



Electrostática e Campo eléctrico

- Campo eléctrico e sua representação
- Propriedades do campo eléctrico
- Campo eléctrico de cargas pontuais
- Linhas de campo eléctrico
- Campo eléctrico uniforme
- Movimento de partículas electricamente carregadas num campo eléctrico uniforme
- Campo eléctrico de uma distribuição contínua de cargas eléctricas.



As forças eletrostáticas, tal como as gravíticas, são forças que atuam à distância (sem que os corpos entrem em contacto). O conceito de ação à distância é fisicamente desconfortável. Porquê?

Como caracterizar a interacção à distância?



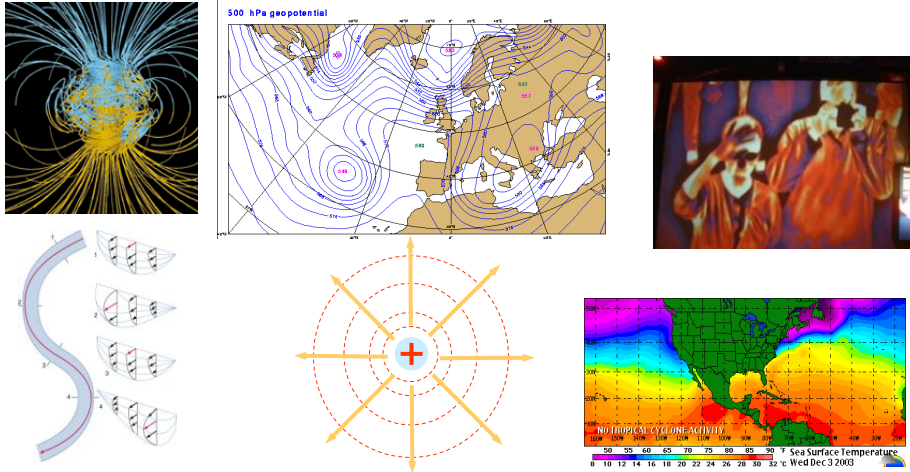
Conceito de Campo

De um modo geral pode dizer-se que “campo” é uma propriedade física que se estende por uma região do espaço.

A cada ponto desse espaço corresponde uma grandeza associada à propriedade em causa, que é função da posição e por vezes do tempo.



Se a propriedade física diz respeito a uma grandeza vectorial, **o campo é um campo vectorial** (forças, velocidades, etc). Se a propriedade diz respeito a uma grandeza escalar, o campo é um campo escalar (temperatura, etc)



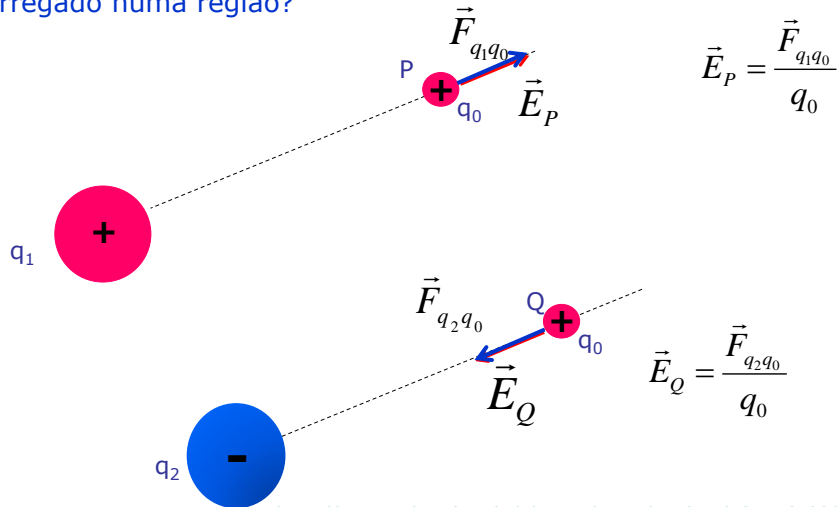
Cacilda Moura-DFUM

Capítulo 1(2_4)

3



Que acontece ao espaço em volta quando há um objecto carregado numa região?



<http://www.colorado.edu/physics/2000/applets/nforcefield.html>

Cacilda Moura-DFUM

Capítulo 1(2_4)

4



- O campo eléctrico é uma “estrutura” no espaço que actua em cargas eléctricas.
- O campo eléctrico existe sempre que há carga eléctrica;
- A intensidade do campo eléctrico é proporcional à intensidade da força que actua numa carga de teste positiva;
- A direcção e o sentido do campo são os da força eléctrica que actua numa **carga de prova positiva**.

$$\vec{E}_Q = \frac{\vec{F}}{q_0} \quad \text{Unidade SI: N/C}$$



Podemos olhar para as forças entre cargas de duas formas:

carga/carga:

A carga 1 exerce uma força na carga 2

carga/campo/carga:

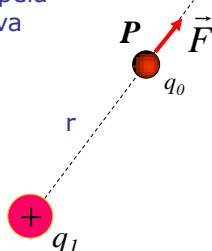
A carga 1 cria um campo eléctrico

O campo eléctrico exerce uma força na carga 2.



Força eléctrica exercida pela carga 1 na carga de prova

$$\vec{F} = k \frac{q_1 q_0}{r^2} \hat{r}$$



Campo Eléctrico no ponto P

$$\vec{E}_P = \frac{\vec{F}}{q_0}$$

$$\vec{E}_P = k \frac{q_1}{r^2} \hat{r}_P$$

princípio da sobreposição

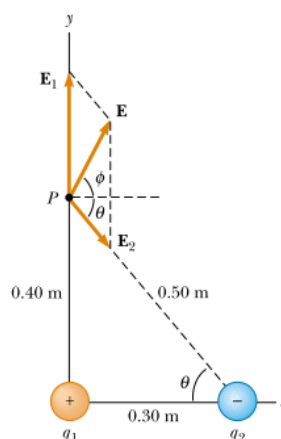
Se numa dada região do espaço existem várias cargas $q_1, q_2, q_3, \dots, q_n$, o campo eléctrico num ponto P é igual à soma vectorial dos campos criados nesse ponto por cada uma das cargas.

$$\vec{E}_P = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3 + \dots = k \sum_{i=1}^n \frac{q_i}{r_{i0}^2} \hat{r}_{iP}$$



Exemplo 1

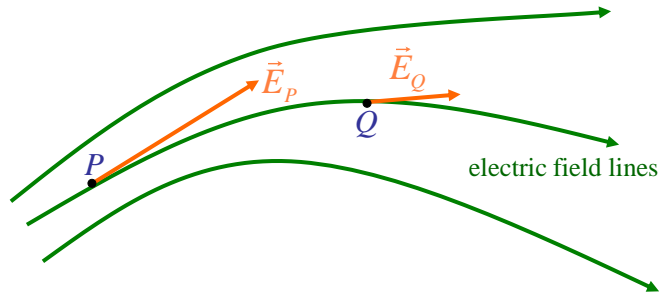
Uma carga $q_1 = 7.0 \mu\text{C}$ está localizada na origem do sistema de eixos. Uma segunda carga $q_2 = -5.0 \mu\text{C}$ está localizada no eixo dos xx, a uma distância de 0.3 m da origem. Qual o campo eléctrico no ponto P que tem de coordenadas (0,0.40 m)?





Faraday, que introduziu a ideia de campo eléctrico, no séc. XIX, pensava que o espaço em torno da carga geradora de campo estava “cheio de linhas de força”

As linhas de campo eléctrico são uma ajuda para visualizar os padrões de campo eléctrico.

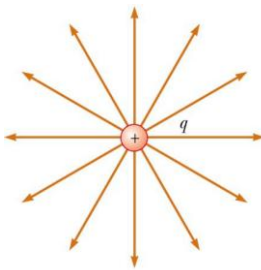


As **linhas de campo** são linhas tangentes ao vector campo em cada ponto

<http://surendranath.tripod.com/Applets/Electricity/FieldLines/FieldLinesApplet.html>

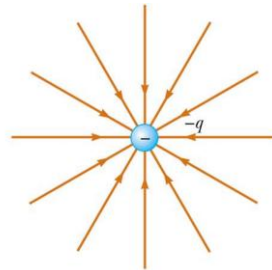
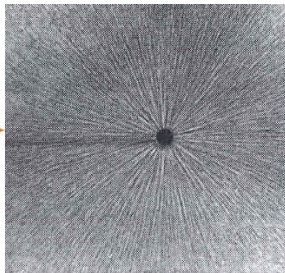


Carga pontual positiva isolada



As linhas irradiam em todas as direcções centrifugamente (“para fora”)

Carga pontual negativa isolada



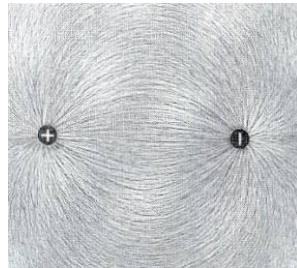
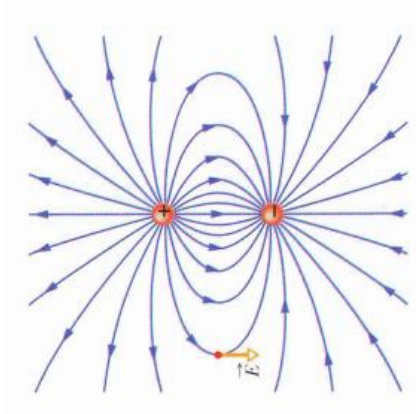
As linhas irradiam em todas as direcções centripetamente (“para dentro”)

E se as cargas não estiverem isoladas?

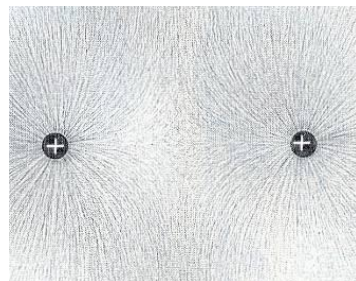
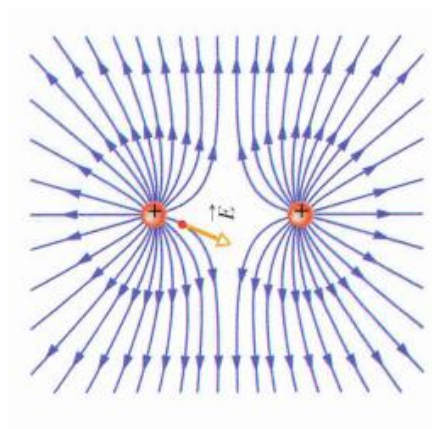




Campo criado por duas cargas de sinais contrários

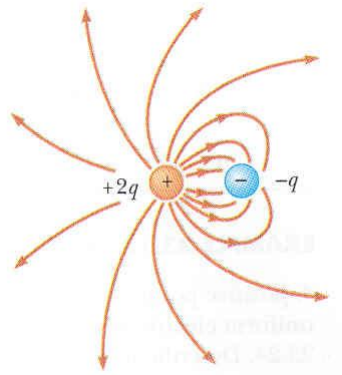


campo criado por duas cargas do mesmo sinal





campo criado por duas cargas de sinal contrário e valor diferente



Propriedades das linhas de campo eléctrico:

As linhas de campo eléctrico iniciam-se em cargas positivas (ou no infinito) e acabam nas cargas negativas (ou no infinito).

O número de linhas de campo que partem de uma carga positiva ou chegam a uma carga negativa é proporcional ao valor da carga.

A densidade de linhas de campo (nº de linhas por unidade de superfície perpendicular às linhas de campo) em qualquer ponto é proporcional à intensidade do campo eléctrico nesse ponto.

As linhas de campo nunca se cruzam.

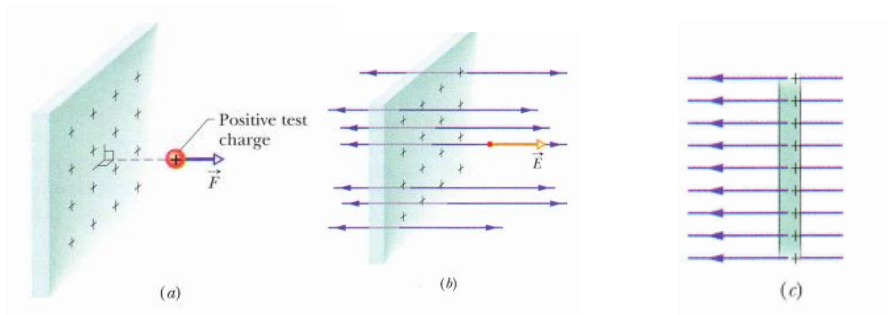


TABLE 23.2 Typical Electric Field Values

Source	E (N/C)
Fluorescent lighting tube	10
Atmosphere (fair weather)	100
Balloon rubbed on hair	1 000
Atmosphere (under thundercloud)	10 000
Photocopier	100 000
Spark in air	$> 3\,000\,000$
Near electron in hydrogen atom	5×10^{11}

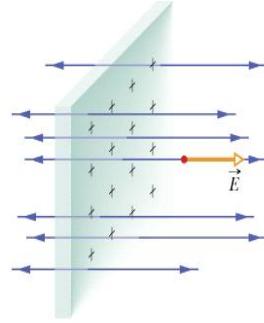
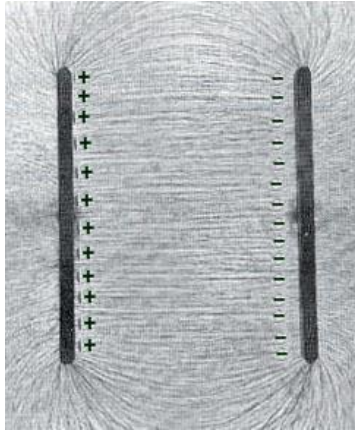


Campo eléctrico devido a uma placa, infinita, não condutora

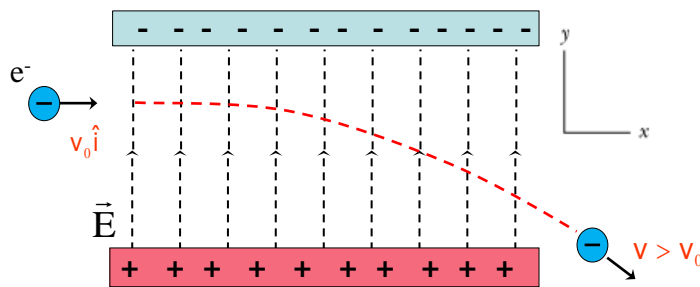


$$\vec{E} = \text{cte}$$

Campo eléctrico uniforme
(mesma magnitude, direcção e sentido, em qualquer ponto)



Movimento de carga num campo eléctrico uniforme



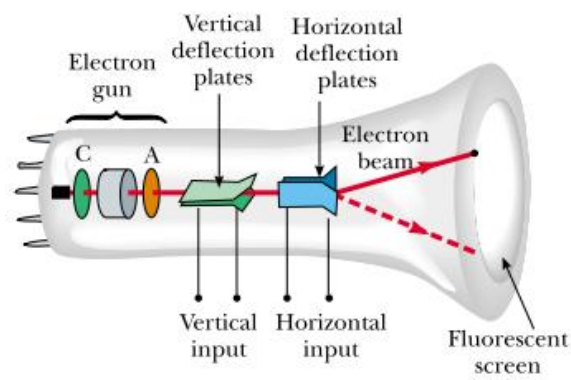
$$\vec{F}_e = q\vec{E} = m\vec{a}$$

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

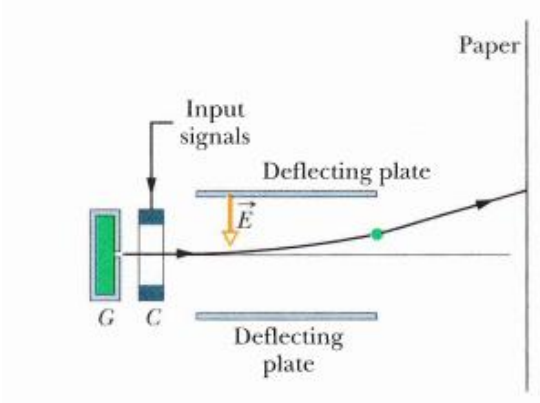
$$\vec{a} = -\frac{eE}{m} \hat{j} \quad \begin{cases} \vec{v}_x = v_0 \hat{i} = \text{cte} \\ \vec{v}_y = \vec{a}_y t = -\frac{eE}{m} \hat{j} \end{cases}$$



Tubo de raios catódicos

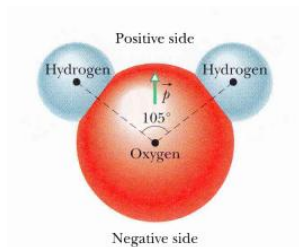


Impressoras de jacto de tinta





Campo eléctrico devido a um dipolo



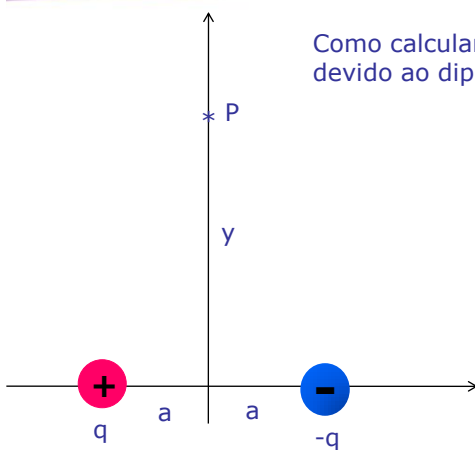
Dipolos eléctricos ocorrem frequentemente em algumas moléculas (moléculas polares, como a água).

A intensidade e orientação do dipolo eléctrico são dados pelo **momento dipolar eléctrico**:

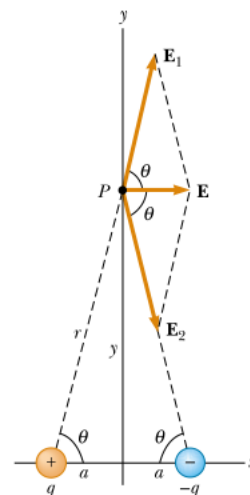
$$|\vec{p}| = qd$$

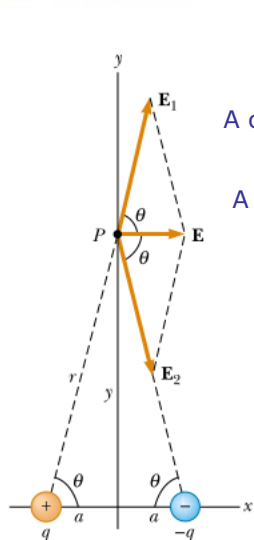


Como calcular o campo eléctrico no ponto P, devido ao dipolo?



$$\vec{E}_P = \vec{E}_{1(+)} + \vec{E}_{2(-)}$$





$$E_1 = E_2 = k \frac{q}{r^2} = k \frac{q}{y^2 + a^2}$$

A componente y: $E_{\text{resultante}}$ é nula.

A componente x: $E_{\text{resultante}}$ é:

$$E = 2E_1 \cos \theta \quad \text{e} \quad \cos \theta = \frac{a}{r} = \frac{a}{\sqrt{y^2 + a^2}}$$

$$E = k \frac{2qa}{(y^2 + a^2)^{3/2}}$$

como $y \gg a$

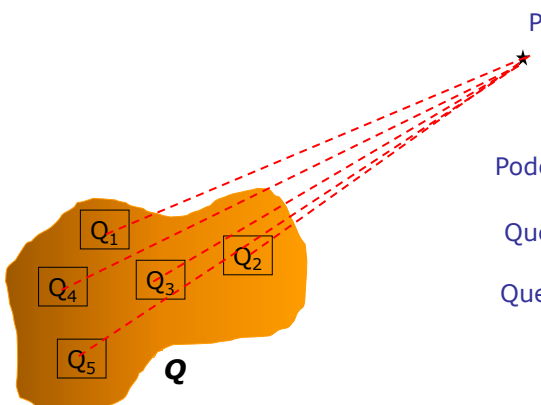
$$E \approx k \frac{2qa}{y^3}$$



Campo eléctrico de uma distribuição contínua de cargas eléctricas.

Questão:

Se o corpo representado na figura estiver carregado, como se calcula o campo no ponto P?



Poderemos usar a lei de Coulomb?

Que carga?

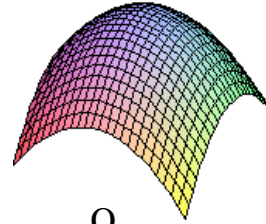
Que distância usar?



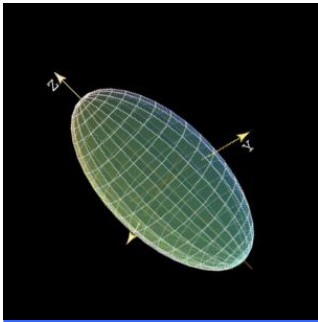
Distribuição contínua de cargas eléctricas.



$$\lambda = \frac{Q}{L} \text{ (C/m)}$$



$$\sigma = \frac{Q}{A} \text{ (C/m}^2\text{)}$$



$$\rho = \frac{Q}{V} \text{ (C/m}^3\text{)}$$

Some Measures of Electric Charge

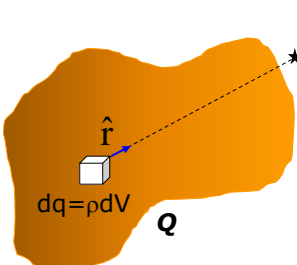
Name	Symbol	SI Unit
Charge	q	C
Linear charge density	λ	C/m
Surface charge density	σ	C/m ²
Volume charge density	ρ	C/m ³

Cacilda Moura-DFUM

Capítulo 1(2_4)



Como se calcula o campo no ponto P?



Dividir a distribuição de carga em elementos dq .

Utilizar a Lei de Coulomb para calcular o campo eléctrico em P devido a um desses elementos.

$$d\vec{E} = k \frac{dq}{r^2} \hat{r}$$

Utilizar o princípio da sobreposição: $\vec{E} \cong k \sum_i \frac{dq_i}{r_i^2} \hat{r}_i$

$$\vec{E} = k \int_V \frac{dq}{r^2} \hat{r}$$

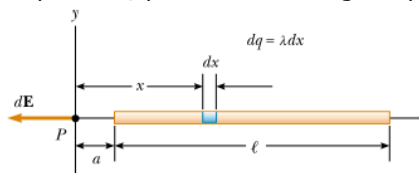
Cacilda Moura-DFUM

Capítulo 1(2_4)

26

Exemplo 2:

Calcular o campo criado no ponto P , pela haste carregada positivamente.

$$d\vec{E} = -k \frac{dq}{r^2} \hat{i}$$


$$dE = k \frac{dq}{r^2} \Leftrightarrow dE = k \frac{\lambda dx}{x^2} \quad \rightarrow \quad E = \int_a^{a+l} k\lambda \frac{dx}{x^2}$$

$$E = k \frac{Q}{a(a+l)}$$

Quando $a \gg l$

$$E \cong k \frac{Q}{a^2}$$

Exemplo 3:

Calcular o campo criado no ponto P , pelo anel.



$$dE_x = dE \cos \theta = \left(k \frac{dq}{r^2} \right) \frac{x}{r} \Leftrightarrow dE = \frac{k x}{(x^2 + a^2)^{3/2}} dq$$

$$E = \frac{k x}{(x^2 + a^2)^{3/2}} Q$$



- A intensidade do campo eléctrico é proporcional à intensidade da força que actua numa carga de teste;
- A direcção e o sentido do campo são os da força eléctrica que actua numa carga de prova positiva.
- As linhas de campo são linhas tangentes ao vector campo em cada ponto e iniciam-se em cargas positivas (ou no infinito) e acabam nas cargas negativas (ou no infinito).
- A densidade de linhas de campo (nº de linhas por unidade de superfície perpendicular às linhas de campo) em qualquer ponto é proporcional à intensidade do campo eléctrico nesse ponto.
- O campo eléctrico devido a uma distribuição continua de carga é determinado tratando os elementos de carga como cargas pontuais e depois fazendo a soma, pelo princípio da sobreposição, utilizando a integração.

$$\vec{E}_Q = \frac{\vec{F}}{q_0}$$