

## Electricidade e Magnetismo

1. Campos Eléctricos
2. A lei de Gauss
3. Potencial Eléctrico
4. Capacidade e Dieléctricos
5. Correntes e Resistência
6. Circuitos de Corrente Contínua
7. Circuitos de Corrente Alternada
8. Campos Magnéticos
9. Fontes do Campo Magnético
10. A lei de Faraday
11. Indutância

### Bibliografia:

- “Física - EM”; Halliday e Resnich (vol.3)
- “Electromagnetismo”; Jaime E. Villate
- “Física - EM”; Tipler (vol.3)
- “Física - EM”; Sears, Zemansky e Young; (vol.3)
- “Introdução ao EM”; S. Mendiratta
- “Física - EM e Óptica”; Serway (vol.3)
- “Física - Fundamentos e Aplicações”; Eisberg e Lerner (vol.3)

- Física dos fenómenos eléctricos e magnéticos.
  - Operação de muitos dispositivos.
  - Forças interatómicas e intermoleculares.
  - Formação de sólidos e de líquidos.
  - Forças de contacto entre corpos.
- **Magnetismo: chineses 2,000 A.C.**
- **Electricidade e Magnetismo: gregos 700 A.C.**
  - Âmbar Friccionado atrai a palha e penas.
  - Magnetite ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) atrai o ferro
    - eléctrico  $\Rightarrow$  elektron (âmbar)
    - magnético  $\Rightarrow$  magnesia (distrito Norte da Grécia)
- **1600 William Gilbert  $\Rightarrow$  electrificação é um fenómeno geral**
- **1785 Charles Coulomb  $\Rightarrow F \sim 1/r^2$**
- Metade Século XIX  $\Rightarrow$  **Electricidade e Magnetismo fenómenos relacionados**
- **1820 Hans Oersted  $\Rightarrow$  agulha magnética desviava-se na vizinhança de um circuito eléctrico.**
- **1831 Michael Faraday / Joseph Henry  $\Rightarrow$  fio condutor deslocava-se na vizinhança de um imã  $\Rightarrow$  corrente eléctrica no condutor (viz.)**
- **1873 James Clerk Maxwell  $\Rightarrow$  leis do electromagnetismo.**
- **1888 Heinrich Hertz  $\Rightarrow$  verificou as previsões de Maxwell, gerando ondas electromagnéticas no laboratório.**
- **Desenvolvimentos práticos como a rádio e a televisão.**

## 1. Campos Eléctricos

- 1.1 Propriedades das Cargas Eléctricas.
- 1.2 Isoladores e Condutores.
- 1.3 A Lei de Coulomb.
- 1.4 Campo Eléctrico
- 1.5 Campo Eléctrico de uma Distribuição de Cargas.
- 1.6 Linhas do Campo Eléctrico.
- 1.7 Movimento de partículas carregadas num campo eléctrico uniforme.

### 1.1 Propriedades das Cargas Eléctricas



1. **Há duas espécies de cargas eléctricas na natureza: positivas e negativas**, com a propriedade: as cargas de espécies diferentes atraem-se e as da mesma espécie repelem-se. **Franklin** (1706-1790)
2. **A força electrostática entre cargas varia com o inverso do quadrado da distância entre elas.**  
 $F \propto 1/r^2$  **Priestley** (1733-1804), **Coulomb** (1736-1806)
3. **A carga eléctrica conserva-se.** **Franklin**
4. **A carga está quantizada.**  $q = Ne$  **Millikan** (1909)

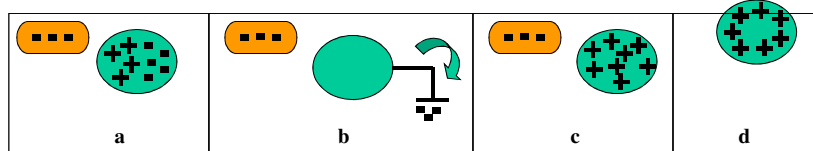


electrão:  $-e$   
 próton :  $+e$

## 1.2 Condutores e Isoladores

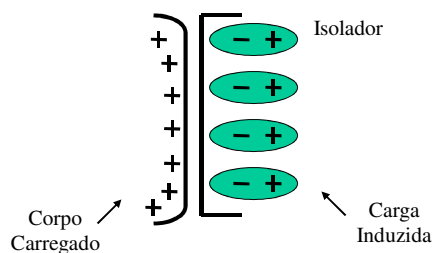
1. Os condutores são materiais nos quais as cargas eléctricas se podem movimentar livremente  $\Rightarrow$  cobre, alumínio, prata...
  2. Os isoladores são materiais que não transportam, com facilidade, cargas eléctricas  $\Rightarrow$  vidro, borracha, madeira...
  3. Semicondutores a facilidade de transporte de carga é intermédia  $\Rightarrow$  silício, germânio, arsenieto de gálio.
- Quando um condutor está ligado à terra por um fio metálico diz-se que o condutor está a um potencial nulo.

Electrificação de um condutor por indução:



- Condução  $\Rightarrow$  exige contacto entre os dois corpos
- Processo semelhante ao do carregamento por indução ocorre nos isoladores ou dielétricos.

### Polarização



### 1.3 Lei de Coulomb (1785)

Módulo da força eléctrica entre duas cargas:

$$F = K \frac{|q_1| |q_2|}{r^2}$$

↓  
Constante de Coulomb

$$K \text{ (SI)} = 8.9875 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2$$

$$\cong 9.0 \quad (\text{nossos cálculos})$$

A unidade S.I. de carga eléctrica é o Coulomb (C)

**Def.:** Quando a corrente eléctrica num fio condutor for de 1 A (Ampere, unidade de corrente eléctrica no S.I.) a quantidade de carga que passa por uma secção do fio em 1s é 1 C.

$$K = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$$

↓  
Permitividade do vácuo

$$\epsilon_0 = 8.8542 \times 10^{-12} \text{ C}^2 / \text{N} \cdot \text{m}^2$$

Carga de um electrão ou de um protão:

$$|e| = 1.60219 \times 10^{-19} \text{ C}$$

$$\Rightarrow 1 \text{ C de carga} = 6.3 \times 10^{18} \text{ electrões } (1/e \text{ e-})$$

$$\Rightarrow 1 \text{ cm}^3 \text{ Cu} \Rightarrow \approx 10^{23} \text{ electrões livres}$$

$$\text{Experiências electrostáticas típicas} \Rightarrow 10^{-6} \text{ C } (=1\mu\text{C})$$

- A força é uma grandeza vectorial.
- A lei de Coulomb só se aplica exactamente a cargas pontuais ou a partículas.
- A força eléctrica de  $q_1$  sobre  $q_2$ ,  $F_2$

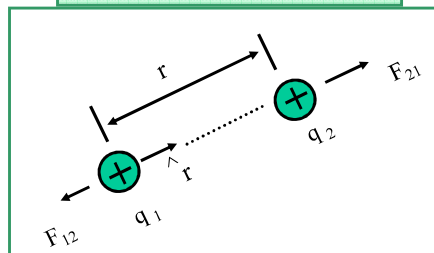
Eq. 1  $\rightarrow \vec{F}_{21} = K \frac{|q_1| |q_2|}{r^2} \hat{r}$

Vector unitário dirigido de  $q_1$  para  $q_2$

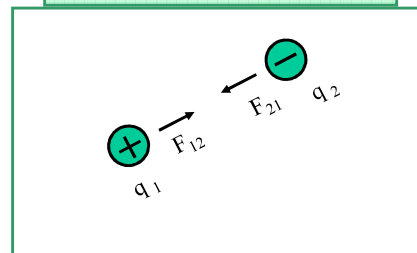
- A lei de Coulomb verifica a terceira lei de Newton:

$$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21} \quad \leftarrow \text{Mesmo módulo}$$

$q_1$  e  $q_2$  mesmo sinal  
 $q_1 q_2 > 0$   
 Força Repulsiva



$q_1$  e  $q_2$  sinais opostos  
 $q_1 q_2 < 0$   
 Força Atractiva



Mais de duas cargas  $\Rightarrow$  [princípio da sobreposição](#)

- A força entre qualquer par de cargas é dada pela Eq.1.
- A força resultante sobre qualquer das cargas é igual à [soma vectorial](#) das forças devidas às cargas individuais.

$$\vec{F}_1 = \vec{F}_{12} + \vec{F}_{13} + \vec{F}_{14}$$

## 1.4 Campo Eléctrico

- O vector campo eléctrico  $\vec{E}$  num ponto do espaço define-se como a força eléctrica  $\vec{F}$  que actua sobre uma carga de prova positiva colocada nesse ponto, dividida pelo módulo dessa carga de prova  $q_0$ :

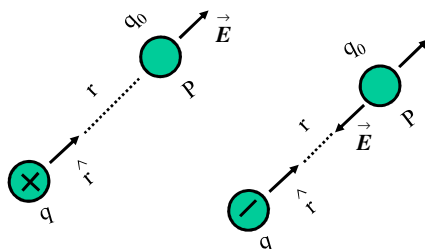
$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0} \quad (\text{S.I.} \Rightarrow \text{N/C})$$

$$\vec{E} = \lim_{q_0 \rightarrow 0} \frac{\vec{F}}{q_0}$$

Ex.:

$q > 0 \Rightarrow$  campo radial, dirigido para fora

$q < 0 \Rightarrow$  campo radial, dirigido para q



$$\vec{F} = K \frac{qq_0}{r^2} \hat{r}$$

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0} = K \frac{q}{r^2} \hat{r}$$

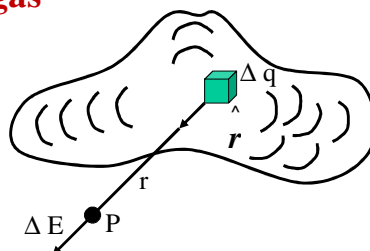
- **Princípio da sobreposição:** O campo eléctrico total, devido a um grupo de cargas, é igual à soma vectorial dos campos eléctricos de todas as cargas.

$$\vec{E} = K \sum_i \frac{q_i}{r_i^2} \hat{r}_i$$

$\hat{r}_i$  : vector unitário dirigido de  $q_i$  para P

$r_i$  : distância da  $i$ -ésima carga,  $q_i$ , ao ponto P (localização da carga de prova)

### 1.5 Campo eléctrico de uma distribuição contínua de cargas



1. Dividimos a distribuição de carga em pequenos elementos  $\Delta q$ .
2. Usamos a lei de Coulomb para calcular o campo eléctrico em P devido a um desses elementos.

$$\Delta \vec{E} = K \frac{\Delta q}{r^2} \hat{r}$$

3. Calculamos o campo total pela aplicação do princípio da sobreposição.

$$\vec{E} \cong K \sum_i \frac{\Delta q_i}{r_i^2} \hat{r}_i$$

Se a separação entre os elementos de carga, na distribuição de cargas, for pequena em comparação com a distância a P  $\Rightarrow$  a distribuição de carga pode ser considerada contínua.

Campo total em P:

$$\vec{E} = K \lim_{\Delta q_i \rightarrow 0} \sum_i \frac{\Delta q_i}{r_i^2} \hat{r}_i = K \int \underbrace{\frac{dq}{r^2}} \hat{r}$$

Operação vectorial

Cargas uniformemente distribuídas

Densidades de carga:

Num volume

$$V \Rightarrow \rho \equiv \frac{Q}{V} \left( \frac{C}{m^3} \right)$$

Uma superfície de área

$$A \Rightarrow \sigma \equiv \frac{Q}{A} \left( \frac{C}{m^2} \right)$$

Uma linha de comprimento

$$l \Rightarrow \lambda \equiv \frac{Q}{l} \left( \frac{C}{m} \right)$$

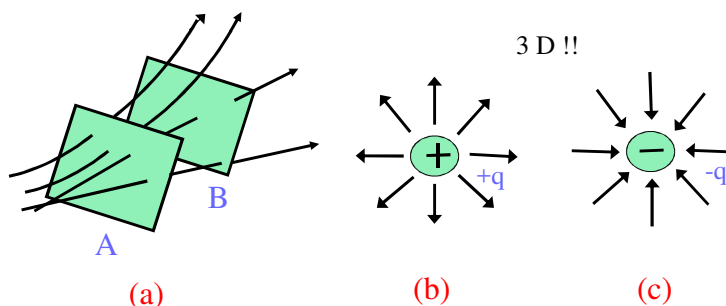
Cargas NÃO uniformemente distribuídas:

$$\rho = \frac{dQ}{dV}; \sigma = \frac{dQ}{dA}; \lambda = \frac{dQ}{dl}$$



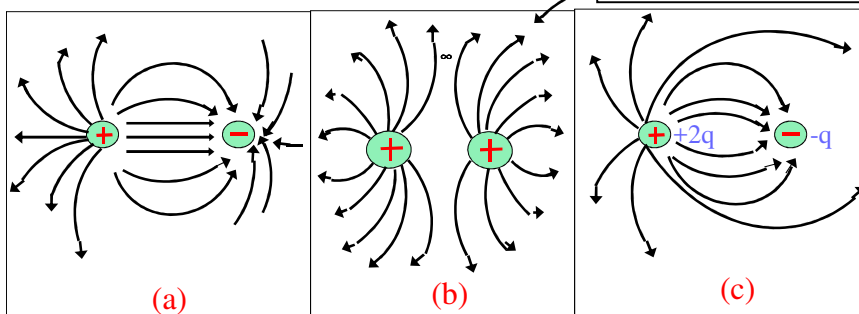
## 1.6 Linhas do Campo Eléctrico

1.  $\vec{E}$  é tangente, em cada ponto, à linha do campo eléctrico que passa pelo ponto.
2. O número de linhas, por unidade de área, que atravessam uma superfície perpendicular às linhas do campo, é proporcional ao valor do campo eléctrico na região.



### Regras para traçar as linhas do campo eléctrico:

1. As linhas começam em cargas (+) e terminam em cargas (-), ou no  $\infty$ , no caso de haver excesso de carga.
2. O número de linhas que saem de uma carga (+), ou que convergem para uma carga (-), é proporcional ao módulo da carga ( $0, \pm c'e, \pm 2c'e \dots$ )
3. As linhas do campo eléctrico não se cruzam. Não são entidades materiais!



O campo é contínuo – existe em todos os pontos !!!

## 1.7 Movimento de Partículas Carregadas num Campo Eléctrico Uniforme

(Equivale ao mpv. De um projectil num campo gravitacional uniforme, aceleração constante, g))

Carga  $q$  colocada num campo eléctrico  $\vec{E} \Rightarrow$

$$\vec{F} = q\vec{E} = m\vec{a}$$

2ª Lei de Newton

○  $m$  = massa da carga ;  $v \ll c$

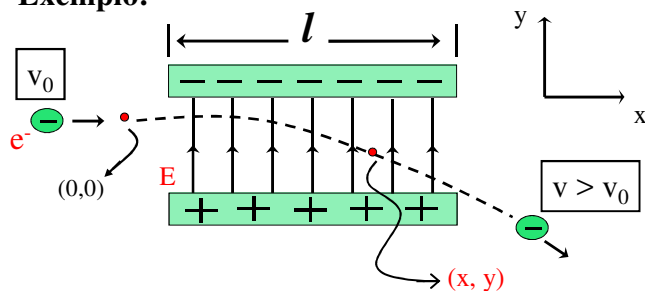
$$\vec{a} = q \frac{\vec{E}}{m}$$

Se  $\vec{E}$  for uniforme (módulo e direcção constantes)  $\Rightarrow \vec{a}$  será uma constante do movimento.

$\vec{a}$

cte.  $\Rightarrow$  eqs. da cinemática (movimento uniform.<sup>te</sup> variado)

**Exemplo:**



$$\vec{a} = \frac{-eE}{m} \hat{j}$$

$$v_{x0} = v_0 \quad \text{e} \quad v_{y0} = 0$$

$$\begin{cases} v_x = v_0 = \text{cte} \\ v_y = at = -\frac{eE}{m}t \end{cases}$$

$$\begin{aligned} (1) \quad & x = v_0 t \\ (2) \quad & y = \frac{1}{2} at^2 = -\frac{1}{2} \frac{eE}{m} t^2 \end{aligned}$$

$$v_{x0} = v_0 \quad \text{e} \quad v_{y0} = 0$$

$$v_x = v_0 = \text{cte} \quad (1)$$

$$v_y = at = -\frac{eE}{m}t \quad (2)$$

$$x = v_0 t$$

$$y = \frac{1}{2} at^2 =$$

$$-\frac{1}{2} \frac{eE}{m} t^2$$

Com  $t = x/v_0$  (1)  $\Rightarrow$  (2)  $\rightarrow$   $y \cong x^2$  parábola

Desprezamos a força gravitacional sobre o electrão.

Boa aproximação:

$$\boxed{E = 10^4 \text{ N/C} \Rightarrow \frac{eE}{mg}} \left\{ \begin{array}{l} \sim 10^{14} \text{ electrões} \\ \sim 10^{11} \text{ protões} \end{array} \right.$$