

 UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
Campus Blumenau

Física Geral III

Aula Teórica 02 (Cap. 24 parte 1/3):
1) O campo elétrico
2) Cálculo do campo elétrico produzido por:
a) uma carga puntiforme
b) uma distribuição discreta de cargas

Prof. Marcio R. Loos

Campos

“ O que é um campo?”



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA Prof. Loos Física Geral III loos.prof.ufsc.br

Campos – cont.

“ Imagine que medimos a temperatura em cada ponto da sala.
“ Cada ponto na sala terá uma temperatura associada (**desenhe a sala... e pontos**).
“ Teremos então um campo de temperaturas.



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA Prof. Loos Física Geral III loos.prof.ufsc.br

Campos – cont.

Há dois tipos de campos:

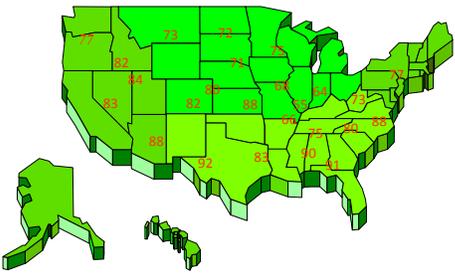
- “ **Campos escalares:**
 - Temperatura: $T(r)$
 - Pressão: $P(r)$
 - Energia potencial : $U(r)$
- “ **Campos vetoriais:**
 - Campo de velocidade $\vec{v}(\vec{r})$
 - Campo gravitacional (causado por massa) $\vec{g}(\vec{r})$
 - Campo elétrico (causado por carga) $\vec{E}(\vec{r})$
 - Campo magnético (causado por carga em movimento) $\vec{B}(\vec{r})$

Lembre:
Distribuição de **pontos** -> campo **escalar**
Distribuição de **vetores** -> campo **vetorial**

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA Prof. Loos Física Geral III loos.prof.ufsc.br 4

Campos – cont.

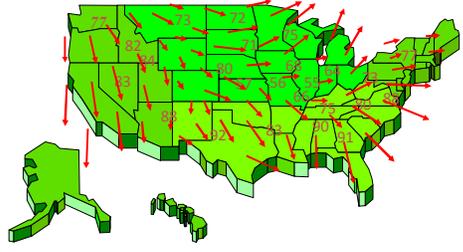
“ **Temperatura:** Campo escalar



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA Prof. Loos Física Geral III loos.prof.ufsc.br 5

Campos – cont.

“ **Vento:** Campo vetorial



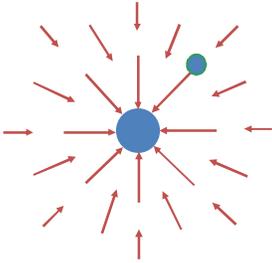
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA Prof. Loos Física Geral III loos.prof.ufsc.br 6

Campo vetorial devido a gravidade

" A força gravitacional devida à Terra aponta, em todos lugares, para o centro da Terra.

" Esta força vale

$$F = G \frac{Mm}{r^2}$$



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA Prof. Loos Física Geral III loos.prof.ufsc.br

Campo vetorial devido a gravidade – cont.

Note que a força depende da massa m .

$$F = G \frac{Mm}{r^2}$$

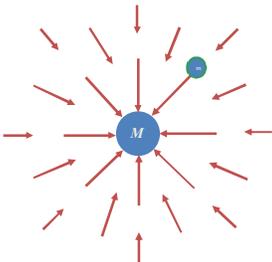
É conveniente perguntar:
Qual é a força por unidade de massa?

Imagine que uma massa teste m é colocada próxima à Terra.
Observa-se que:

$$\frac{F}{m} = \frac{GM}{r^2} = g(r)$$

$g(r)$ é o "campo gravitacional."

Podemos estender a ideia de "massa teste" para "carga teste"!



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA Prof. Loos Física Geral III loos.prof.ufsc.br

O Campo Elétrico

" O campo elétrico existe na região espacial ao redor de um **objeto carregado**.

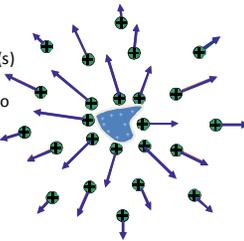
" Conceito de **carga teste**:

- Pequena e positiva
- Não afeta a distribuição de cargas do(s) objeto(s).
- Colocamos q_0 em um ponto P próximo ao objeto carregado
- Medimos a força eletrostática que atua sobre q_0
- O campo elétrico no ponto P (onde está q_0) é dado por:

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

Força por unidade de carga!

"A existência de um campo elétrico é uma propriedade de sua fonte.
"A presença de uma carga teste não é necessária para a existência do campo.



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA Prof. Loos Física Geral III loos.prof.ufsc.br

O Campo Elétrico – cont.

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

- ❑ Módulo: $E=F/q_0$
- ❑ A direção e sentido de E são idênticos aos de F.
- ❑ Unidade: N/C

Situação	Valor
Dentro de um fio de cobre em circuitos	10^{-2} N/C
Perto de um pente carregado	10^3 N/C
Dentro de um tubo de TV	10^5 N/C
Perto do cilindro de uma máquina de xerox	10^5 N/C
Na órbita de um elétron em um átomo de H	5×10^{11} N/C
Na superfície de um núcleo de urânio	3×10^{21} N/C

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA Prof. Loos Física Geral III loos.prof.ufsc.br

Linhas de campo elétrico

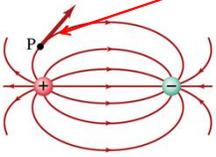
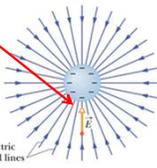
Como visualizar o campo elétrico? Você já viu um? Através das **linhas de campo elétrico** introduzidas por Michael Faraday



São linhas **sem significado físico real** que auxiliam na visualização dos campos elétricos.

A **direção do campo elétrico** em um ponto é:

- a mesma de uma linha retilínea de campo;
- tangente a uma linha curva do campo

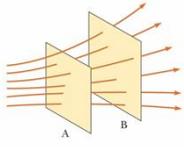
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA Prof. Loos Física Geral III loos.prof.ufsc.br

Linhas de campo elétrico – cont.

- “ O número de linhas entrando/saindo de uma carga é **proporcional** à carga.
- “ Duas linhas de campo elétrico **não podem se cruzar!**
- “ O número de linhas passando através de uma unidade de área **normal às linhas** é proporcional à intensidade do campo naquela região.

❑ Na Figura ao lado:

- A densidade de linhas através da superfície A é maior do que através da superfície B.
- A magnitude do campo elétrico é maior na superfície A do que em B.
- As linhas em diferentes localizações apontam em direções diferentes: isto indica que o campo é não-uniforme.



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA Prof. Loos Física Geral III loos.prof.ufsc.br

Linhas de campo elétrico – cont.

“ Linhas de campo devem iniciar em cargas positivas (ou infinito) e terminar em cargas negativas (ou infinito).

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA Prof. Loos Física Geral III loos.prof.ufsc.br 13

Linhas de campo elétrico – cont.

“ A Fig. (a) mostra uma chapa fina (plano) não-condutora infinitamente grande.
 “ A chapa possui uma carga positiva distribuída sobre um lado.
 “ Uma carga teste é colocada próxima à chapa.
 “ A força resultante sobre a carga aponta para fora da chapa.
 “ A força é perpendicular à chapa (simetria).
 “ O vetor campo elétrico é perpendicular à chapa na sua vizinhança (fig. b).

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA Prof. Loos Física Geral III loos.prof.ufsc.br 14

Linhas de campo elétrico – cont.

“ Como representar as linhas de campo para duas cargas iguais positivas?
 “ Como representar as linhas de campo para duas cargas iguais mas de sinais opostos (**dipolo elétrico**)?

Sua vez: como representar as linhas de campo para duas cargas iguais negativas?

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA Prof. Loos Física Geral III loos.prof.ufsc.br 14

<http://web.mit.edu/8.02t/www/802TEAL3D/visualizations/electrostatics/zoo/zoo.htm>

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA Prof. Loos Física Geral III loos.prof.ufsc.br

<http://web.mit.edu/8.02t/www/802TEAL3D/visualizations/electrostatics/videogame/videogame.htm>

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA Prof. Loos Física Geral III loos.prof.ufsc.br

Campo elétrico criado por uma carga puntiforme

- Para determinar o campo ao redor de uma carga puntiforme, desloca-se a carga-teste neste espaço.
- A magnitude do campo elétrico é constante em qualquer casca esférica (veja A e B na Fig.).

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{|q||q_0|}{r^2}$$

$$E = \frac{F}{q_0} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{|q|}{r^2}$$

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA Prof. Loos Física Geral III loos.prof.ufsc.br

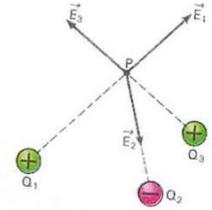
Campo elétrico devido a um grupo de cargas individuais

“ O campo elétrico criado por n cargas puntiformes pode ser obtido usando-se o **princípio da superposição**:

$$\vec{F}_0 = \vec{F}_{01} + \vec{F}_{02} + \dots + \vec{F}_{0n}$$

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}_0}{q_0} = \frac{\vec{F}_{01}}{q_0} + \frac{\vec{F}_{02}}{q_0} + \dots + \frac{\vec{F}_{0n}}{q_0}$$

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



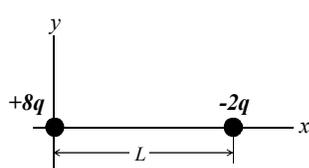
$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \sum_i \frac{q_i}{r_i^2}$$

Consideramos uma carga q_0 em P

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA Prof. Loos Física Geral III loos.prof.ufsc.br 72

Exercício 1/2

A fig. mostra uma carga $+8q$ na origem de um eixo x , e uma carga $-2q$ em $x=L$. Em que pontos o campo elétrico resultante devido a essas duas cargas é zero?

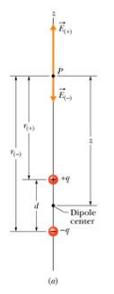


Resposta:
 $x=2L$

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA Prof. Loos Física Geral III loos.prof.ufsc.br 73

Campo elétrico criado por um dipolo elétrico

“ A fig. mostra um dipolo elétrico.
“ Qual o campo E criado pelo dipolo no ponto P?



$$E = E_+ - E_-$$

$$= \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r_+^2} - \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r_-^2}$$

$$= \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{(z-d/2)^2} - \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{(z+d/2)^2}$$

$$= \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{(z(1-d/2z))^2} - \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{(z(1+d/2z))^2}$$

$$= \frac{q}{4\pi\epsilon_0 z^2} \left[\left(1 - \frac{d}{2z}\right)^{-2} - \left(1 + \frac{d}{2z}\right)^{-2} \right]$$

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA Prof. Loos Física Geral III loos.prof.ufsc.br 74

Campo elétrico criado por um dipolo elétrico

(a)

$$E = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 z^2} \left[\left(1 - \frac{d}{2z}\right)^{-2} - \left(1 + \frac{d}{2z}\right)^{-2} \right]$$

- ✓ O efeito do dipolo é geralmente considerado em situações onde $z \gg d$.
- ✓ Como $d \ll z$, $d/2z \ll 1$ e podemos expandir os termos entre parênteses usando o teorema binomial.

$$(x+a)^n = x^n + nx^{n-1}a + \frac{n(n-1)}{2!}x^{n-2}a^2 + \frac{n(n-1)(n-2)}{3!}x^{n-3}a^3 + \dots$$

$$\left[\left(1 - \frac{d}{2z}\right)^{-2} - \left(1 + \frac{d}{2z}\right)^{-2} \right] = \left[\left(1 + \frac{2d}{2z} + \dots\right) - \left(1 - \frac{2d}{2z} + \dots\right) \right] \approx \frac{2d}{z}$$

$$E \approx \frac{q}{4\pi\epsilon_0 z^2} \frac{2d}{z} = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \frac{qd}{z^3}$$

- ✓ $p=qd$ é o momento de dipolo

$$E = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \frac{p}{z^3}$$

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA Prof. Loos Física Geral III loos.prof.ufsc.br

Campo elétrico criado por um dipolo elétrico

(b)

- O momento de dipolo é um vetor (Fig. b).
- Módulo de $p=qd$.
- Sentido de p aponta de $-q$ para $+q$ (mesmo que E).
- O campo E para um dipolo decresce mais rapidamente com a distância ($1/z^3$) do que o campo E de uma carga puntiforme ($1/r^2$).
- Para $z \gg d$, um dipolo se parece com duas cargas iguais de sinais opostos muito próximas.
 - Neste caso o campo elétrico das cargas **quase** se anulam. $E \rightarrow 0$ assim como $d \rightarrow 0$ mas E não é zero em nenhum ponto!

- ✓ Uma molécula de H_2O cria um campo elétrico como um dipolo elétrico.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA Prof. Loos Física Geral III loos.prof.ufsc.br

Exercício 2/2

A fig. mostra duas cargas de mesmo módulo q separadas a uma distância d (dipolo elétrico). Qual o campo E criado pelo dipolo no ponto P ?

Resposta:

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{2q}{z^2}$$

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA Prof. Loos Física Geral III loos.prof.ufsc.br

Você já pode resolver os seguintes exercícios:

Capítulo 23: 5, 6, 7, 10, 13, 15, 17, 18, 19 e 21.

Capítulo 24: 1, 13, 14, 15, 18, 19, 20, 22, 25

Livro texto: Halliday, vol. 3, 4ª edição.

Mais informações (cronogramas, lista de exercícios):

web: loos.prof.ufsc.br e-mail: marcio.loos@ufsc.br

UNIVERSIDADE FEDERAL
DE SANTA CATARINA

Prof. Loos

Física Geral III

loos.prof.ufsc.br

28
