

Módulo III –Carga Elétrica, Força e Campo Elétrico

Carga Elétrica:

Denomina-se **carga elétrica** a propriedade inerente a determinadas partículas elementares, que proporciona a elas a capacidade de interação mútua, de natureza elétrica

Pelos estudos dos fenômenos elétricos, verificou-se que existem dois tipos de cargas elétricas. Convencionou-se, então, que a carga do elétron seria negativa e a do próton, positiva.

Elétron \Rightarrow carga negativa \Rightarrow -
Próton \Rightarrow carga positiva \Rightarrow +

Experimentalmente, conclui-se que as quantidades de carga elétrica do elétron e do próton são iguais em valores absolutos. A este valor deu-se o nome de quantidade de **carga elétrica elementar (e)**:

$$e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

onde a unidade de medida é **C (coulomb)**.

Princípios da Eletrostática:

(a) **PRINCÍPIO DA ATRAÇÃO E REPULSÃO** : partículas portadoras de cargas elétricas de mesmo sinal se repelem e as de sinais opostos se atraem.

(b) **PRINCÍPIO DA CONSERVAÇÃO DAS CARGAS ELÉTRICAS** : a soma algébrica das quantidades de carga elétrica, num sistema eletricamente isolado, é constante.

Exemplo: Num sistema eletricamente isolado, constituído de três corpos, **A**, **B** e **C**, há a seguinte distribuição de cargas elétricas: $Q_A = 10 \text{ C}$, $Q_B = 5 \text{ C}$ e $Q_C = -8 \text{ C}$. Ocorrem então, duas transferências de cargas: 2 C de **A** para **B** e $1,5 \text{ C}$ de **B** para **C**. Determine:
(a) a quantidade de carga elétrica no sistema antes e depois das transferências;

(b) as quantidades de carga elétrica de cada corpo após as transferências.

Resolução:

(a) Quantidade de carga elétrica do sistema:

$$\sum Q = 10 + 5 + (-8) \rightarrow \sum Q = 7C$$

Portanto, 7 C é a quantidade de carga elétrica antes da transferência mas, como o sistema é eletricamente isolado, as somas inicial e final devem ser iguais:

$$\sum Q = \sum Q' = 7C$$

(b) Corpo A

$$Q'_A = Q_A - 2 = 10 - 2 = 8C$$

Corpo B:

$$Q'_B = Q_B + 2 - 1,5 = 5 + 2 - 1,5 = 5,5C$$

Corpo C:

$$Q'_C = Q_C + 1,5 = -8 + 1,5 = -6,5C$$

Condutores e Isolantes :

Os meios materiais, quanto ao comportamento elétrico, podem ser classificados em:

- (a) **CONDUTORES** : materiais nos quais os portadores de carga elétrica têm grande liberdade de movimento; podem ser de dois tipos:
- 1. eletrônicos:** os portadores de carga são os elétrons livres. Ex: metais e grafite;
 - 2. iônicos:** os portadores de carga são os íons. Ex: gases ionizados e soluções eletrolíticas.

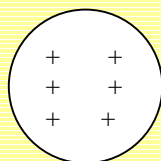
- (b) **ISOLANTES** ou **DIELÉTRICOS** : materiais nos quais os portadores de carga elétrica não encontram facilidade de movimento. Ex: ar atmosférico, água pura, vidro, borracha, plástico, etc.

Ressalte-se, ainda, uma classe de materiais que têm propriedades intermediárias entre os condutores e os isolantes: a dos **semicondutores**. Exemplos: silício, germânio, etc., muito importantes na fabricação de transistores e circuitos integrados e fundamentais para a montagem de aparelhos eletrônicos, dentre os quais os computadores.

Corpo Eletrizado :

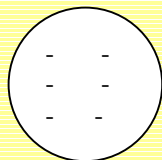
Diz-se que um corpo está eletrizado quando possui o número de elétrons diferente do número de prótons. Tem-se, então:

- (a) **CORPO ELETRIZADO POSITIVAMENTE** : há falta de elétrons, por tê-los perdido.



$$n^{\circ} \text{ de elétrons} < n^{\circ} \text{ de prótons}$$

- (b) **CORPO ELETRIZADO NEGATIVAMENTE** : há excesso de elétrons, por tê-los recebido.



$$n^{\circ} \text{ de elétrons} > n^{\circ} \text{ de prótons}$$

- (c) **CORPO ELETRIZADO NEUTRO** :

$$n^{\circ} \text{ de elétrons} = n^{\circ} \text{ de prótons}$$

Vários são os processos pelos quais se realiza a eletrização de um corpo. Temos a **eletrização por atrito** ou **triboeletrização**, que ocorre quando dois corpos neutros, de materiais diferentes, são atritados, trocando elétrons entre eles. Já quando um condutor eletrizado é posto em contato com outro condutor neutro, há eletrização deste último, com o mesmo sinal do primeiro, devido à **eletrização por contato**.

Outra forma de eletrização, e a **eletrização por indução**, onde o corpo inicialmente neutro a ser eletrizado deve ser um condutor e será denominado **induzido**, e possuirá carga elétrica de sinal oposto ao do indutor.

Força Elétrica:

As interações, de atração ou de repulsão, entre corpos carregados positiva ou negativamente são **forças de natureza elétrica** muito importantes em diversos equipamentos. Será estudada de início, a força de interação entre as cargas em repouso, denominada forças eletrostática.

Para simplificação de linguagem, muitas vezes é usada a palavra **carga** no sentido de representar uma partícula carregada eletricamente. Uma das aplicações das forças de natureza elétrica encontra-se em máquinas copadoras, que fazem uso de substâncias e materiais suscetíveis à eletrização. De acordo com a imagem a ser duplicada, ocorrem eletrizações em diferentes intensidades.

Lei de Coulomb:

Já vimos que partículas com cargas de mesmo sinal se repelem e as de sinais diferentes se atraem. Essa força de interação eletrostática entre as partículas carregadas foi medida pela primeira vez por C. A. de Coulomb, em 1785.

LEI DE COULOMB: “O módulo da força de interação eletrostática entre duas partículas carregadas é diretamente proporcional ao produto dos valores absolutos de suas cargas e inversamente proporcional ao quadrado da distância que as separa”.

$$F = k \cdot \frac{|Q_1| \cdot |Q_2|}{d^2}$$

A constante de proporcionalidade (**k**) depende do meio em que estão imersas as partículas e é denominada **constante eletrostática**.

O valor de **k no vácuo** (k_0) foi determinado empiricamente:

$$K_0 = 9,0 \times 10^9 \text{ N.m}^2/\text{C}^2 \quad (\text{no SI})$$

Este valor também se aplica quando o meio em que se encontram as partículas é o ar (seco):

$$k_{\text{ar}} \approx k_0$$

Exemplo 1: *Duas esferas idênticas, de tamanhos desprezíveis, com cargas $3Q$ e Q , encontram-se no vácuo, separadas de uma distância d . Sobre cada uma delas age uma força F , de interação eletrostática. Colocam-se as duas esferas em contato até que atinjam o equilíbrio eletrostático. Calcule a intensidade da força F' que age sobre as duas esferas quando separadas de uma distância d , em relação à intensidade de F .*

Resolução:

Temos a seguinte situação inicial:



Pela lei de Coulomb:

$$F = k \cdot \frac{|Q_1| \cdot |Q_2|}{d^2}$$

$$F = k \cdot \frac{(3Q) \cdot (Q)}{d^2}$$

Efetuando-se o contato:



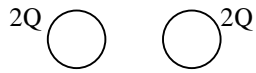
Distanciando-se de d :

$$F' = k \cdot \frac{|Q_1| \cdot |Q_2|}{d^2}$$

$$F' = k \cdot \frac{(2Q) \cdot (2Q)}{d^2}$$

$$F' = k \cdot \frac{4Q^2}{d^2}$$

Teremos então:



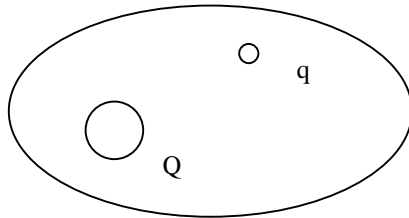
$$\frac{F'}{F} = \frac{k \cdot \frac{4Q^2}{d^2}}{k \cdot \frac{3Q^2}{d^2}} \Rightarrow \frac{F'}{F} = \frac{4}{3} \Rightarrow F' = \frac{4}{3} \cdot F$$

Campo Elétrico:

As manifestações das forças de atração ou repulsão eletrostáticas ocorrem em regiões do espaço onde exista o que se denomina **campo elétrico**.

Em cada ponto do espaço de um campo elétrico há uma grandeza vetorial que caracteriza a ação exercida sobre uma carga elétrica aí posicionada. Essa grandeza é chamada de vetor campo elétrico.

Considere uma carga central **Q**. Ao se colocar, nas proximidades, uma carga de prova **q**, esta será atraída ou repelida pela carga **Q**. Então diz-se que a carga **q** está imersa num **campo elétrico** gerado pela carga **Q**.



CAMPO ELÉTRICO: região do espaço em torno de uma carga ou superfície carregada (**Q**), onde qualquer corpo eletrizado fica sujeito à ação de uma força de origem elétrica.

Relação entre força elétrica e campo elétrico:

$$F = q \cdot E \quad \text{ou} \quad E = \frac{F}{q}$$

- $q > 0 \Rightarrow \mathbf{F}$ e \mathbf{E} têm os mesmos sentidos;
- $q < 0 \Rightarrow \mathbf{F}$ e \mathbf{E} têm sentidos opostos;

No sistema internacional, a unidade da intensidade do campo elétrico é N/C (newton/coulomb). Esta unidade é equivalente a V/m (volt por metro).

Exemplo 2: Uma carga puntiforme de $-10\mu\text{C}$ é imersa num campo elétrico, cuja intensidade local é de 10^6 N/C e tem sentido horizontal, da esquerda para a direita. Pedem-se a intensidade, a direção e o sentido da força que atua sobre a carga.

Resolução:

Temos os seguintes dados:

$$q = -10\mu\text{C} = -10 \cdot 10^{-6} \text{ C}$$

$$E = 10^6 \text{ N/C}$$

A força **F** e o campo elétrico **E** tem mesmas direção e sentidos opostos pois $q < 0$. A intensidade da força é dada por:

$$F = |q| \cdot E$$

$$F = |-10 \cdot 10^{-6}| \cdot 10^6$$

$$F = 10 \text{ N}$$

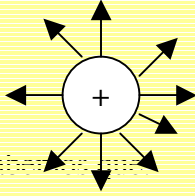
Campo Elétrico de uma Carga Puntiforme:

Seja uma carga central, fixa, **Q**, puntiforme, e uma carga de prova **q**, mergulhada no campo elétrico de **Q**. O vetor campo elétrico **E** tem sentidos distintos, de acordo com o sinal da carga central **Q**, conforme tabela a seguir:

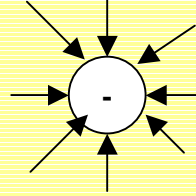
$q > 0$ E e F têm o mesmo sentido	Q > 0	Q < 0
	Cargas de mesmo sinal se repelem	Cargas de sinais opostos atraem-se
$q < 0$ E e F têm sentidos opostos.	Q > 0	Q < 0
	Cargas de sinais opostos atraem-se	Cargas de mesmo sinal se repelem

Pode-se concluir, através do exposto acima que:

Se $Q > 0$, o vetor campo elétrico é de **afastamento**.



Se $Q < 0$, o vetor campo elétrico é de **aproximação**.



$$F = |q| \cdot E$$

Da lei de Coulomb:

$$F = k \cdot \frac{|Q_1| \cdot |Q_2|}{d^2}$$

Com isso teremos:

$$E = k \cdot \frac{|Q|}{d^2}$$

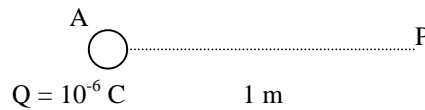
O campo elétrico depende da carga central, do meio em que está e da distância do ponto à carga central.

Campo Elétrico de várias Cargas Puntiformes:

Sejam n cargas puntiforme fixas Q_1, Q_2, \dots, Q_n e um ponto P do espaço. O vetor campo elétrico resultante das diversas cargas é a soma vetorial dos vetores campo elétrico E_1, E_2, \dots, E_n , que cada carga, individualmente, gera em P .

$$\mathbf{E} = \mathbf{E}_1 + \mathbf{E}_2 + \dots + \mathbf{E}_n$$

Exemplo 1: Determine a direção, o sentido e a intensidade do vetor campo elétrico no ponto P da figura. O meio é o vácuo.



Resolução:

Temos os seguintes dados:

$$k = 9 \cdot 10^9$$

$$Q_1 = 10^{-6}$$

$$d = 1 \text{ m}$$

Logo:

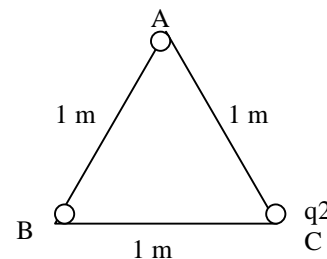
$$E = k \cdot \frac{|Q|}{d^2}$$

$$E = (9 \cdot 10^9) \cdot \frac{10^{-6}}{1^2}$$

$$E = 9 \cdot 10^3 \text{ N/C}$$

A direção é a mesma da reta que une A e P e o sentido será da esquerda para a direita pois carga positiva gera um campo de afastamento.

Exemplo 2: Nos vértices **B** e **C** de um triângulo equilátero **ABC**, são colocadas as cargas $+Q$ e $-Q$, respectivamente, onde $Q = 1,0 \times 10^{-6} \text{ C}$. Sendo $1,0 \text{ m}$ a medida do lado do triângulo, determine a intensidade, a direção e o sentido do vetor campo elétrico resultante em **A**. O meio é o vácuo



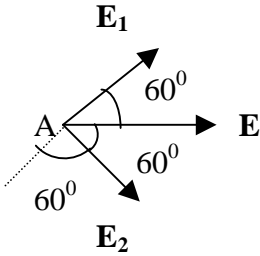
Resolução:

A carga positiva (colocada em B) cria em A um campo de afastamento E_1 e a carga negativa (colocada em C), um campo de aproximação E_2 . E_1 e E_2 têm a mesma intensidade, pois as cargas (iguais em módulo) equidistam de A.

$$E_1 = E_2 = k \cdot \frac{|Q|}{d^2}$$

$$E_1 = E_2 = (9 \cdot 10^9) \cdot \frac{(10^{-6})}{1^2} \Rightarrow E_1 = E_2 = 9 \cdot 10^3 \text{ N/C}$$

Sendo o triângulo da figura equilátero, tem-se:



$$E = 9 \cdot 10^3 \text{ N/C}$$

A direção é horizontal e o sentido, da esquerda para a direita.

Linhas de Força:

As linhas de força (ou de campo) são linhas imaginárias, tangentes aos vetores campo elétrico em cada ponto do espaço sob influência elétrica e no mesmo sentido dos vetores campo elétrico. Servem para visualizar melhor a atuação do campo elétrico.

As linhas de força “nascem” das cargas positivas e “morrem” nas cargas negativas. No caso de termos duas cargas positivas de mesmo módulo, no ponto médio do segmento de reta que une as duas cargas, o campo elétrico é nulo.

Campo Elétrico Uniforme:

Um campo elétrico é dito uniforme se, em qualquer ponto dele, o vetor campo elétrico é o mesmo (E constante). Neste caso, as linhas de força são **paralelas** entre si e **distanciadas igualmente**.

