Faça primeiro a experiência com o bastão de vidro, atritando uma de suas extremidades (A) com um pedaço de seda, e aproximando-o de um pequeno pedaço de papel.

### Condutores e isolantes



1ª experiência

Figura 6.1: Resultado: o bastão de vidro *atrai* o pedaço de papel.

Agora, faça a experiência com o bastão de ferro. Segure o bastão, atrite-o com a seda em uma das extremidades (A) e aproxime-o do pedaço de papel.

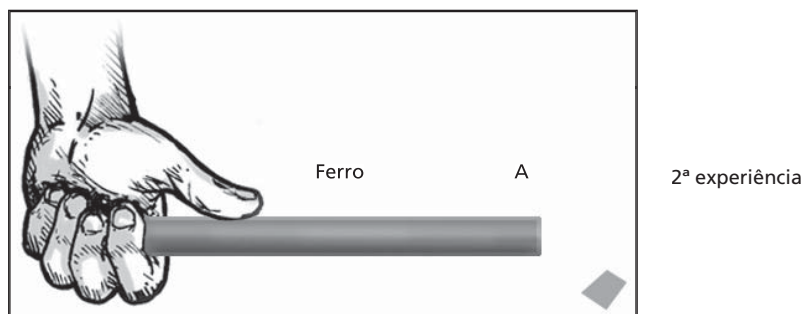


Figura 6.2: Resultado: o bastão de ferro *não* atrai o pedaço de papel.

Mas como isso é possível? O bastão de ferro não se eletrizou? Vamos repetir esta experiência com o bastão de ferro, mas sem segurá-lo diretamente com a mão. Podemos, por exemplo, colocar uma luva de borracha. Note como haverá atração!

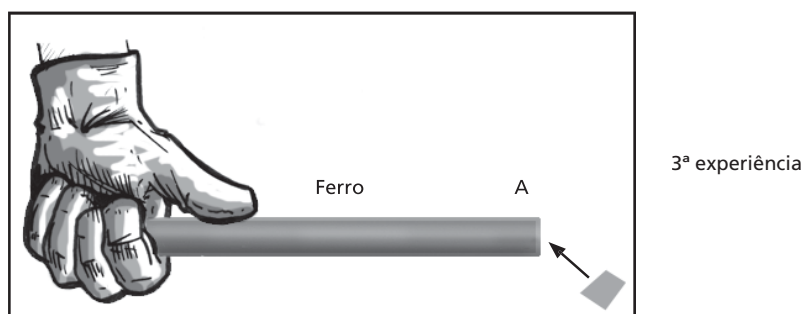


Figura 6.3: Resultado: o bastão de ferro *atrai* o pedaço de papel.

O mesmo resultado seria obtido se ligássemos um pedaço do bastão de vidro no bastão de ferro.

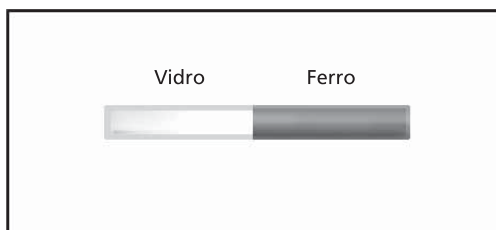


Figura 6.4: Bastão de ferro ligado ao de vidro.

Se agora realizarmos a experiência atritando a parte de ferro do bastão, observaremos também atração.

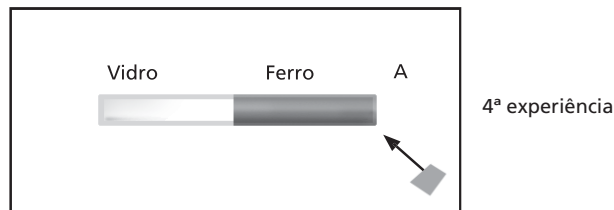


Figura 6.5: Resultado: o bastão de ferro *atrai* o papel.

É claro que o bastão de ferro, em todas as experiências, foi eletrizado, independentemente de termos segurado a sua outra extremidade com a mão nua, com uma luva de borracha ou com um pedaço de vidro. Por alguma razão, na segunda experiência, a carga no bastão de ferro *não ficou* na região onde ele foi eletrizado.

Essas experiências revelaram que, embora *todos* os materiais se eletrizem (alguns mais, outros menos), alguns têm a capacidade de manter a carga *isolada* na região onde o objeto é atritado (vidro) e outros não têm esta capacidade (ferro).

Os materiais capazes de manter a carga isolada na região eletrizada são chamados de *isolantes*. Aqueles que *não isolam* a carga na região eletrizada são chamados de *condutores*. Alguns isolantes mais comuns são vidro, borracha, algodão. Entre os condutores mais comuns destacam-se os metais: ferro, cobre, níquel etc.

Nas experiências anteriores, o vidro é capaz de manter a carga concentrada na região eletrizada e, conseqüentemente, atrair o pedaço de papel, ou seja, o vidro não conduz eletricidade para qualquer outra região do bastão.

Na terceira experiência, o bastão de ferro foi eletrificado na região (A), mas, como ele é um condutor, a carga tende a passar para outras regiões do bastão. Entretanto, como o vidro (ou a luva de borracha) é um isolante, a carga fica “bloqueada” no bastão de ferro.

Mas e na segunda experiência? Onde foi parar a carga que inicialmente estava na região (A) do bastão de ferro? Ela foi conduzida para a outra extremidade do bastão, passou pelo nosso corpo e foi para a terra! Como o nosso corpo é também um condutor, assim como a

terra, o que nós realmente fizemos, na segunda experiência, foi criar um “circuito elétrico”, através do qual a carga foi da extremidade do bastão para a terra. Este movimento de carga, através de condutores, é o que chamamos de *corrente elétrica*. Você não acredita? Pois então vamos fazer uma última experiência. Esta será a última desta seção, prometo, para que não nos afastemos demais do nosso *objetivo atual*, que é o de entender *como são os átomos*.

Para esta experiência precisaríamos eletrizar um objeto de forma que ele ficasse com uma quantidade de carga bem maior do que os objetos das experiências anteriores. Isto é possível, mas requer um pouco mais de trabalho. Então, vamos somente “imaginar” a experiência. Quanto ao resultado dela, você terá de acreditar em mim ou tentar, de algum modo, realizá-la. Caso você resolva fazer a experiência, será importante usar um ambiente com pouca luz. Não precisa estar no escuro, mas é preciso haver pouca luz.

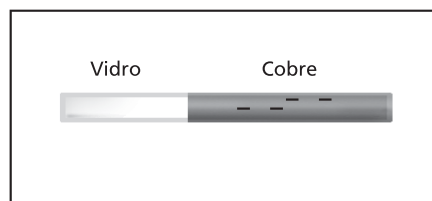


Figura 6.6: Bastão de cobre isolado pelo vidro.

Vamos “imaginar” um bastão de um condutor, cobre, por exemplo, com um grande excesso de carga negativa, mas isolado numa das suas extremidades:

Vamos pegar agora uma lâmpada fluorescente pequena e encostar uma das suas extremidades num outro condutor, ligado à terra. Por exemplo, um cano d’água qualquer de sua casa, mas que não seja de plástico. Pode ser de ferro, por exemplo.

Isto feito, vamos aproximar o bastão de cobre e encostá-lo na outra extremidade da lâmpada:

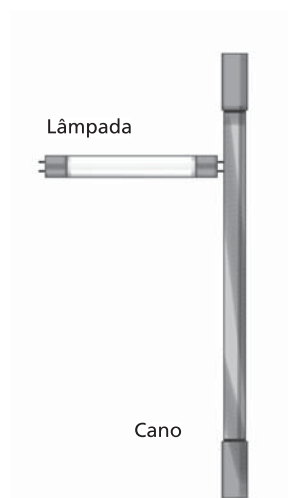


Figura 6.7: Lâmpada presa ao cano.

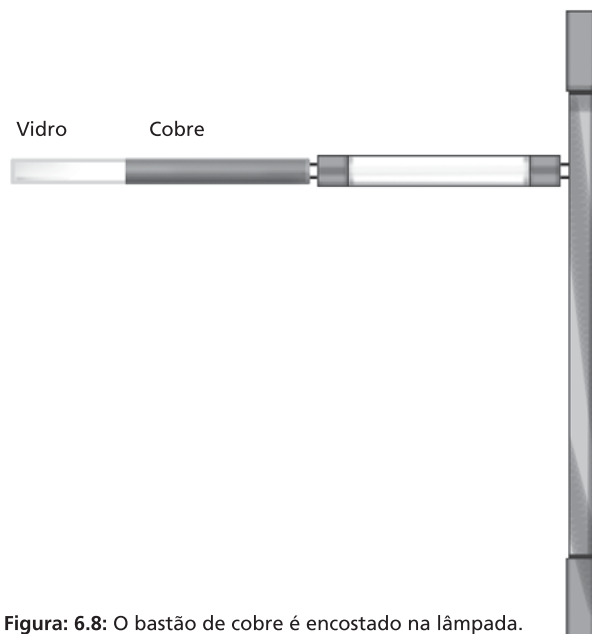


Figura: 6.8: O bastão de cobre é encostado na lâmpada.

O que acontecerá? A lâmpada piscará! Se a quantidade de carga presente no bastão for muito grande, a lâmpada poderá até acender, por um curto intervalo de tempo. Ora, mas este é o mesmo efeito que observamos ao ligar um interruptor da nossa casa, para acender a lâmpada fluorescente da cozinha ou do banheiro, não é?

Qual a conclusão desta experiência? A conclusão é que a carga do bastão foi *conduzida* através da lâmpada, passou pelo cano (outro condutor) e foi para a terra, ou seja, com o bastão eletrizado, a lâmpada e o cano montamos um “circuito elétrico”, equivalente ao de que dispomos em nossas casas. Entretanto, a conclusão mais importante que podemos tirar é que esta “eletricidade” que usamos em nossas casas, para as mais diversas finalidades, tem como origem o fato de os átomos, formadores de todas as substâncias que encontramos na natureza, serem constituídos de cargas positivas e negativas.

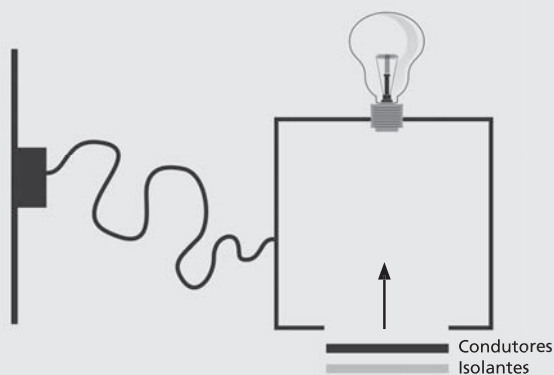


## ATIVIDADE

### 1. Condutores e isolantes

Você talvez tenha enfiado o dedo numa tomada quando era criança. Se isso aconteceu, você sabe que o choque é intenso e doloroso. Se enfiar um pedaço de metal (condutor), ocorre a mesma coisa. Por outro lado, se fizer a experiência com um pedaço de borracha (isolante), nada ocorrerá. Mas esta não é a forma de testar se um material é isolante ou condutor, se você não quiser levar um choque para diferenciar isolantes de condutores.

Agora imagine a seguinte experiência: em um circuito elétrico com uma lâmpada (figura a seguir), fecha-se o circuito com o material que se quer testar.



Explique o que acontece quando se fecha o circuito com um condutor e quando se fecha com um isolante.

---



---



---



---



---

### RESPOSTA COMENTADA

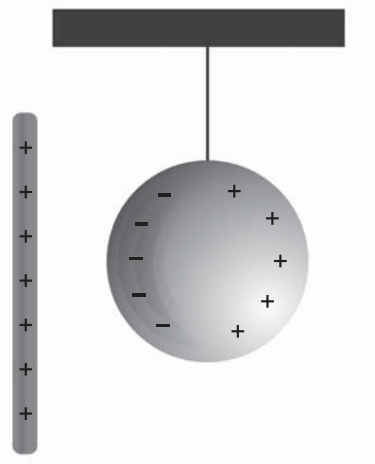
Os materiais condutores, como os metais, por exemplo, são aqueles que não isolam a carga na região eletrizada. Por isso, ao colocarmos um condutor para fechar o circuito, a lâmpada acende.

Os materiais isolantes, como plástico ou vidro, por exemplo, mantêm a carga isolada na região eletrizada. Assim, ao colocarmos um isolante para fechar o circuito, a lâmpada não acende.

## POLARIZAÇÃO

Voltemos agora a analisar a experiência de se aproximar um objeto neutro de outro carregado. Se você não se lembra disso, leia novamente o primeiro parágrafo da seção anterior ("*Intermezzo: o fenômeno da eletricidade*"). A pergunta é: por que observamos atração se somente um dos objetos está carregado?

Imaginemos um objeto neutro, mas construído de um material condutor. Por exemplo, uma bola de metal. Como já sabemos, as cargas num condutor se movem com muito mais facilidade do que num isolante. Vamos aproximar o bastão de vidro, carregado positivamente, da bola de metal. À medida que o bastão é aproximado da bola, suas cargas positivas atraem as negativas da bola, mas repelem as positivas. Como resultado destas atrações e repulsões, as cargas negativas da bola de metal tenderão a se concentrar na região mais próxima do bastão, enquanto as cargas positivas tenderão a ficar mais distantes do bastão. Veja a **Figura 6.9**:

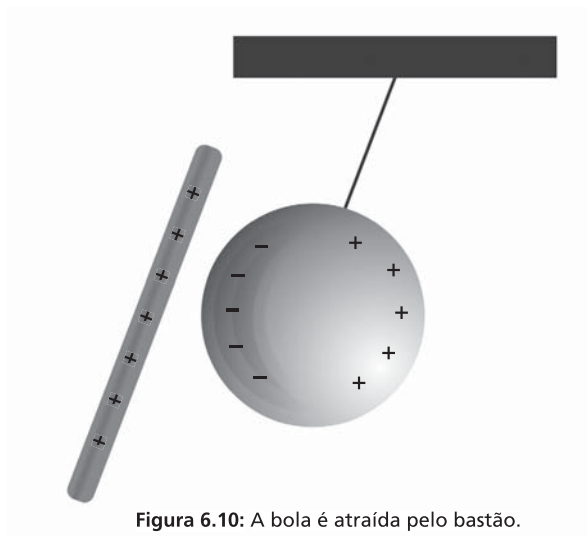


**Figura 6.9:** O bastão de vidro, carregado positivamente, é aproximado de uma bola de metal.

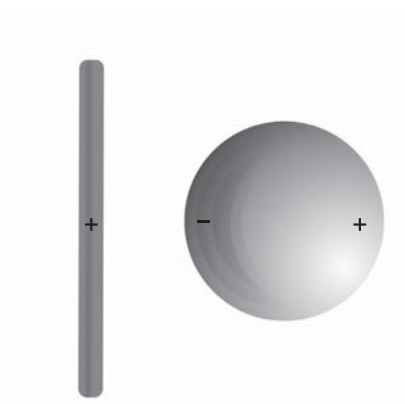
Assim, como uma primeira consequência, a aproximação de um objeto carregado de outro neutro causa uma reordenação das cargas do objeto neutro. Este efeito é também chamado de *polarização*, isto é, a aproximação do objeto carregado cria um *pólo* (região) de maior concentração de carga negativa e outro *pólo* com menos carga negativa (mais carga positiva). Assim, o objeto neutro (bola de metal) é *polarizado* pela aproximação do objeto carregado (bastão).



Até aí tudo bem, tudo perfeitamente compreensível. O problema é que, apesar deste efeito de polarização, a bola de metal continua *neutra*, ou seja, com a mesma quantidade de cargas negativa e positiva. Como entender então que ela é atraída pelo bastão?



Veja o seguinte. Cada uma das cargas positivas do bastão irá atrair cada uma das negativas da bola, mas vai também repelir cada uma das suas cargas positivas. Só para simplificar a análise, vamos ver o que acontece com uma única carga do bastão. Depois será só adicionar o efeito das outras cargas. Vamos então analisar a situação representada na Figura 6.11.



Lembre-se de que estas três cargas são todas iguais, só diferenciando em sinal. A interação entre a carga positiva do bastão e a carga negativa da bola de metal provocará uma atração entre os dois objetos. Vamos representar esta força de atração por um vetor, cuja ponta indica o sentido de deslocamento da bola. O tamanho do vetor indica a força com que a atração se dá.

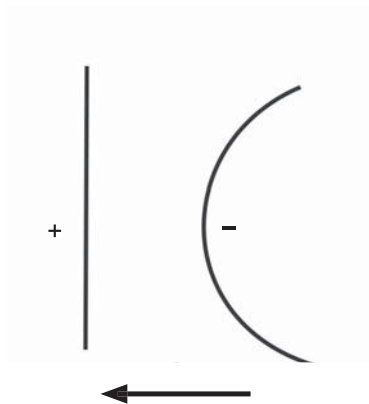


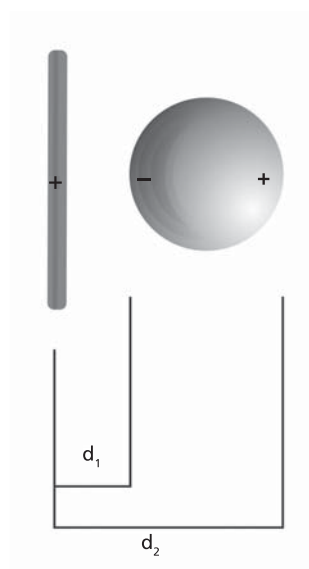
Figura 6.12: Representação do vetor que indica o sentido de deslocamento da bola.

Dessa forma, como consequência desta atração, esperaríamos ver um deslocamento da bola na direção do bastão. Entretanto, vai haver também uma repulsão entre as cargas positivas do bastão e da bola. Como as cargas são todas iguais, a não ser pelo sinal, não seria nada razoável supor que a força de atração entre duas cargas de sinais diferentes seja maior do que a de repulsão entre duas cargas de mesmo sinal. Assim, como resultado desta repulsão, teríamos uma força de mesmo valor, mas de sentido contrário.



Como consequência, a bola deveria permanecer parada, na sua posição original. *Mas não é isto que acontece!* Ela é atraída na *direção do bastão!*

Só há uma maneira de se entender o resultado desta experiência: supor que a força de atração ou de repulsão entre duas cargas depende da *distância* entre elas. Se isto for verdade, tudo se explica. Veja só. Pelo efeito de polarização, a carga positiva do bastão fica mais próxima das cargas negativas do que das cargas positivas da bola de metal. Veja a **Figura 6.13**:



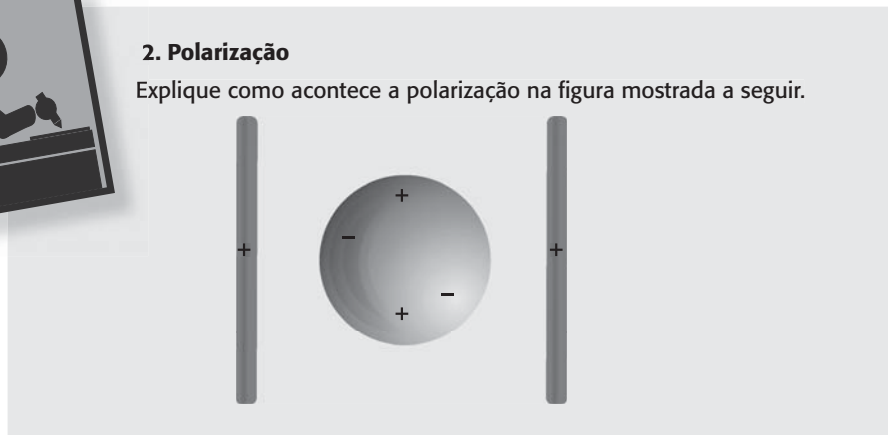
**Figura 6.13:** Como a distância entre a carga positiva do bastão e a carga negativa da bola é menor que a distância entre a carga positiva do bastão e a carga positiva da bola, a força de atração é maior que a de repulsão.



**ATIVIDADE**

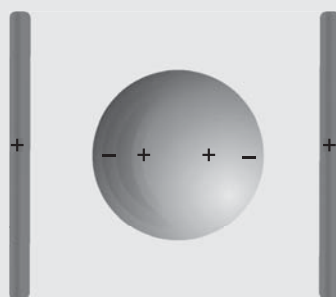
**2. Polarização**

Explique como acontece a polarização na figura mostrada a seguir.



#### RESPOSTA COMENTADA

A carga negativa na esfera tenderá a se acumular o mais perto possível dos bastões carregados positivamente, enquanto a carga positiva tenderá a ficar o mais distante possível. Logo, teremos cargas negativas na superfície dos dois lados e cargas positivas no centro da esfera, como mostrado a seguir:



## LEI DE COULOMB

### CHARLES AUGUSTIN DE COULOMB (1736–1806)

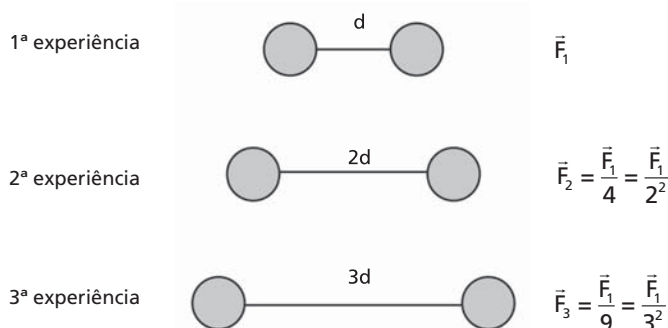
Em sua homenagem, deu-se seu nome à unidade de carga elétrica, o coulomb. Engenheiro de formação, ele foi principalmente físico. Publicou alguns tratados sobre eletricidade e magnetismo, e outros sobre os fenômenos de torção, atrito entre sólidos etc. Experimentador genial e rigoroso, realizou uma experiência histórica para determinar a força exercida entre duas cargas elétricas (lei de Coulomb).  
Fonte: [http://pt.wikipedia.org/wiki/Charles\\_de\\_Coulomb](http://pt.wikipedia.org/wiki/Charles_de_Coulomb)

Se fizermos a suposição de que quanto *menor a distância* entre as cargas *maior é a força* entre elas, a força de atração, na experiência anterior (Figura 6.13), será *maior* do que a de repulsão. Se somarmos agora os efeitos de atração e de repulsão de todas as cargas positivas do balão, o efeito final será o de atração da bola de metal pelo bastão, o que é realmente observado.

Esta dependência da força de atração ou de repulsão em relação à distância não é difícil de se perceber. Você pode repetir todas as experiências da seção anterior, variando a distância entre os objetos eletrizados. Você verá que eles se atraem ou repelem mais fortemente quanto mais próximos estiverem um do outro. Este efeito é bastante nítido nas experiências com um pedaço de papel. Verifique.

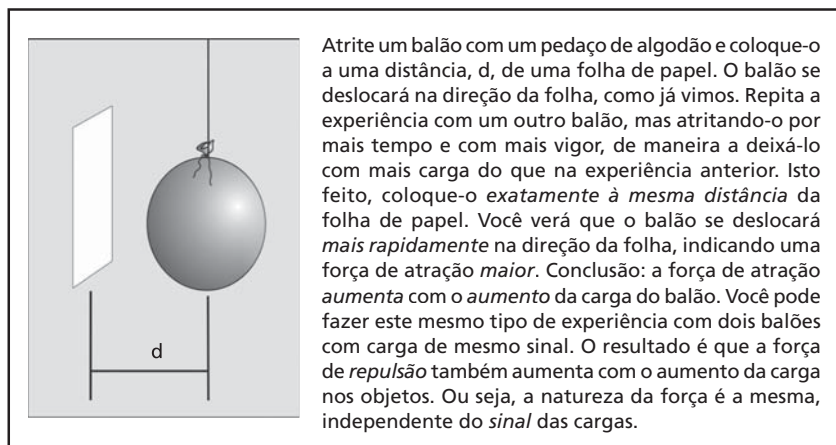
Em 1785, um cientista francês, **CHARLES COULOMB**, resolveu fazer uma série de experiências para tentar entender exatamente esta dependência, das forças de atração e de repulsão, com a distância entre as cargas. Ele pegou dois objetos condutores carregados, colocou-os a uma certa distância,  $d_1$ , e mediu a força,  $\vec{F}_1$ , entre eles (mais tarde vamos ver como medir esta força). Em seguida, colocou os mesmos dois objetos, com as mesmas cargas originais, a uma distância duas vezes maior do que

a original ( $2d$ ). Resultado, a força medida,  $\vec{F}_2$ , ficou quatro vezes *menor* do que a original! Depois, colocou os mesmos objetos, com as mesmas cargas, a uma distância três vezes maior do que a original ( $3d_1$ ), e notou que a força entre eles era agora nove vezes *menor* do que a original!



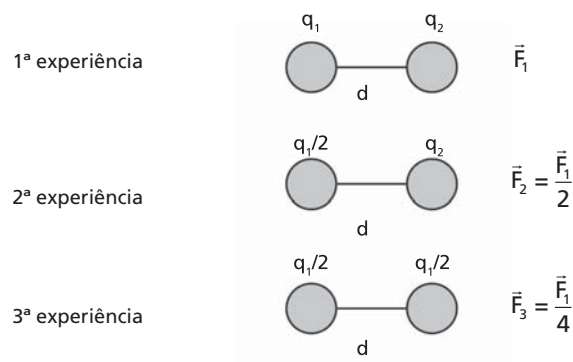
Destas experiências, Coulomb concluiu que a força entre as cargas diminuía com o *inverso do quadrado da distância entre elas*.

Não satisfeito, Coulomb resolveu investigar como esta força (de repulsão ou atração) variava com a quantidade de carga de cada objeto. Mas, antes de falar sobre essas outras experiências de Coulomb, perguntamos: você poderia antecipar o resultado, repetindo algumas das experiências realizadas anteriormente? Com os balões, por exemplo? Pense um pouco. Se não conseguir, veja a **Figura 6.14**:



**Figura 6.14:** Experiência mostrando que a força de atração ou repulsão aumenta com o aumento das cargas.

Bem, voltemos à experiência de Coulomb. Partindo de dois objetos carregados, a uma distância  $d$ , Coulomb determinou a força entre eles ( $\vec{F}_1$ ). Reduzindo a carga de *um dos objetos* à metade do valor inicial, e colocando os objetos à mesma distância,  $d$ , Coulomb notou que a força entre eles era metade do valor inicial. Reduzindo a carga *dos dois objetos* à metade do valor original e colocando-os novamente à mesma distância,  $d$ , Coulomb notou que a força entre eles ficava quatro vezes menor!



Se você olhar estas três experiências na ordem inversa, o resultado é que a força *aumenta* quando as cargas *aumentam*. Entretanto, destas três experiências nós podemos tirar uma *relação* entre as cargas e as forças. Já sabemos que a força varia com o inverso do quadrado da distância. Vamos agora supor também que ela varie com o produto das cargas dos objetos.

Na primeira experiência, teríamos o módulo da força dado por:

$$F_1 = \frac{q_1 q_2}{d^2}$$

Na segunda experiência, teríamos:

$$F_2 = \frac{\left(\frac{q_1}{2}\right)q_2}{d^2} = \frac{q_1 q_2}{2d^2} = \frac{F_1}{2}$$

E, na terceira, teríamos:

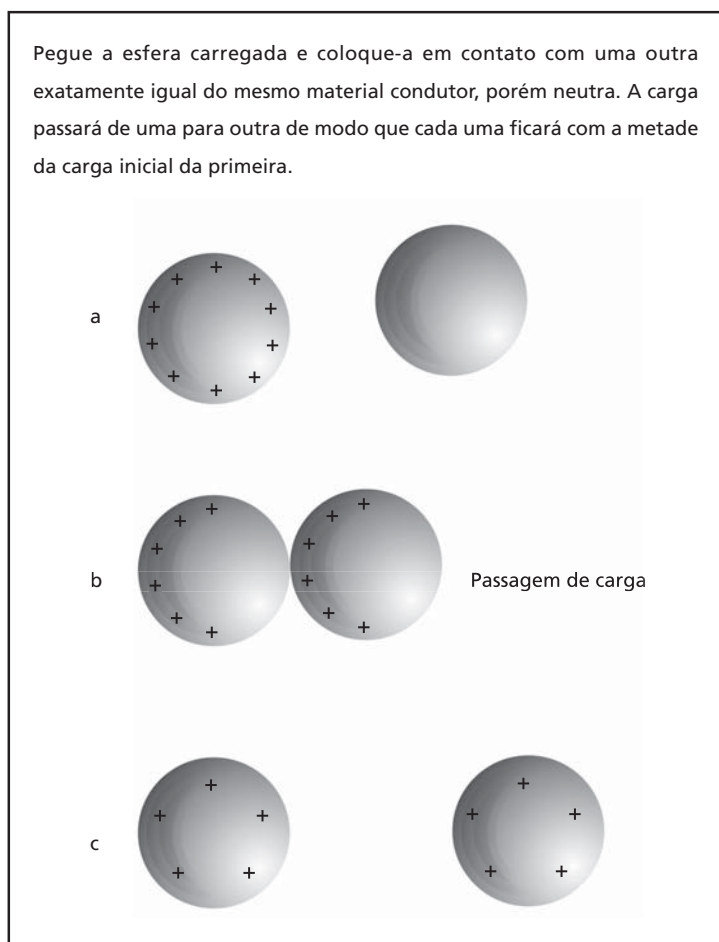
$$F_3 = \frac{\left(\frac{q_1}{2}\right)\left(\frac{q_2}{2}\right)}{d^2} = \frac{q_1 q_2}{4d^2} = \frac{F_1}{4}$$

Exatamente como observado por Coulomb!

Lei de Coulomb:

“A força (de atração ou repulsão) é diretamente proporcional ao produto das cargas ( $q_1$  e  $q_2$ ) e inversamente proporcional ao quadrado da distância entre elas ( $d^2$ ).”

Antes de prosseguirmos, você conseguiria imaginar como reduzir à metade a carga de um objeto, como fez Coulomb? Pense um pouco e em seguida veja a **Figura 6.15**.



**Figura 6.15:** Experiência mostrando como reduzir a carga à metade.



**ATIVIDADE**

**3. Lei de Coulomb**

O que ocorrerá com a força entre dois objetos carregados se dobrarmos cada uma das cargas e dobrarmos a distância entre elas?

---



---



---



---

**RESPOSTA COMENTADA**

Digamos que no início tenhamos uma força cujo módulo é  $F$ . Pela definição da lei de Coulomb,  $F$  seria dado por:

$$F = \frac{q_1 q_2}{d^2}$$

Se dobrarmos as cargas e a distância teremos a força  $F_1$  dada por:

$$F_1 = \frac{2q_1 2q_2}{(2d)^2} = \frac{4q_1 2q_2}{4d^2} = \frac{q_1 q_2}{d^2} = F$$

Ou seja, na verdade, a força não se altera.

Agora já podemos entender por que um objeto carregado pode atrair um outro neutro. A proximidade do objeto carregado (bastão) polariza o objeto neutro (bola de metal), fazendo com que suas cargas de sinal contrário às do objeto carregado fiquem mais próximas deste. Desta forma, a força de atração entre as cargas de sinal contrário será maior do que as de repulsão entre as cargas de mesmo sinal.

Só mais uma coisa. Quando começamos esta discussão, utilizamos um objeto carregado e outro neutro, mas feito de um *material condutor*. Como as cargas em um condutor podem se deslocar pelo material com certa facilidade, não é difícil entender o processo de polarização. Mas e se o objeto neutro for um *isolante*?

Num isolante, por alguma razão, as cargas não se movem livremente pelo material. Talvez porque as suas cargas positivas e negativas estejam distribuídas de tal forma a dificultar os deslocamentos. Veja como exemplo a **Figura 6.16**.



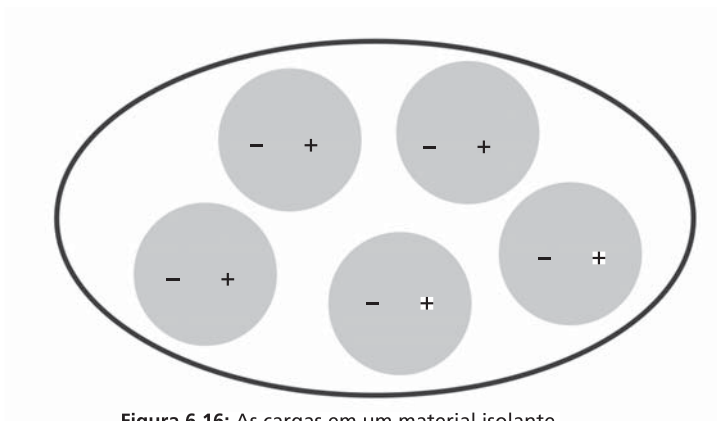


Figura 6.16: As cargas em um material isolante.

Entretanto, mesmo assim o isolante pode sofrer um processo de polarização, se dele aproximarmos um outro objeto carregado:

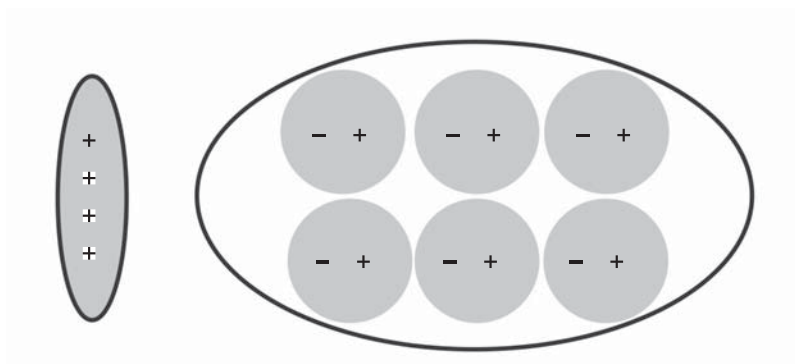


Figura 6.17: Mesmo no material isolante, pode ocorrer polarização.

Uma vez polarizado o isolante, haverá um *maior* número de cargas negativas *mais próximas* do objeto carregado. Em conseqüência, a bola de material isolante será também atraída pelo bastão carregado:

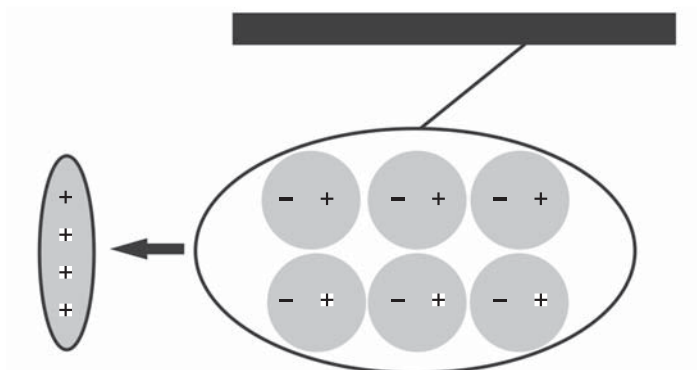
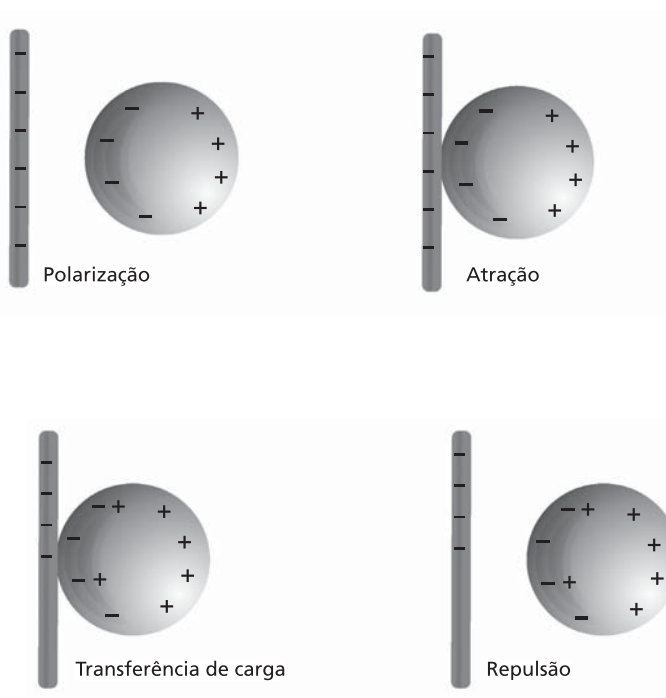


Figura 6.18: A bola de material isolante é atraída pelo bastão.

Pronto! Agora já temos uma explicação para todas as experiências que realizamos.

Para concluir, só mais uma observação. Quando fizemos a experiência do balão com o pedaço de algodão, ambos com carga, notamos que, após certo tempo de contato, eles deixam de se atrair e tornam-se neutros (veja a seção “Conservação de cargas” da Aula 5). Vimos que o processo de neutralização envolvia a passagem de cargas entre os objetos, de forma que, ao final, os excessos de cargas, positiva e negativa, eram compensados nos dois objetos, razão pela qual eles se tornavam neutros e cessava a atração entre eles.

Se realizarmos qualquer uma das experiências desta seção, envolvendo um objeto carregado e outro neutro, veremos que, após um período de tempo em contato, eles também vão se separar. Mas *não* porque se neutralizaram, mas porque parte da carga em excesso do objeto carregado é transferida para o objeto neutro. Como os dois objetos ficam com excesso de carga do mesmo sinal, eles se *repelem*. Experimente refazer a experiência do pente com o pedaço de papel, ou a do balão com a folha de papel. Depois de certo tempo de contato os objetos vão se separar. Veja o esquema na **Figura 6.19**:



**Figura 6.19:** Representação da experiência que mostra atração e, em seguida, repulsão.

Como as quantidades de carga em excesso em todas essas experiências são pequenas, as forças de atração e de repulsão também são pequenas. Assim, fica difícil distinguir a situação em que os dois objetos se separam porque se tornaram neutros (a força de atração se torna nula) daquela em que eles se separaram (por repulsão) porque passaram a ter excesso de carga de mesmo sinal.

Bem, aqui terminamos nosso intervalo (*intermezzo*). Voltaremos a falar deste importante fenômeno, *eletricidade*, em várias outras ocasiões, pois ele está intimamente ligado aos fenômenos químicos, como você agora já pode perceber.

## ATIVIDADE FINAL

### Atração

Considere o seguinte caso: um amigo seu prepara uma experiência para mostrar a atração entre dois objetos. Mas você não sabe se ele usou dois objetos com carga ou um objeto neutro e outro com carga. Você só vê os dois objetos em contato e se separando depois de certo tempo. Ao final da experiência, como você poderia dizer se ele usou dois objetos carregados, ou um deles neutro e o outro carregado?

---

---

---

### RESPOSTA COMENTADA

*Ao final da experiência com dois objetos com cargas contrárias, ambos estarão neutros e, portanto, incapazes de atrair qualquer outro objeto. Ao contrário, no final da experiência envolvendo um objeto com carga e outro neutro, ambos estarão com carga (de mesmo sinal). Assim, ambos serão capazes de atrair outros objetos.*

## RESUMO

Materiais isolantes são aqueles capazes de manter a carga isolada na região que foi eletrizada, enquanto condutores são aqueles que não isolam a carga nesta região. Ao aproximarmos um objeto carregado de um neutro, as cargas no objeto neutro se redistribuirão de modo que a carga de sinal oposto ao do condutor fique mais próxima deste, enquanto a carga de mesmo sinal fique mais afastada. Este processo de redistribuição de cargas chamamos de polarização. A força de atração ou repulsão entre duas cargas é expressa pela lei de Coulomb, que diz que a força é diretamente proporcional ao produto das cargas ( $q_1$  e  $q_2$ ) e inversamente proporcional ao quadrado da distância entre elas ( $d^2$ ).