



Professor: Prof. Carlos Eduardo Souza - Cadu

Sala: A2-15 (IF, andar 1P)
Email: carlooseduardosouza@id.uff.br

2019-1



O campo elétrico

Objetivos:

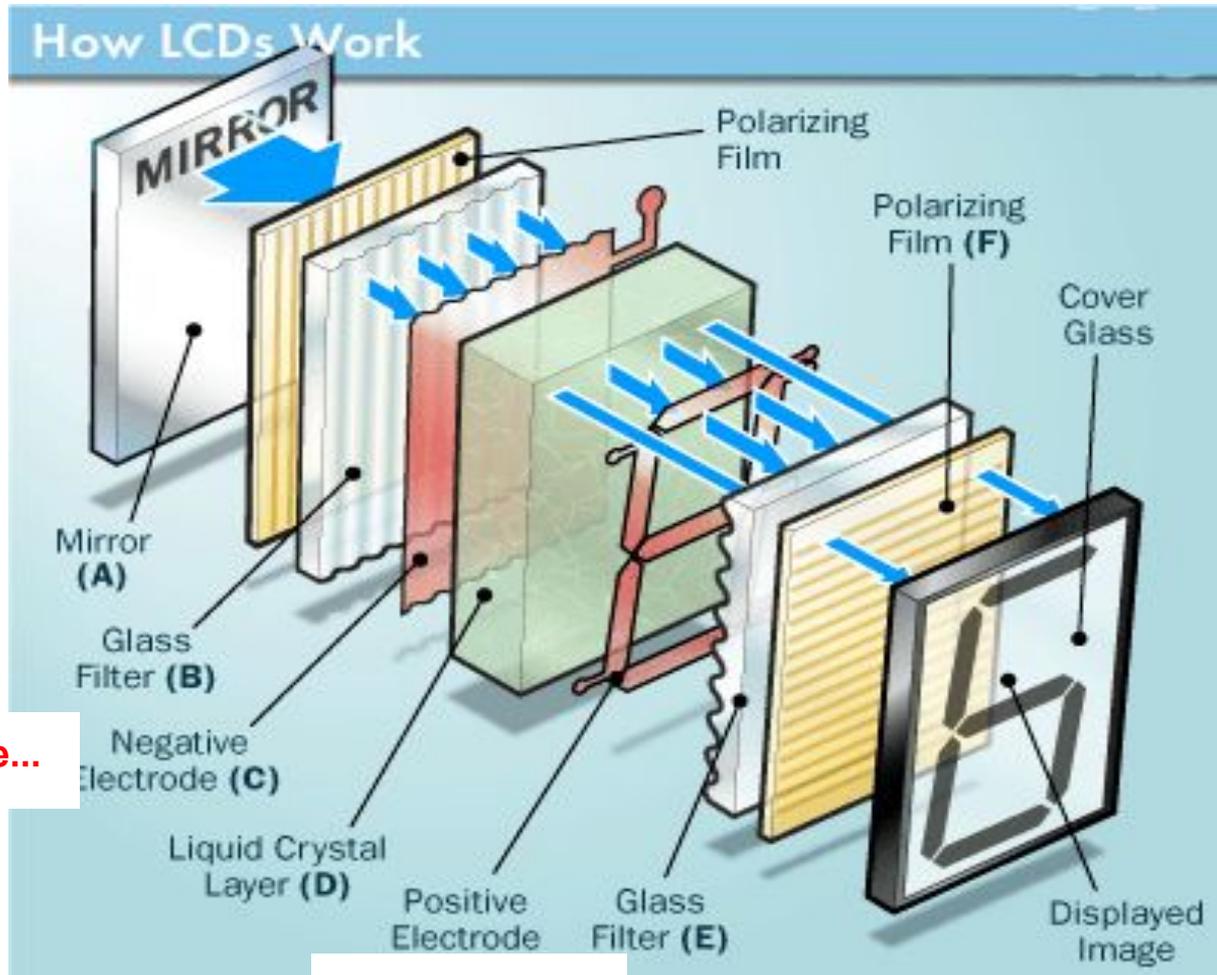
- 1- Calcular o campo elétrico devido a múltiplas cargas**
- 2- Calcular o campo elétrico devido a uma distribuição contínua de cargas**
- 3- Usar o campo elétrico de dipolos, linhas e planos de cargas.**
- 4- Gerar um campo elétrico uniforme por meio de um capacitor.**
- 5- Calcular o movimento de cargas e dipolos em um campo elétrico.**



O campo elétrico

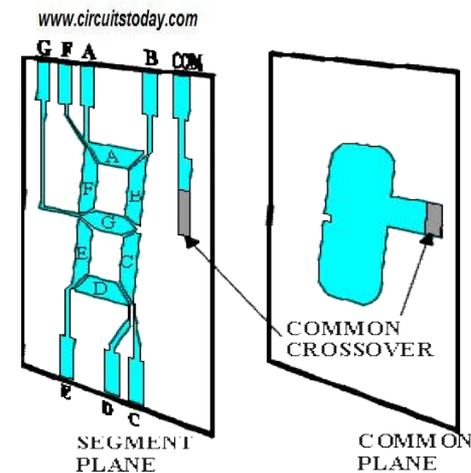
Uma aplicação cotidiana do controle do campo elétrico

LCD: Liquid Crystal Display



transparente...

transparente...



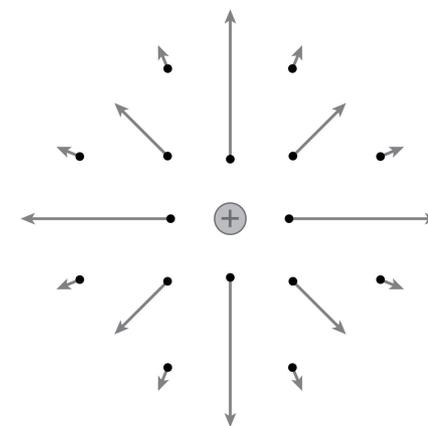
O campo elétrico

Cálculo do campo elétrico

 Dois preceitos básicos:

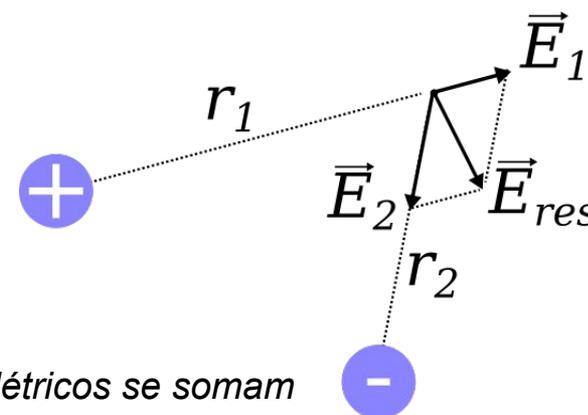
1º Campo gerado por uma carga pontual

$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2} \hat{r}$$



2º Princípio da superposição

$$\vec{E}_{res} = \frac{\vec{F}_1}{q} + \frac{\vec{F}_2}{q} + \dots = \sum_i \vec{E}_i$$



os campos elétricos se somam



O campo elétrico

Objetivos:

- 1- Calcular o campo elétrico devido a múltiplas cargas**
- 2- Calcular o campo elétrico devido a uma distribuição contínua de cargas
- 3- Usar o campo elétrico de dipolos, linhas e planos de cargas.
- 4- Gerar um campo elétrico uniforme por meio de um capacitor.
- 5- Calcular o movimento de cargas e dipolos em um campo elétrico.

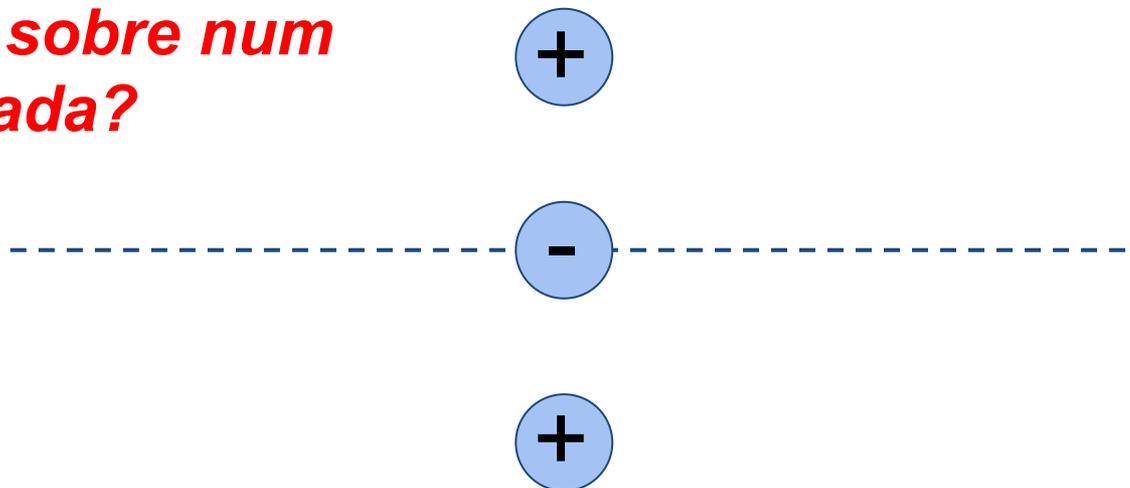
O campo elétrico

Objetivos:

- 1- Calcular o campo elétrico devido a múltiplas cargas
- 2- Calcular o campo elétrico devido a uma distribuição contínua de cargas
- 3- Usar o campo elétrico de dipolos, linhas e planos de cargas.
- 4- Gerar um campo elétrico uniforme por meio de um capacitor.
- 5- Calcular o movimento de cargas e dipolos em um campo elétrico.

Problema típico:

Qto vale o campo elétrico sobre num ponto sobre a linha tracejada?



O campo elétrico

Calculando o campo elétrico num sistema de múltiplas cargas

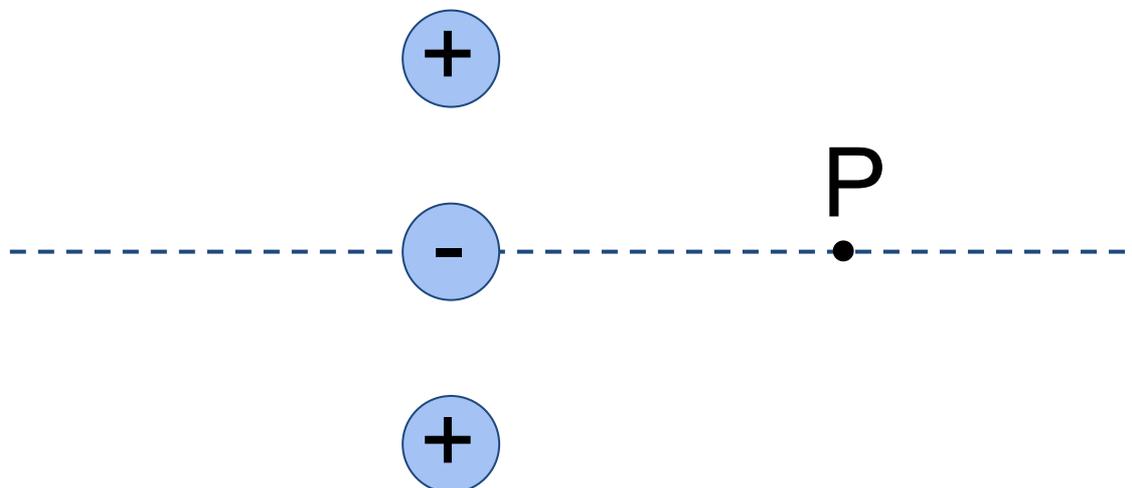


Estratégia:

1. Definir o ponto P no qual o campo será calculado (**às vezes é dado no problema**);
2. Definir o sistema de referência e as posições das cargas;
3. Desenhar E_1, E_2, \dots, E_n ;
4. Verificar por simetria se há componentes de E nulos.

O campo elétrico

Calculando o campo elétrico num dado ponto sobre a linha tracejada:



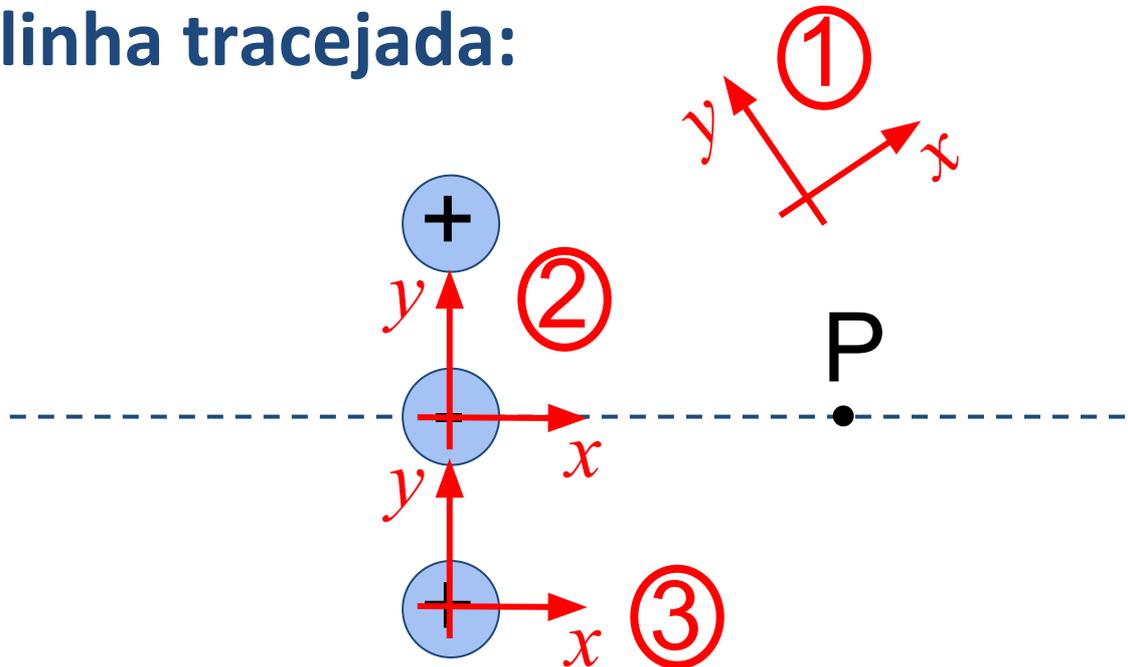
Estratégia:

1. Definir o ponto P no qual o campo será calculado (**às vezes é dado no problema**);
2. Definir o sistema de referência e as posições das cargas;
3. Desenhar E_1, E_2, \dots, E_n ;
4. Verificar por simetria se há componentes de E nulos.



O campo elétrico

Calculando o campo elétrico num dado ponto sobre a linha tracejada:



Qual dos três sistemas é melhor?

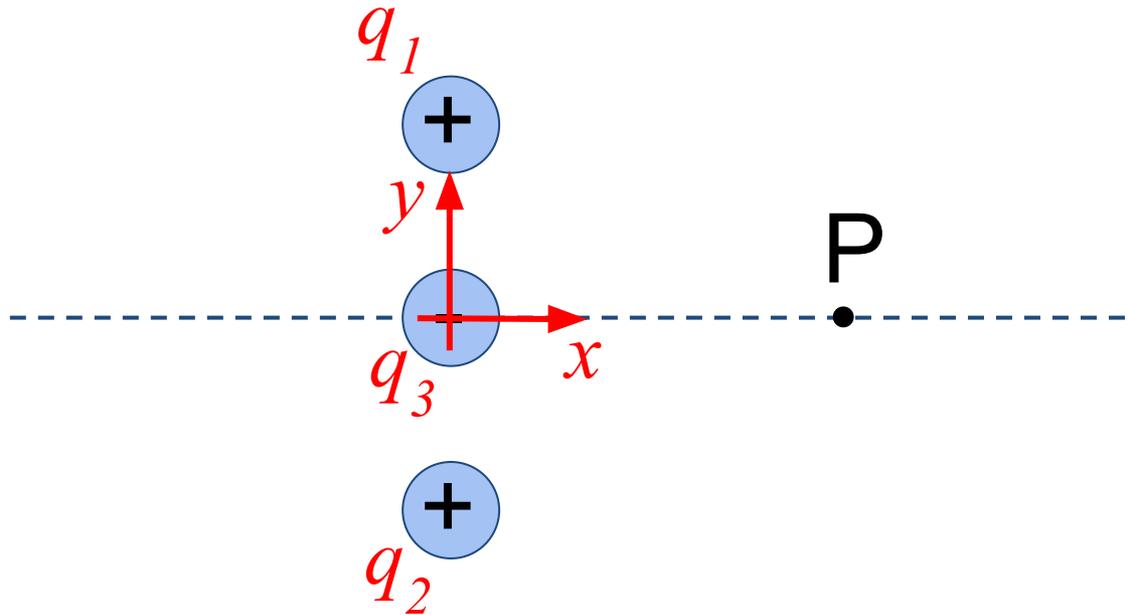
Estratégia:

1. Definir o ponto P no qual o campo será calculado (às vezes é dado no problema);
2. Definir o sistema de referência e as posições das cargas;
3. Desenhar E_1, E_2, \dots, E_n ;
4. Verificar por simetria se há componentes de E nulos.



O campo elétrico

Calculando o campo elétrico num dado ponto sobre a linha tracejada. Considere $|q_+|=|q_-|$



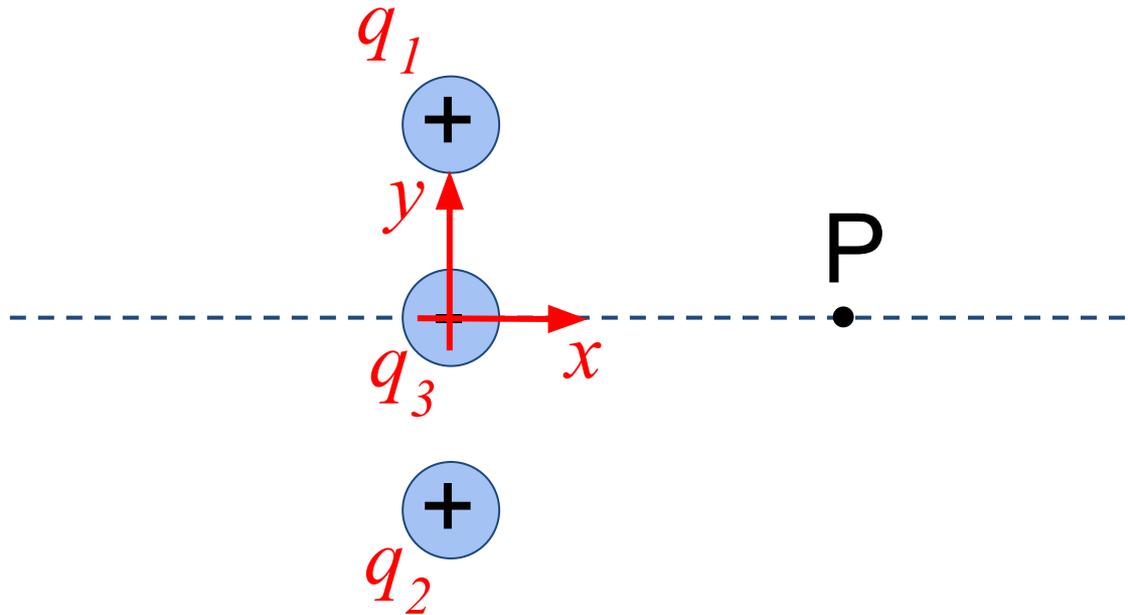
Estratégia:

1. Definir o ponto P no qual o campo será calculado (às vezes é dado no problema);
2. Definir o sistema de referência e as posições das cargas;
3. Desenhar E_1, E_2, \dots, E_n ;
4. Verificar por simetria se há componentes de E nulos. }



O campo elétrico

Calculando o campo elétrico num dado ponto sobre a linha tracejada. Considere $|q_+|=|q_-|$



Estratégia:

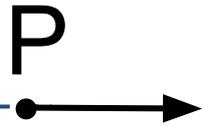
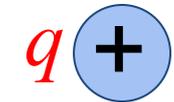
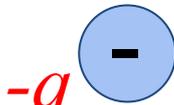
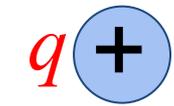
1. Definir o ponto P no qual o campo será calculado (às vezes é dado no problema);
2. Definir o sistema de referência e as posições das cargas;
3. Desenhar E_1, E_2, \dots, E_n ;
4. Verificar por simetria se há componentes de E nulos. }

continuando a discussão no quadro...



O campo elétrico

Calculando o campo elétrico num dado ponto sobre a linha tracejada. Considere $|q_+|=|q_-|$



$$\vec{E}_P = Kq \left(\frac{2x}{(x^2 + y^2)^{3/2}} - \frac{1}{x^2} \right) \hat{x}$$



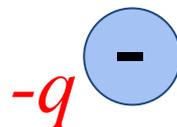
Casos limites:

$$\vec{E}_P(x \rightarrow 0) = ???$$

$$\vec{E}_P(x \gg y) = ???$$

O campo elétrico

Calculando o campo elétrico num dado ponto sobre a linha tracejada. Considere $|q_+|=|q_-|$



$$\vec{E}_P = Kq \left(\frac{2x}{(x^2+y^2)^{3/2}} - \frac{1}{x^2} \right) \hat{x}$$



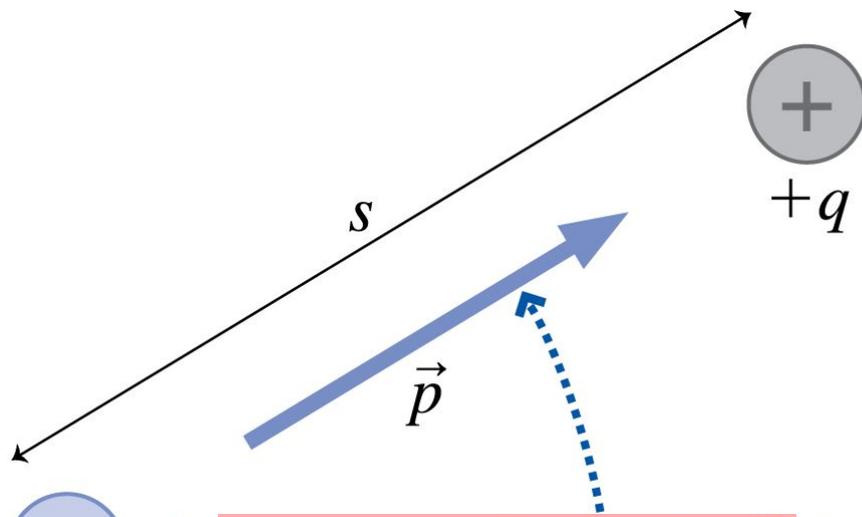
Casos limites:

$$\vec{E}_P(x \rightarrow 0) = -Kq \frac{\hat{x}}{x^2} \quad (\text{Toda a distribuição vem de } -q)$$

$$\vec{E}_P(x \gg y) = +Kq \frac{\hat{x}}{x^2} \quad (\text{Parece que todo o campo é proveniente de uma carga pontual líquida } q_{\text{líqu}} = 2q - q = q)$$



Dipolo elétrico

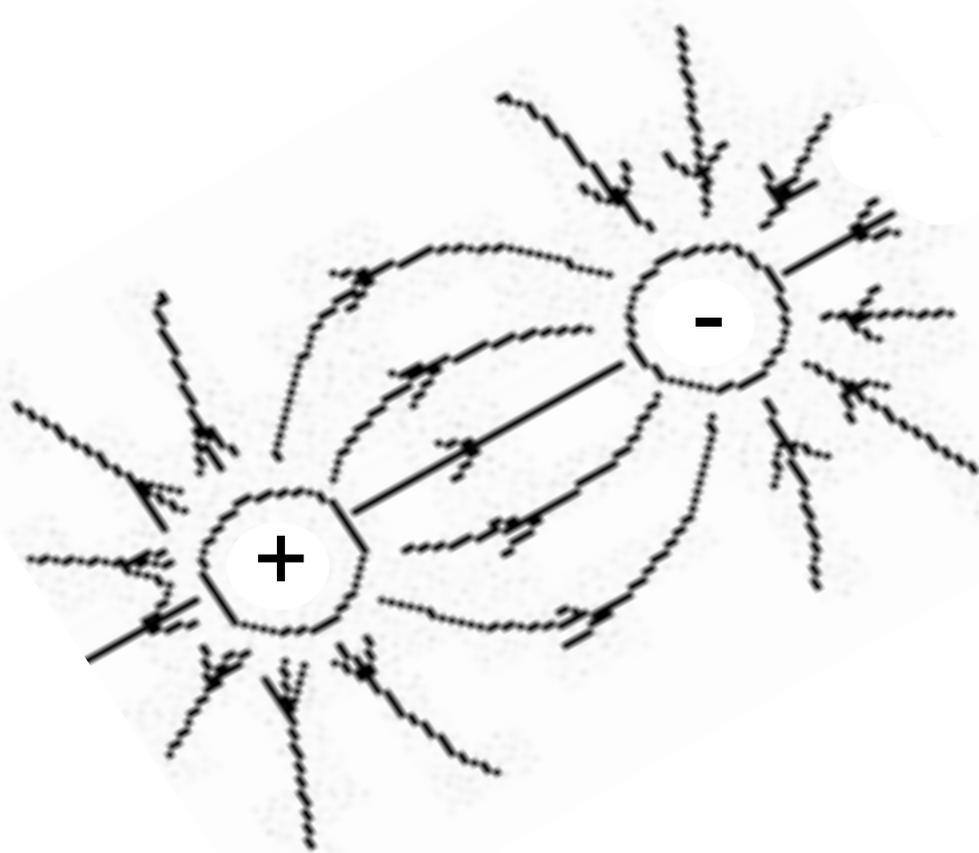


$-q$ O momento de dipolo \vec{p} é um vetor que aponta da carga negativa para a positiva, com módulo igual a qs .

· · · *Análise no quadro*



Dipolo elétrico



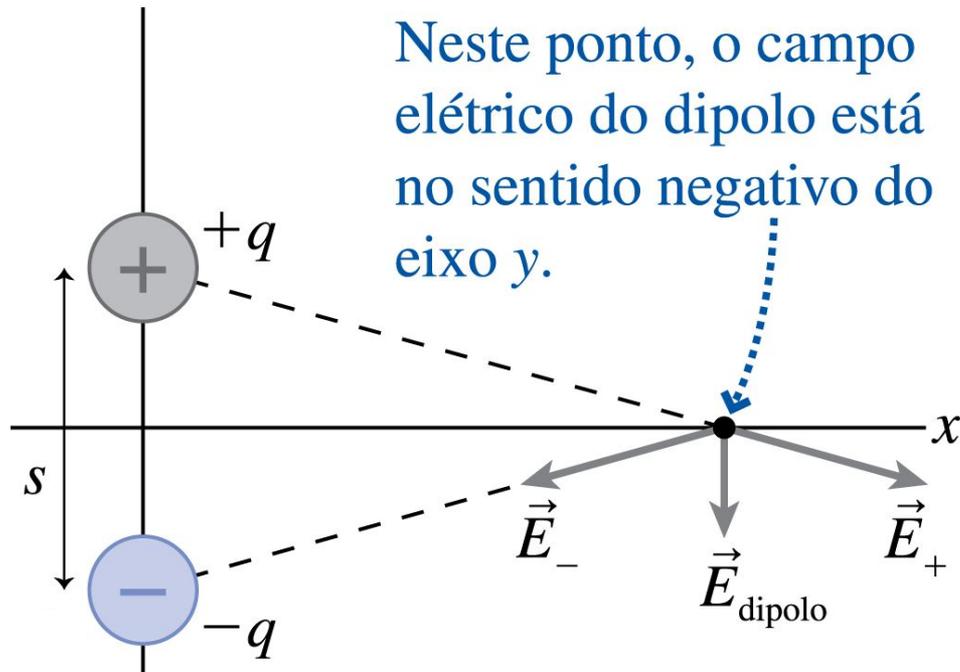
Linhas de força

- tangentes ao campo elétrico em cada ponto;
- o número de linhas que atravessam uma dada área é proporcional a intensidade do campo;
- nunca se cruzam;
- saem de cargas + e chegam em cargas -



Campo elétrico gerado por múltiplas cargas

Caso: Dipolo elétrico



$$\vec{E}_{dipolo} = -\frac{\vec{p}}{4\pi\epsilon_0 r^3}$$

(no eixo transversal)

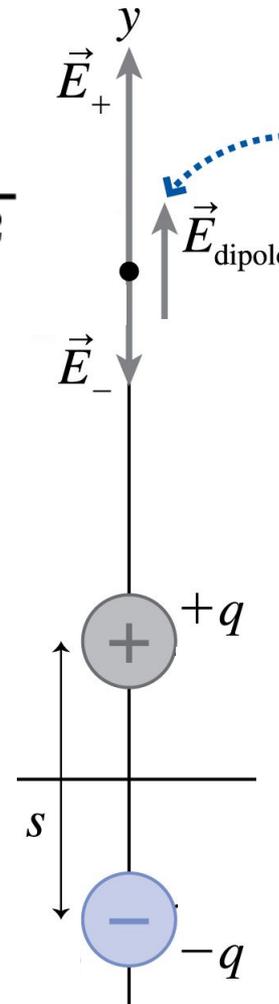


Campo elétrico gerado por múltiplas cargas

Caso: Dipolo elétrico

$$E_{dipolo} = \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \frac{2ys}{(y-s/2)^2 (y+s/2)^2}$$

(no eixo de simetria)

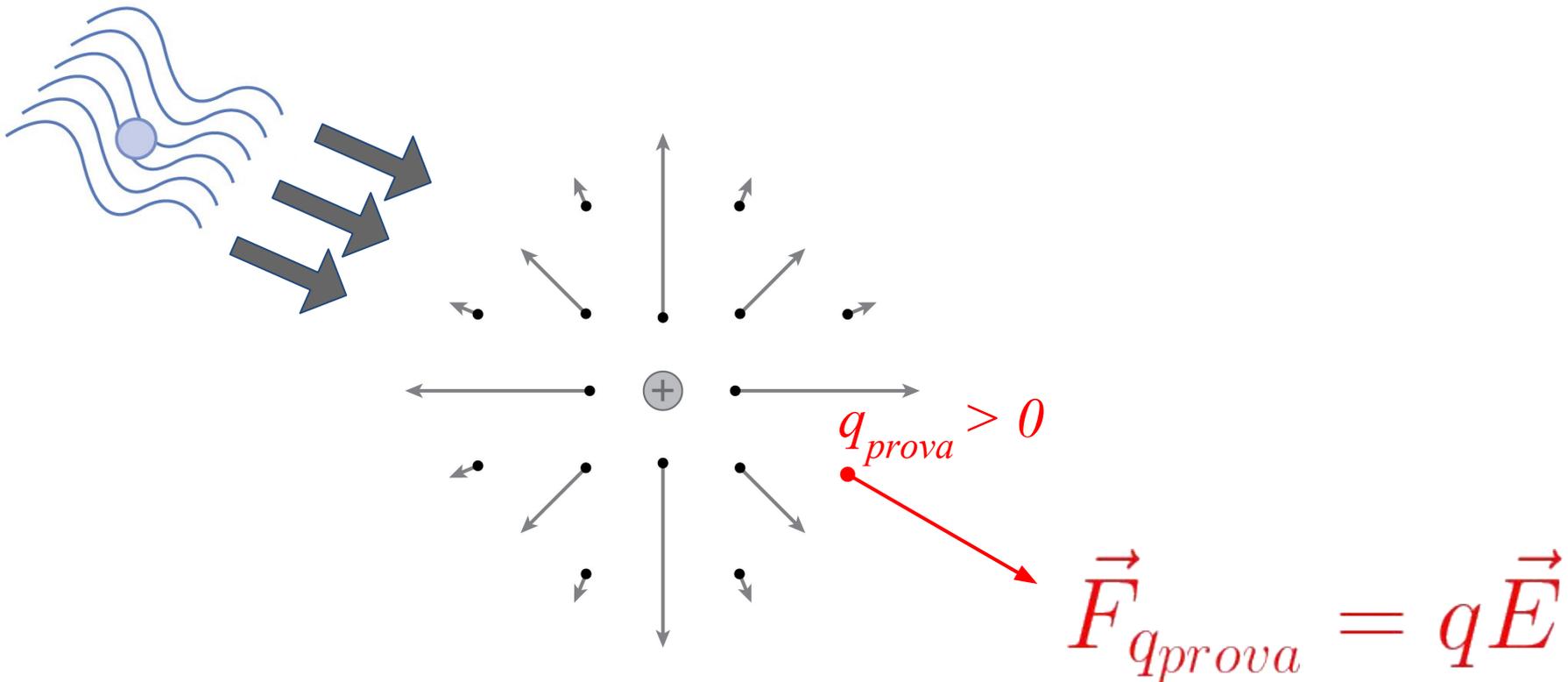


Neste ponto, o campo elétrico do dipolo está no sentido positivo do eixo y.



Movimento de partículas carregadas em presença de campo elétrico

O campo elétrico é uma grandeza que descreve a interação elétrica de *ação a distância*



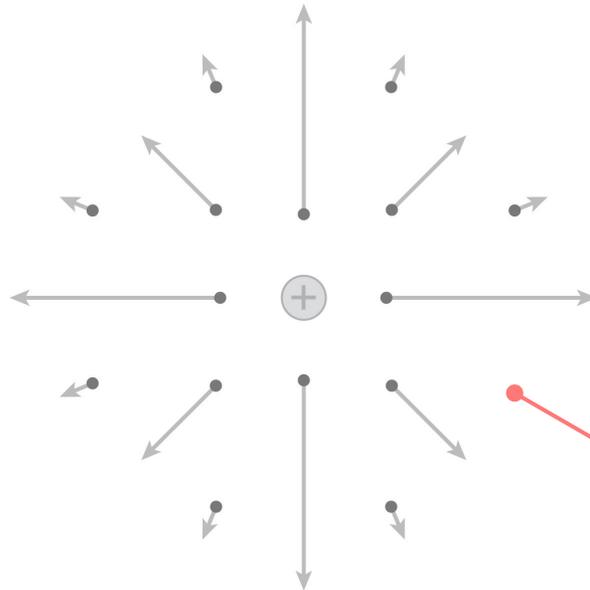


Movimento de partículas carregadas em presença de campo elétrico

Se a única força presente for a força elétrica,

$$\vec{F}_{q_{prova}} = m\vec{a} \Rightarrow \vec{a} = \frac{q}{m}\vec{E}$$

razão carga-massa



$$\vec{F}_{q_{prova}} = q\vec{E}$$



Movimento de partículas carregadas em presença de campo elétrico

Problema:

uma partícula (massa = 4,0 g, carga = 80 mC) se move em uma região do espaço onde o campo elétrico é uniforme e é dado por $E_x = -2,5 \text{ N/C}$, $E_y = E_z = 0$. Se a velocidade da partícula em $t = 0$ é dada por $v_x = 80 \text{ m/s}$, $v_y = v_z = 0$, qual é a velocidade da partícula em $t = 2,0 \text{ s}$?

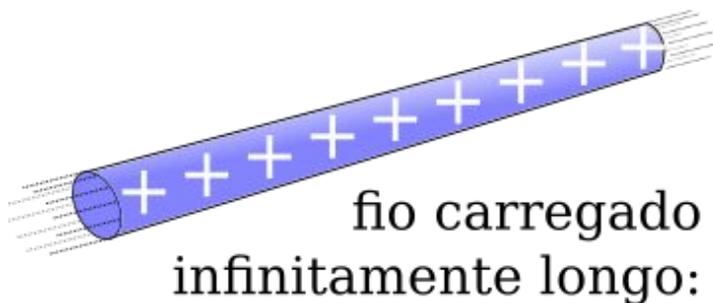


O Campo elétrico

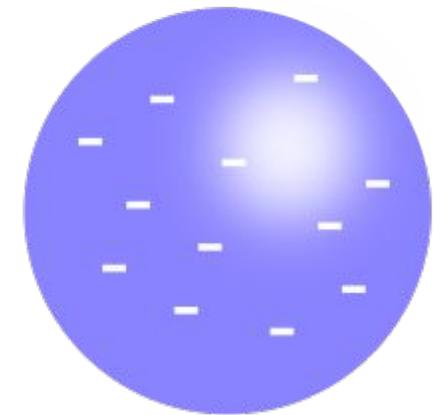
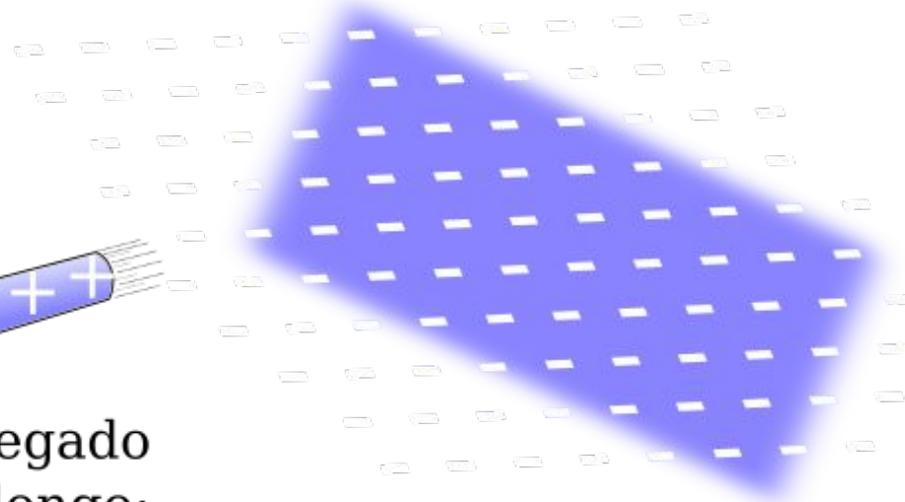
A maior parte dos campos elétricos utilizados na ciência e na engenharia são produzidos por distribuições de carga complicadas, mas que geralmente podem ser tratados com modelos simplificados.

Alguns desses modelos

carga puntiforme: \oplus



plano carregado
infinitamente longo:

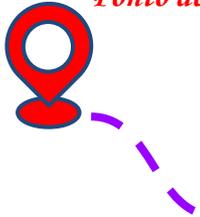


esfera carregada
infinitamente longa:

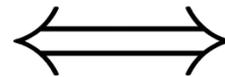
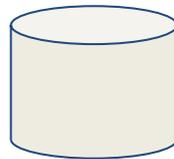


Calculando o campo elétrico em uma distribuição contínua de cargas...

Ponto de partida

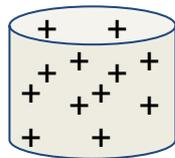


Matéria = meio contínuo que possui uma densidade



$$\rho = \frac{m}{V}$$

Analogamente, no caso elétrico



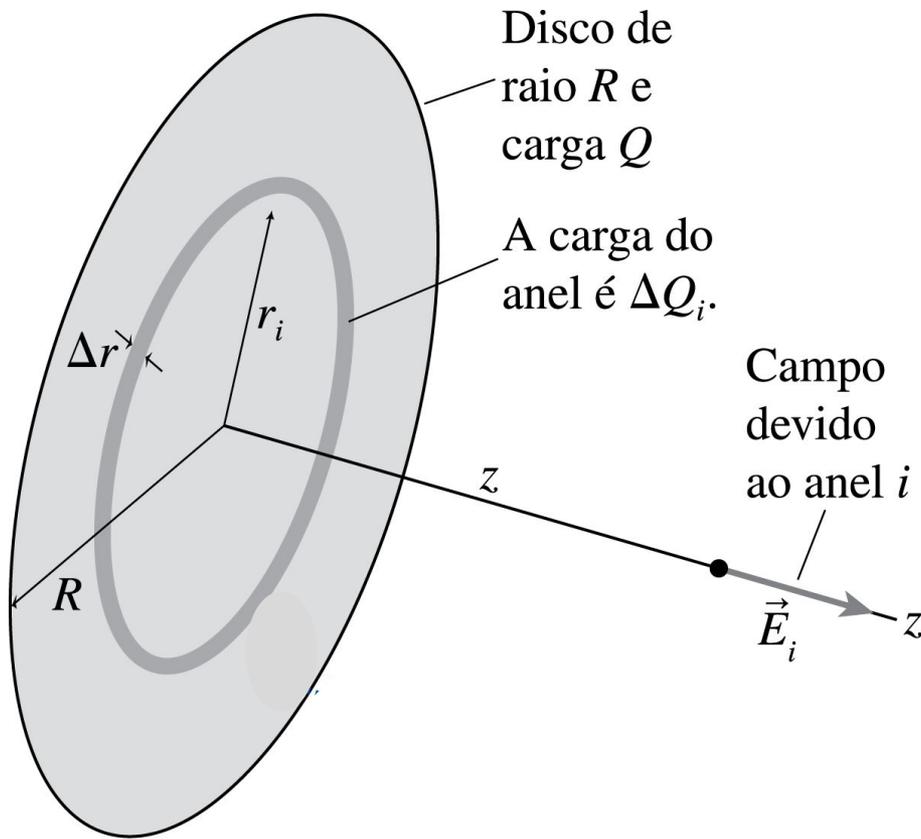
$$\rho_{eletric} = \frac{Q}{V}$$





O Campo elétrico

Disco de cargas com densidade superficial $\lambda=Q/A$ constante

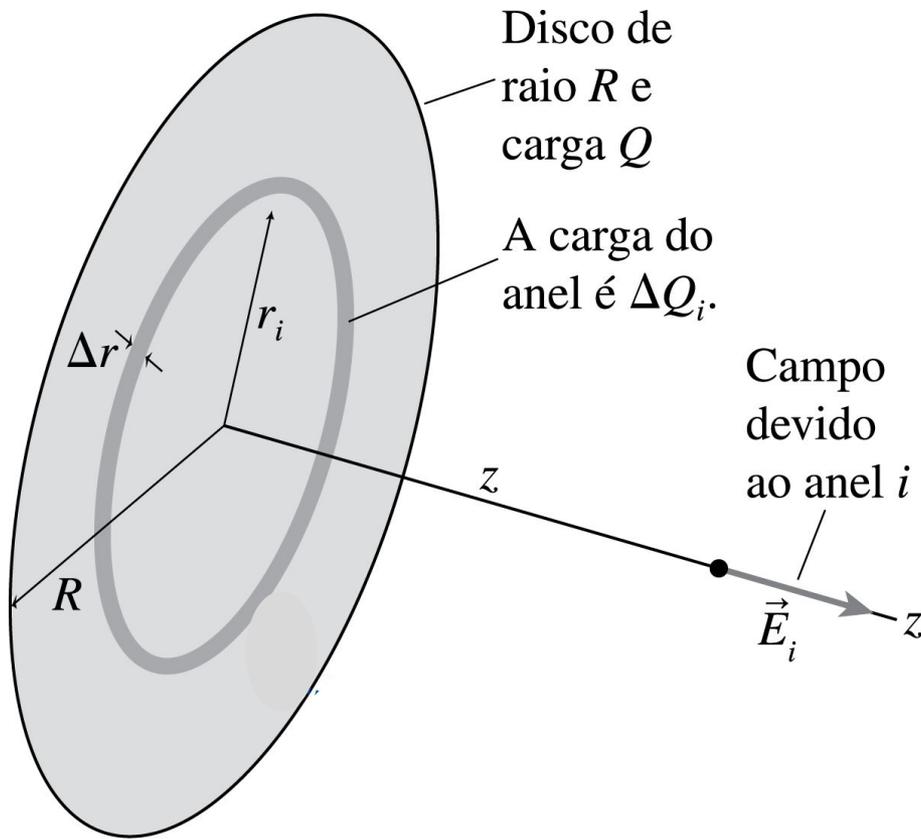


$$E_{disco} = \frac{\eta}{2\epsilon_0} \left[1 - \frac{z}{\sqrt{z^2 + R^2}} \right]$$



O Campo elétrico

Disco de cargas com densidade superficial $\lambda=Q/A$ constante



$$E_{disco} = \frac{\eta}{2\epsilon_0} \left[1 - \frac{z}{\sqrt{z^2 + R^2}} \right]$$

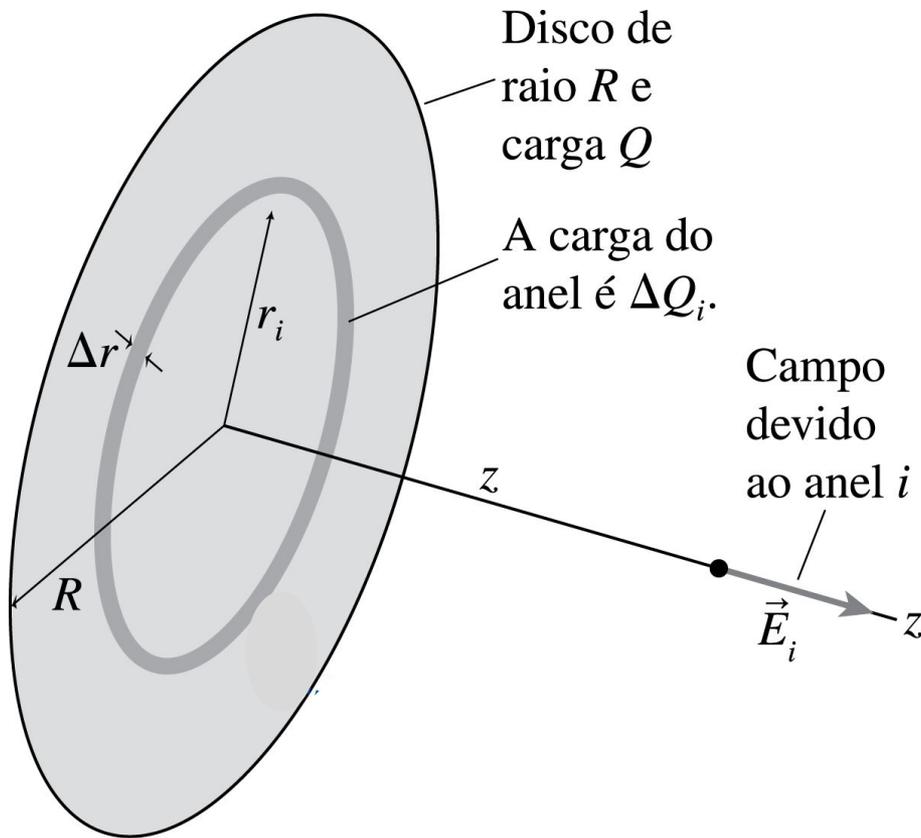
$$E_{disco} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{r^2} \quad \text{se } z \gg R$$

(carga pontual)



O Campo elétrico

Disco de cargas com densidade superficial $\lambda=Q/A$ constante



$$E_{disco} = \frac{\eta}{2\epsilon_0} \left[1 - \frac{z}{\sqrt{z^2 + R^2}} \right]$$

$$E_{disco} = \frac{\eta}{2\epsilon_0} \text{ se } R \rightarrow \infty$$

(plano infinito)

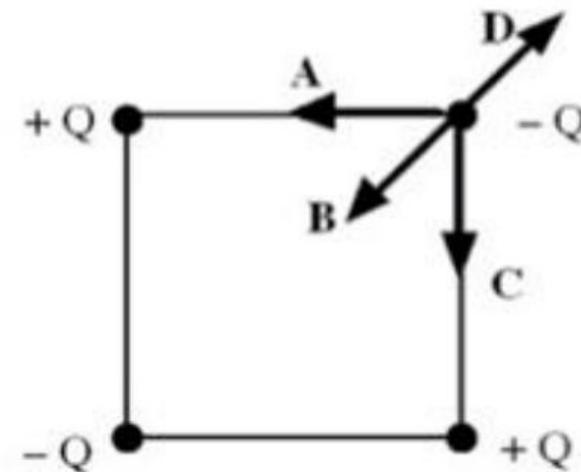


Lista: Problema complementar (Extra)

Duas partículas, uma com carga q_1 e uma com carga q_2 estão sobre o eixo x . A primeira partícula (com carga q_1) está presa na posição $x=a$ e a segunda partícula (com carga q_2) está presa em $x=-2a$. Para que a força resultante sobre uma terceira partícula carregada, localizada na posição ($x=-a$), seja nula, qual deve ser a relação entre q_1 e q_2 ?

Lista: Problema complementar (Extra)

A figura ao lado mostra quatro cargas pontuais (todas de massa m) localizadas nos vértices de um quadrado. As cargas têm a mesma magnitude e sinais como apresentados na figura.



- A) Escolha eixos x, y, z e determine o vetor campo elétrico no vértice direito superior.
- B) Qual dos vetores (A, B, C, D ou nenhum vetor pois a força é nula) dá a direção e o sentido correto da força resultante sobre a carga que está no canto direito superior?
- C) No instante $t=0$ a carga no vértice direito superior é liberada. Usando a escolha do item (a), determine o vetor aceleração desta carga neste instante $t=0$.



Lista: Problema complementar (Extra)

Uma carga de 16 nC é uniformemente distribuída ao longo do eixo x de $x = 0$ a $x = 4$ m. Qual das seguintes integrais está correta para a magnitude (em N/C) do campo elétrico em $x = +10$ m no eixo x ?

A) $\int_0^4 \frac{36 dx}{(10-x)^2}$ B) $\int_0^4 \frac{154 dx}{(10-x)^2}$ C) $\int_0^4 \frac{36 dx}{x^2}$ D) $\int_6^{10} \frac{154 dx}{x^2}$ E) Zero

Dica: use metodologia apresentada na aula de hoje para resolver este problema.



Lista: Problema complementar (Extra)

Uma carga puntiforme Q (mantida fixa) encontra-se a uma distância r do centro de um dipolo formado por cargas $\pm q$ separadas por uma distância s . A carga está localizada no plano que bissecciona o dipolo. Nesta situação,

A) qual é a força (módulo e direção) que atua no dipolo?

B) qual é a aceleração (módulo e direção) que atua no dipolo assim que ele é abandonado?

Considere $r \gg s$ e que as cargas Q e $\pm q$ têm massas M e m (ambas $\pm q$), respectivamente.