

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 2

---

---

---

---

---

---

---


---

---

---

### 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 3

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**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

---

---

---

---

---

---

---

---

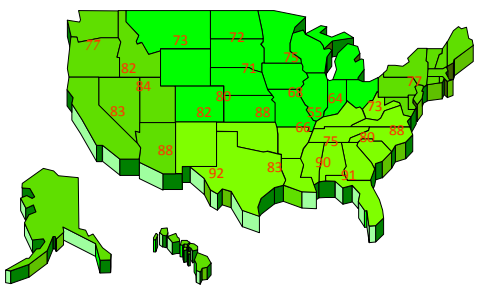
---

---

**Campos – cont.**

---

- **Temperatura:** Campo escalar



The map shows temperature values across the US: 73, 72, 71, 70, 69, 68, 67, 66, 65, 64, 63, 62, 61, 60, 59, 58, 57, 56, 55, 54, 53, 52, 51, 50, 49, 48, 47, 46, 45, 44, 43, 42, 41, 40, 39, 38, 37, 36, 35, 34, 33, 32, 31, 30, 29, 28, 27, 26, 25, 24, 23, 22, 21, 20, 19, 18, 17, 16, 15, 14, 13, 12, 11, 10, 9, 8, 7, 6, 5, 4, 3, 2, 1, 0.

---

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

---

---

---

---

---

---

---

---

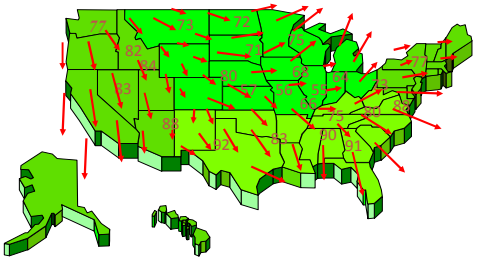
---

---

**Campos – cont.**

---

- **Vento:** Campo vetorial



The map shows wind vectors across the US, with red arrows indicating direction and length representing speed.

---

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

---

---

---

---

---

---

---

---

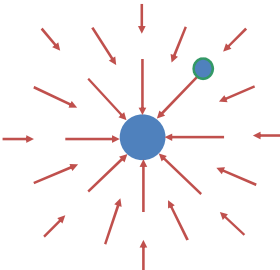
---

---

### 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 7

---

---

---

---

---

---

---

---

### Campo vetorial devido a gravidade – cont.

Note que a força depende da massa  $m$ .

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

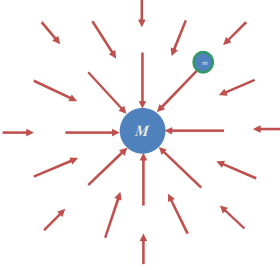
É conveniente perguntar:  
**Qual é a força por unidade de massa?**

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 8

---

---

---

---

---

---

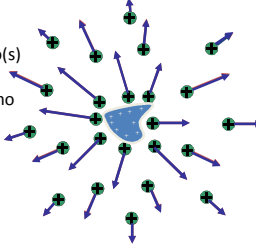
---

---

### 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:

Força por unidade de carga!  $\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0}$



•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 9

---

---

---

---

---

---

---

---

### 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  | $5 \times 10^{11}$ N/C |
| Na superfície de um núcleo de urânio      | $3 \times 10^{21}$ N/C |

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
Prof. Loos Física Geral III loos.prof.ufsc.br
10

---

---

---

---

---

---

---

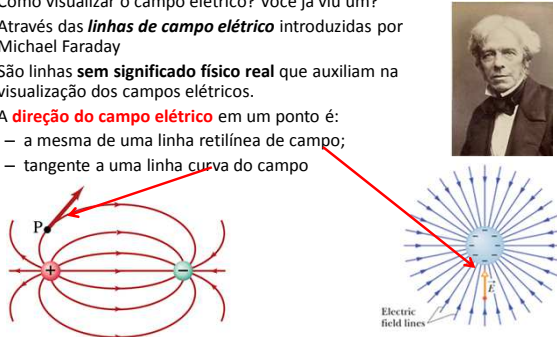
---

---

---

### 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
11

---

---

---

---

---

---

---

---

---

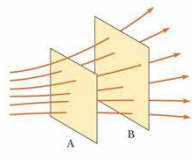
---

### 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
12

---

---

---

---

---

---

---

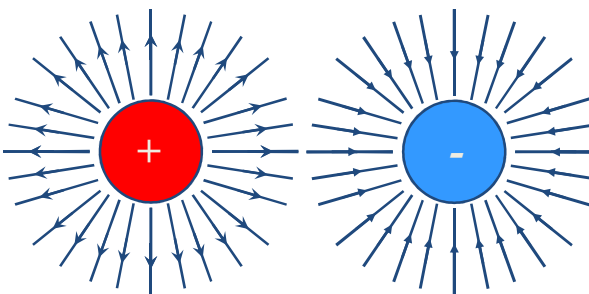
---

---

---

**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

---

---

---

---

---

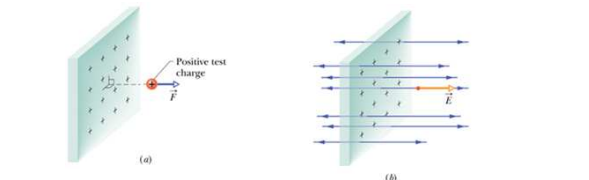
---

---

---

**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

---

---

---

---

---

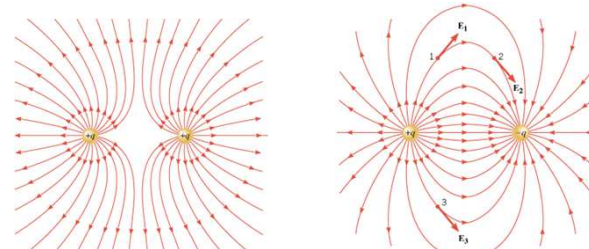
---

---

---

**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 15

---

---

---

---

---

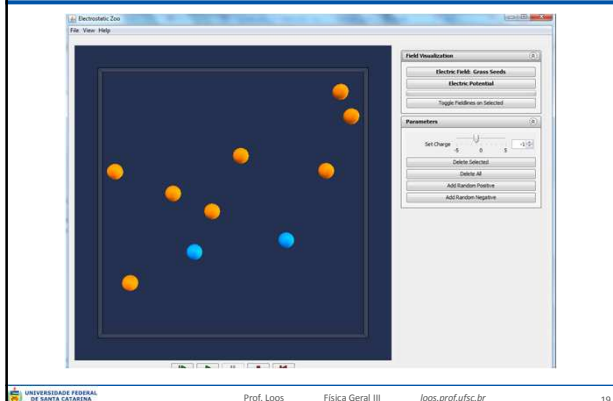
---

---

---



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




---

---

---

---

---

---

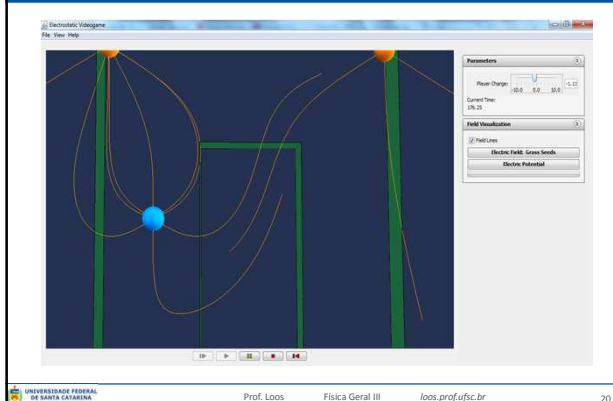
---

---

---

---

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




---

---

---

---

---

---

---

---

---

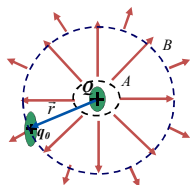
---

### 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.).

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

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




---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### 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
22

---

---

---

---

---

---

---

---

### 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
23

---

---

---

---

---

---

---

---

### Campo elétrico criado por um dipolo elétrico

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

- 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.

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

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

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

- $p=qd$  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
24

---

---

---

---

---

---

---

---



### Campo elétrico criado por um dipolo elétrico

- 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 25

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### 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 26

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### 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 27

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

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](http://loos.prof.ufsc.br) e-mail: [marcio.loos@ufsc.br](mailto:marcio.loos@ufsc.br)

UNIVERSIDADE FEDERAL  
DE SANTA CATARINA

Prof. Loos

Física Geral III

[loos.prof.ufsc.br](http://loos.prof.ufsc.br)

28

---

---

---

---

---

---

---

---