Eletromagnetismo

4300372

F.S. Navarra

navarra@if.usp.br

Guilherme Germano (monitor)

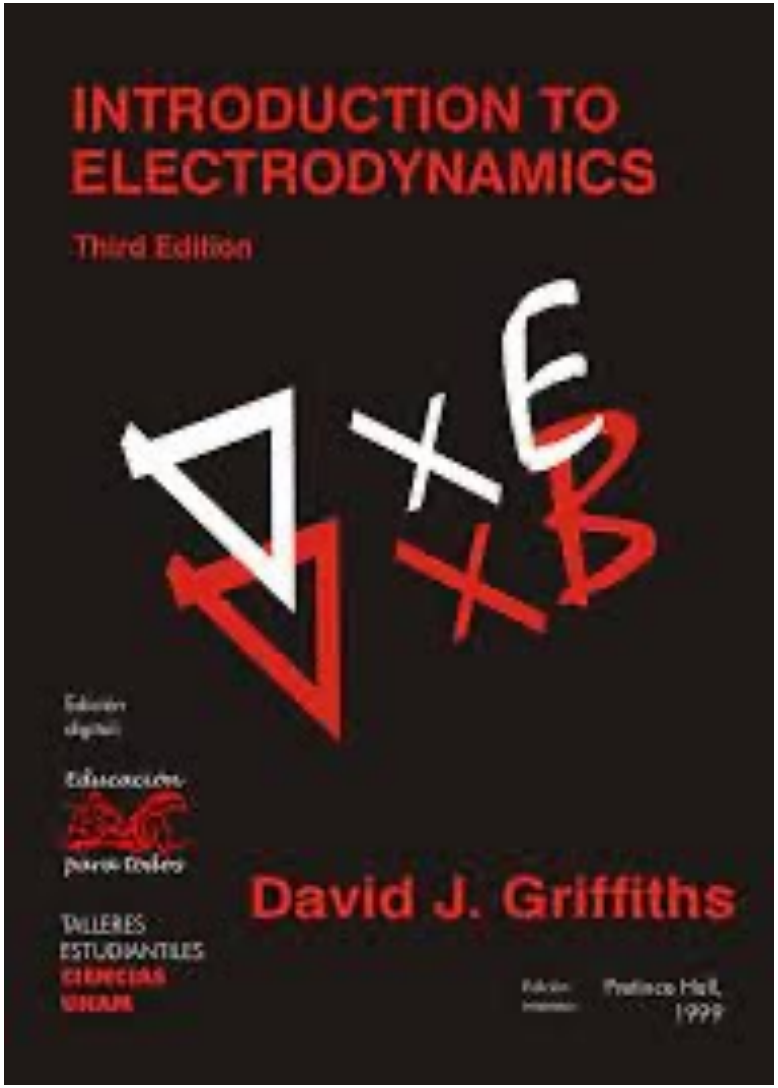
guilherme.germano@usp.br

edisciplinas.if.usp.br

Plano do Curso

16/08	13/09	11/10	08/11
19/08	16/09	14/10	11/11
23/08	20/09 P1	18/10	15/11
26/08	23/09	21/10 P2	18/11
30/08	27/09	25/10	22/11
02/09	30/09	28/10	25/11
06/09	04/10	01/11	29/11 P3
09/09	07/10	04/11	02/12 ex
			06/11 Sub

Bibliografia



Capítulo 2 : eletrostática

Capítulo 5 : magnetostática

Capítulo 7 : eletrodinâmica

Capítulo 8 : leis de conservação

Capítulo 9 : ondas eletromagnéticas

Capítulo 10 : campos e potenciais

Capítulo 11 : radiação

Bibliografia

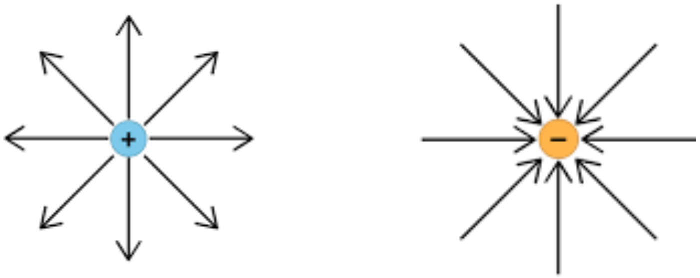
Física 3

Maria José Bechara
José Luciano Miranda Duarte
Manoel Roberto Robilotta
Suzana Salem Vasconcelos
Instituto de Fisica da Universidade de São Paulo

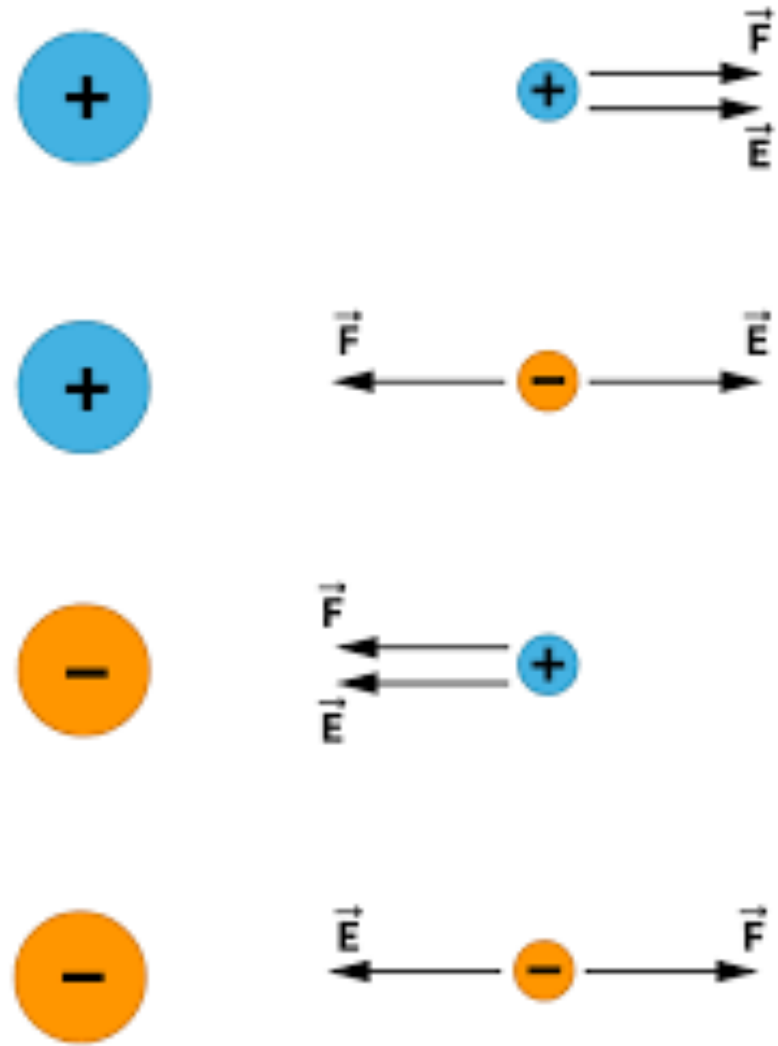
São Paulo, 5 de fevereiro de 2020

Aula 2

Campo



Força



Lei de Coulomb

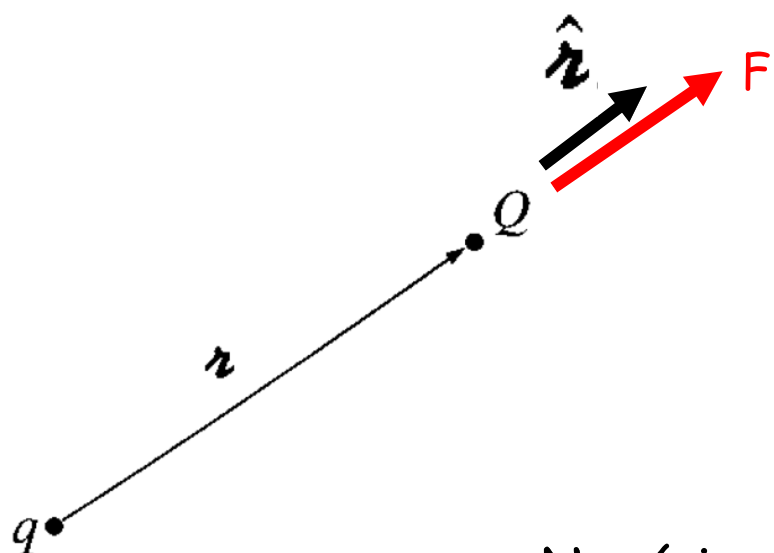
$$F = k \cdot \frac{q1.q2}{d^2}$$

A coordenada importante é a distância entre as duas cargas !

Vetor separação: "vai de quem cria para quem sente"

Força em Q :

Duas cargas :



$$\boxed{\mathbf{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{qQ}{\mathscr{r}^2}\hat{\boldsymbol{\mathscr{r}}}.}$$ G59

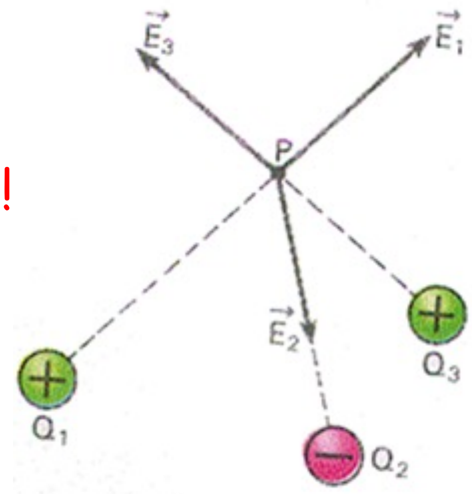
$$\boxed{\mathbf{F} = Q\mathbf{E},}$$

Na gíria :

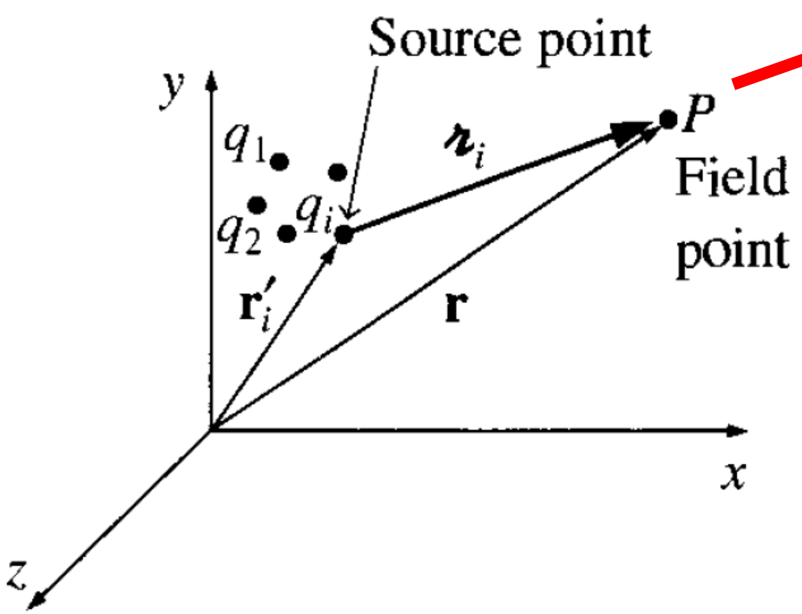
$$E = \frac{1}{4\,\pi\,\epsilon_0}\frac{q}{r^2}$$

Cálculo do campo elétrico gerado por várias cargas

Princípio da superposição !



Fake !



$\hat{\boldsymbol{\mathscr{r}}}$

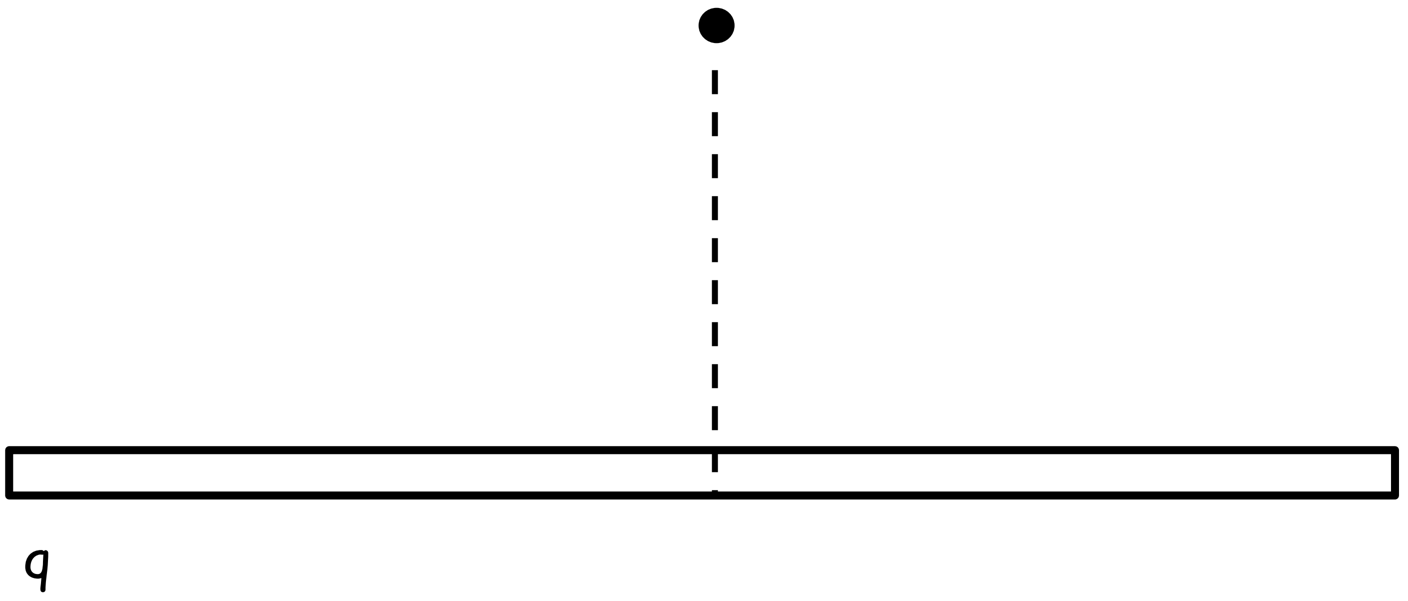
Vetor de separação

$$\boldsymbol{\mathscr{r}} = \mathbf{r} - \mathbf{r}'$$

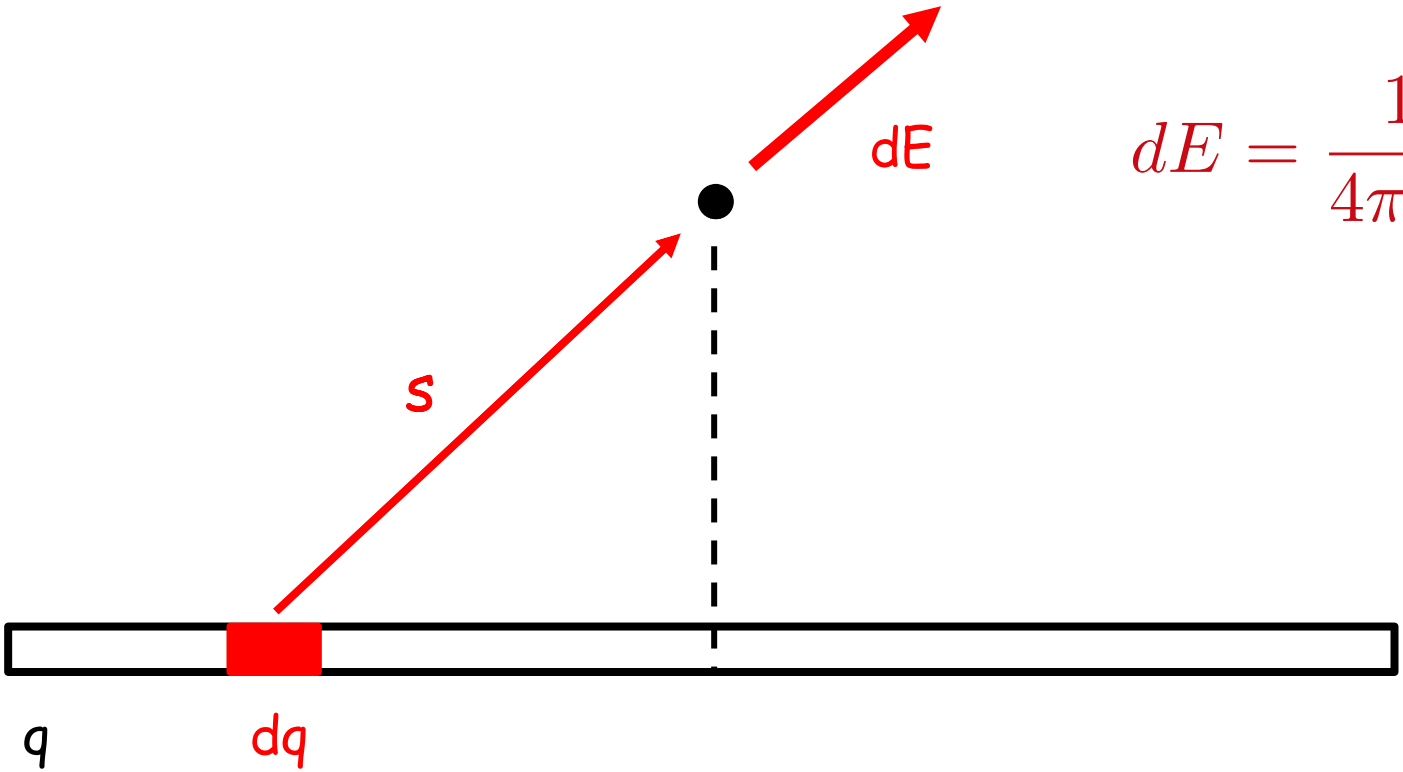
$$\boldsymbol{\mathscr{r}} = \mathbf{s}$$

$$\mathbf{E}(\mathbf{r}) \equiv \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \sum_{i=1}^{n} \frac{q_i}{\mathscr{r}_i^2} \hat{\boldsymbol{\mathscr{r}}}_i$$

Cálculo do campo elétrico gerado por uma distribuição contínua de cargas



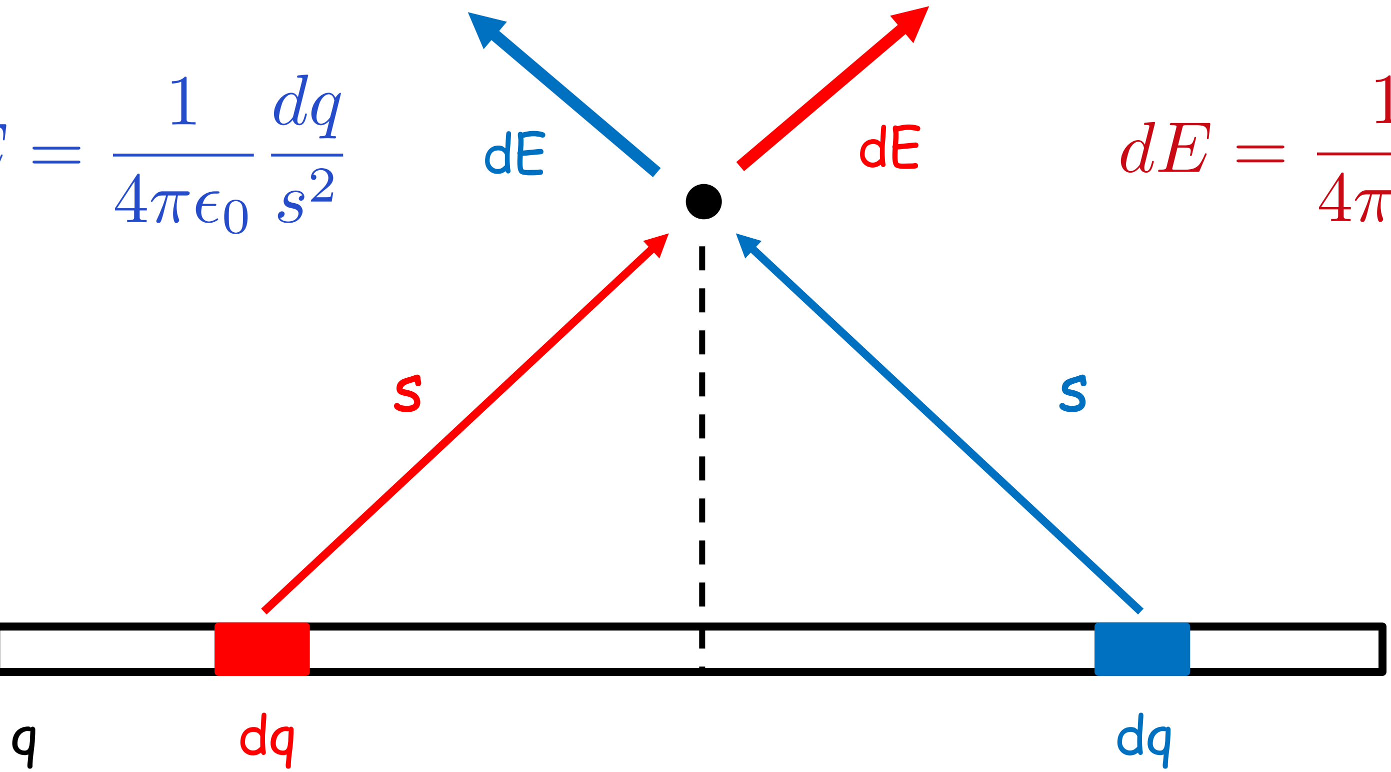
Cálculo do campo elétrico gerado por uma distribuição contínua de cargas



$$dE = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{dq}{s^2}$$

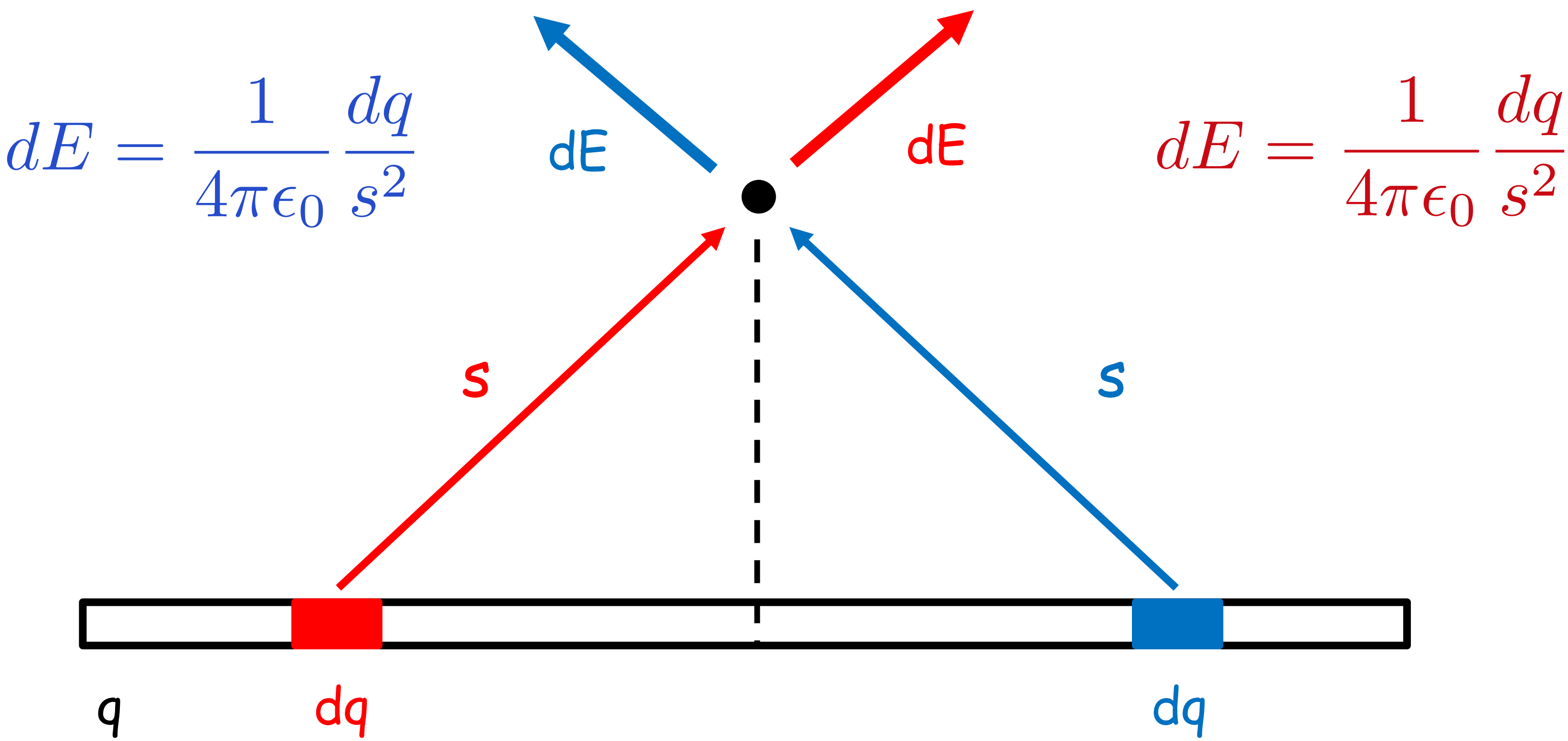
Cálculo do campo elétrico gerado por uma distribuição contínua de cargas

$$dE = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{dq}{s^2}$$



$$dE = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{dq}{s^2}$$

Cálculo do campo elétrico gerado por uma distribuição contínua de cargas



O campo elétrico total é a soma dos "pequenos" campos infinitesimais.

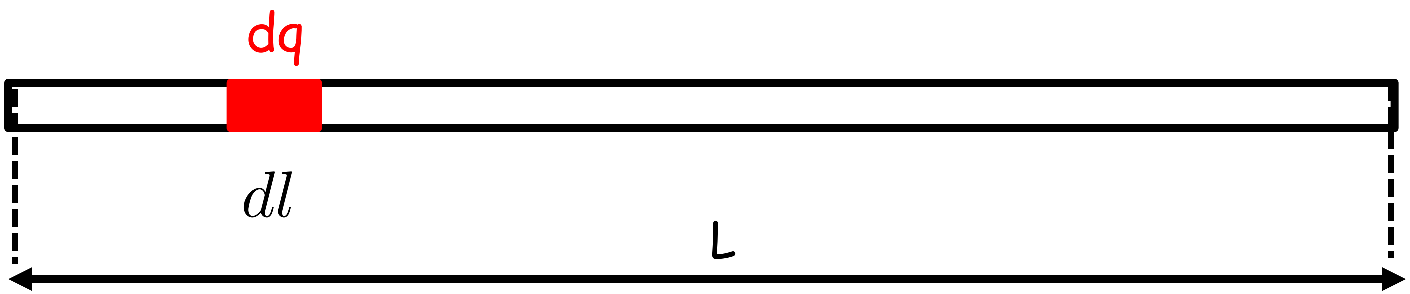
$$\mathbf{E}(\mathbf{r}) \equiv \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\sum_{i=1}^{n}\frac{q_i}{\imath_i^2}\hat{\boldsymbol{\imath}}_i \qquad q_i \to dq \quad \longrightarrow \quad E \to dE$$

Percorremos a barra e somamos todos os dq's: soma vira integral !

$$\mathbf{E}(\mathbf{r}) \equiv \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\sum_{i=1}^{n}\frac{q_i}{\mathscr{r}_i^2}\hat{\boldsymbol{\mathscr{r}}}_i \quad \longrightarrow \quad \mathbf{E}(\mathbf{r}) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\int \frac{1}{\mathscr{r}^2}\hat{\boldsymbol{\mathscr{r}}}\,dq$$

Para fazer a integral vamos primeiro reescrever dq de acordo com o problema.

Se a carga está distribuída numa linha (um fio), podemos dizer que:



Carga total = q

Comprimento = L

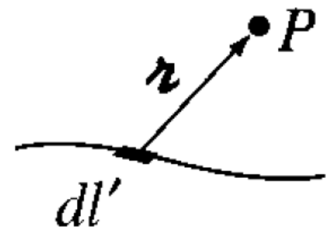
Densidade linear de carga = carga / comprimento $\qquad \lambda = \dfrac{q}{L} \qquad q = \lambda L$

$$dq = \lambda\, dl'$$

$$\mathbf{E}(\mathbf{r}) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\int_{\mathcal{P}} \frac{\lambda(\mathbf{r}')}{\mathscr{r}^2}\hat{\boldsymbol{\mathscr{r}}}\,dl'$$

A integração é no comprimento (eixo x)

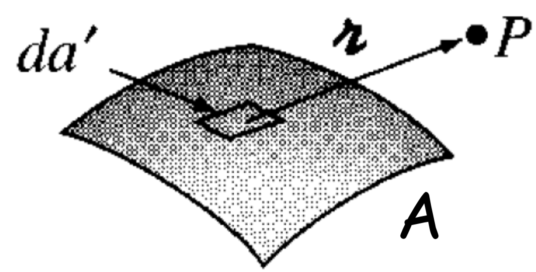
A expressão é geral e vale quando a linha não for reta:



A carga q pode estar distribuída numa área A :

Densidade superficial de carga = carga / área

$$\sigma = \frac{q}{A} \qquad q = \sigma A \qquad dq = \sigma\, da$$



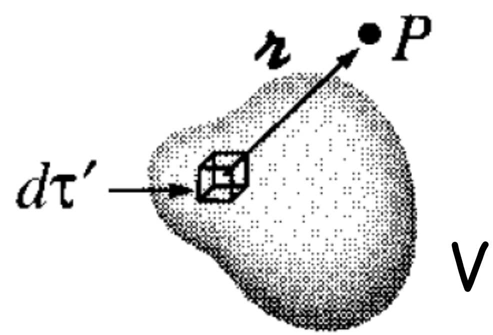
$$dq = \sigma\, da' \qquad \mathbf{E}(\mathbf{r}) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \int_{\mathcal{S}} \frac{\sigma(\mathbf{r}')}{\mathscr{r}^2} \hat{\mathscr{r}}\, da'$$

A integração é sobre a área A (ouS)

A carga q pode estar distribuída num volume V:

Densidade volumétrica de carga = carga / volume

$$\rho = \frac{q}{V} \qquad q = \rho V \qquad dq = \rho\, dV$$



$$dq = \rho\, d\tau' \qquad \mathbf{E}(\mathbf{r}) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \int_{\mathcal{V}} \frac{\rho(\mathbf{r}')}{\mathscr{r}^2} \hat{\mathscr{r}}\, d\tau'$$

A integração é sobre o volume V

Resumo

$$\boxed{\mathbf{E}(\mathbf{r}) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\int \frac{1}{\mathscr{r}^2}\hat{\boldsymbol{\mathscr{r}}}\,dq}$$

$$dq = \lambda\, dl' \qquad \mathbf{E}(\mathbf{r}) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\int_{\mathcal{P}} \frac{\lambda(\mathbf{r}')}{\mathscr{r}^2}\hat{\boldsymbol{\mathscr{r}}}\,dl'$$

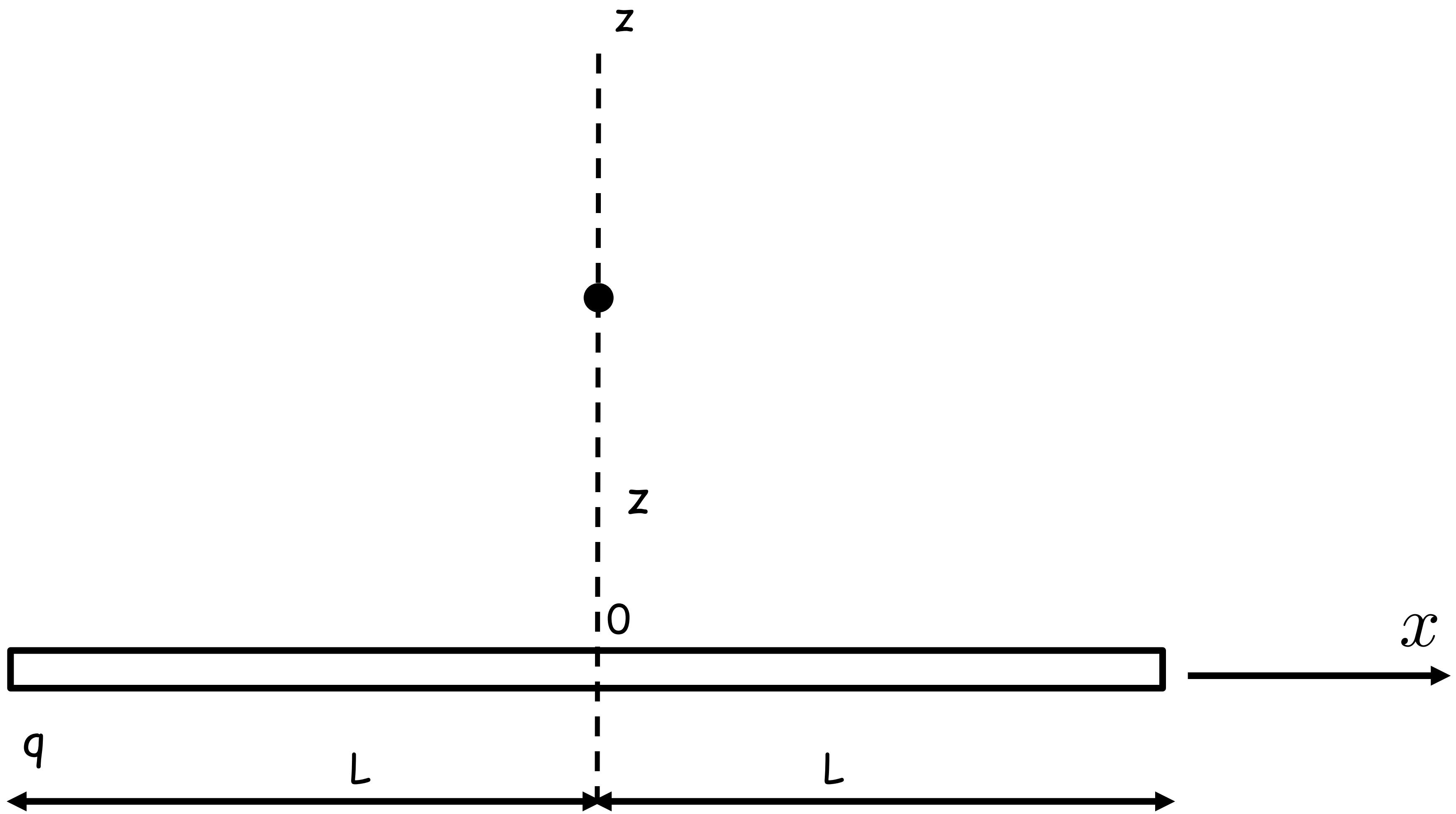
$$dq = \sigma\, da' \qquad \mathbf{E}(\mathbf{r}) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\int_{\mathcal{S}} \frac{\sigma(\mathbf{r}')}{\mathscr{r}^2}\hat{\boldsymbol{\mathscr{r}}}\,da'$$

$$dq = \rho\, d\tau' \qquad \mathbf{E}(\mathbf{r}) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\int_{\mathcal{V}} \frac{\rho(\mathbf{r}')}{\mathscr{r}^2}\hat{\boldsymbol{\mathscr{r}}}\,d\tau'$$

Exemplo de cálculo de campo elétrico

G62 (exemplo 2.1)

Encontre o campo elétrico num ponto a uma distância z do ponto central de um fio carregado de comprimento 2L e densidade linear de carga lambda.



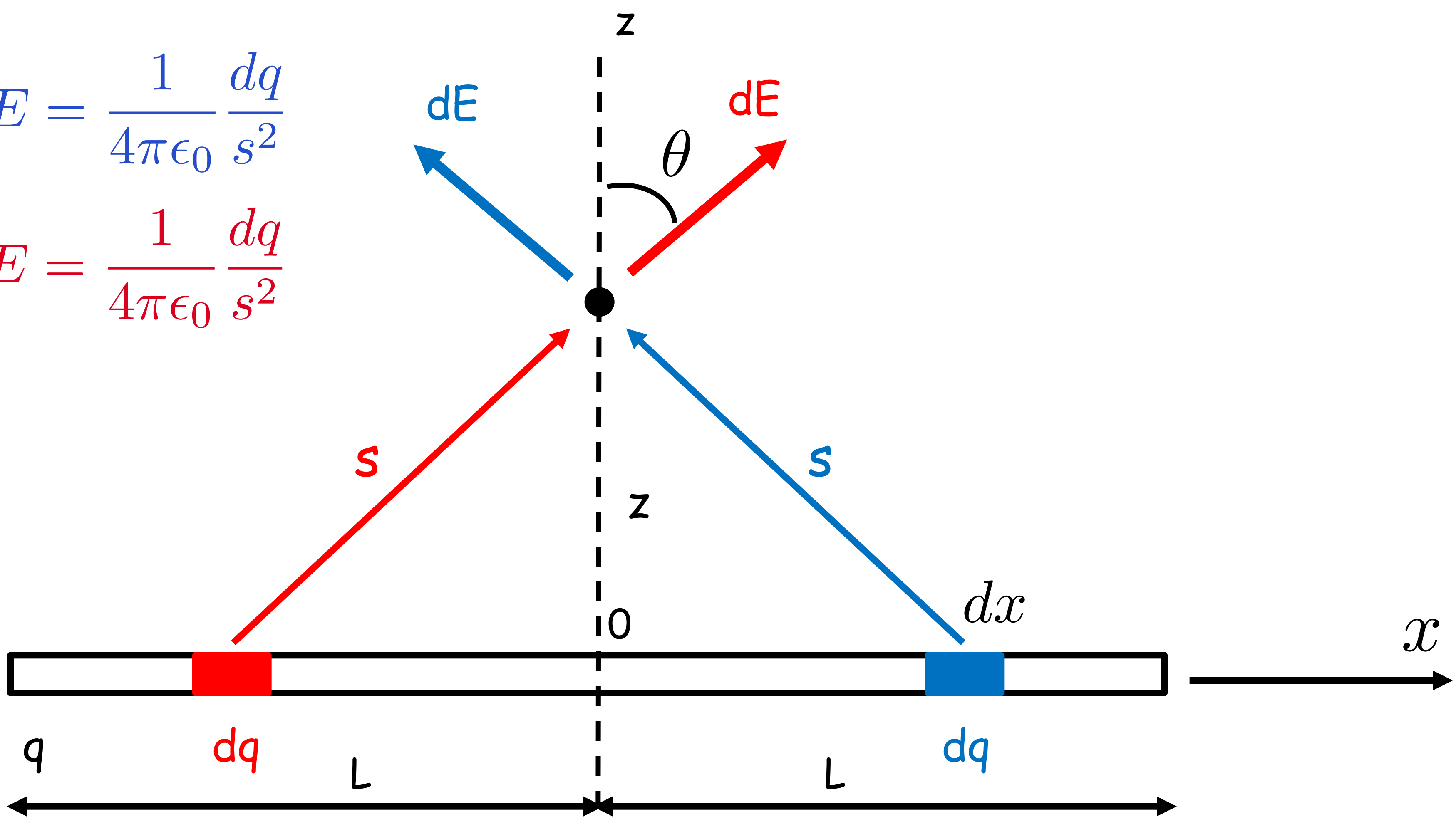
Exemplo de cálculo de campo elétrico

G62 (exemplo 2.1)

Encontre o campo elétrico num ponto a uma distância z do ponto central de um fio carregado de comprimento 2L e densidade linear de carga lambda.

$$dE = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{dq}{s^2}$$

$$dE = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{dq}{s^2}$$



Exemplo de cálculo de campo elétrico

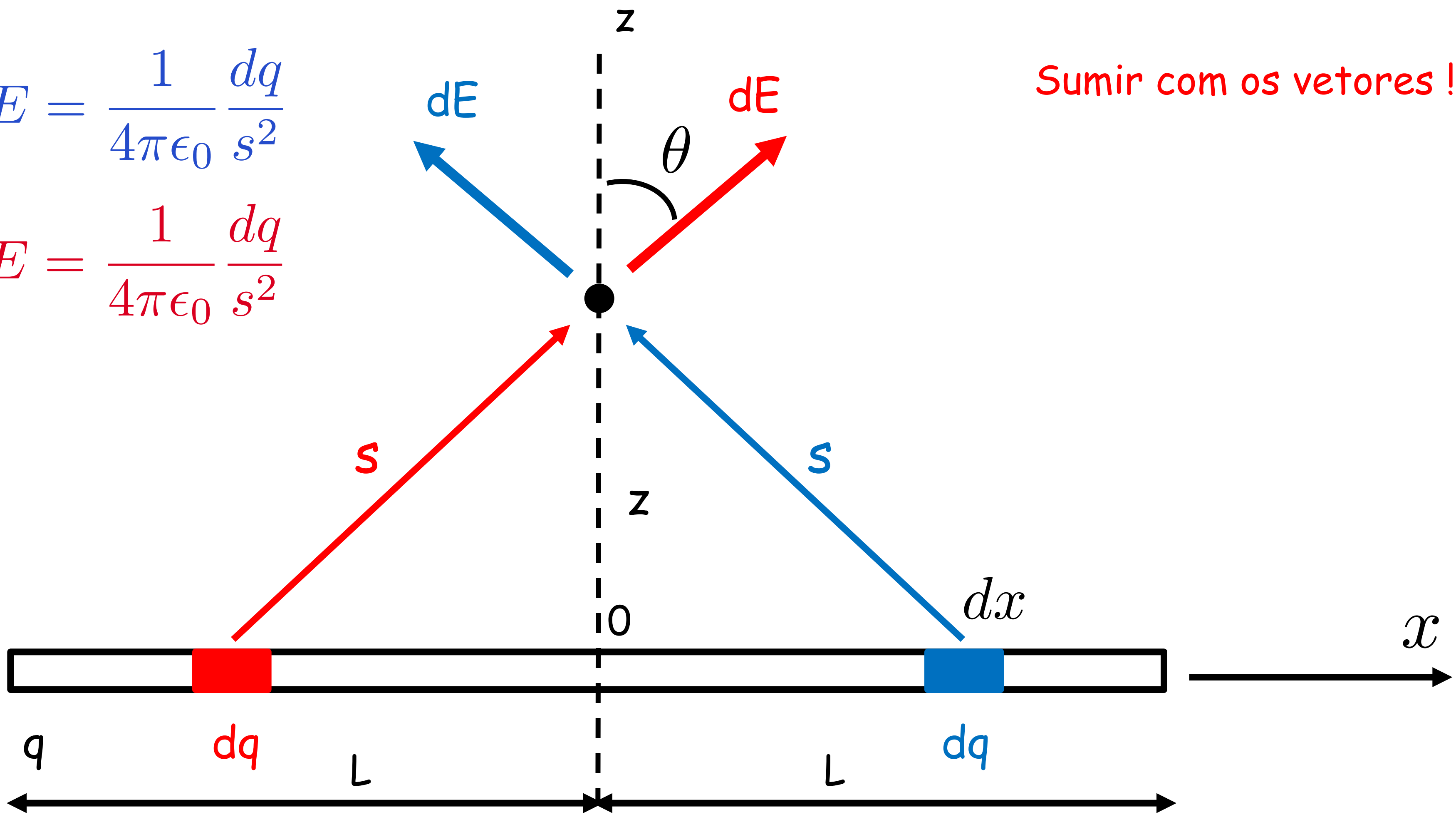
G62 (exemplo 2.1)

Encontre o campo elétrico num ponto a uma distância z do ponto central de um fio carregado de comprimento 2L e densidade linear de carga lambda.

$$dE = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{dq}{s^2}$$

$$dE = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{dq}{s^2}$$

Sumir com os vetores !!!



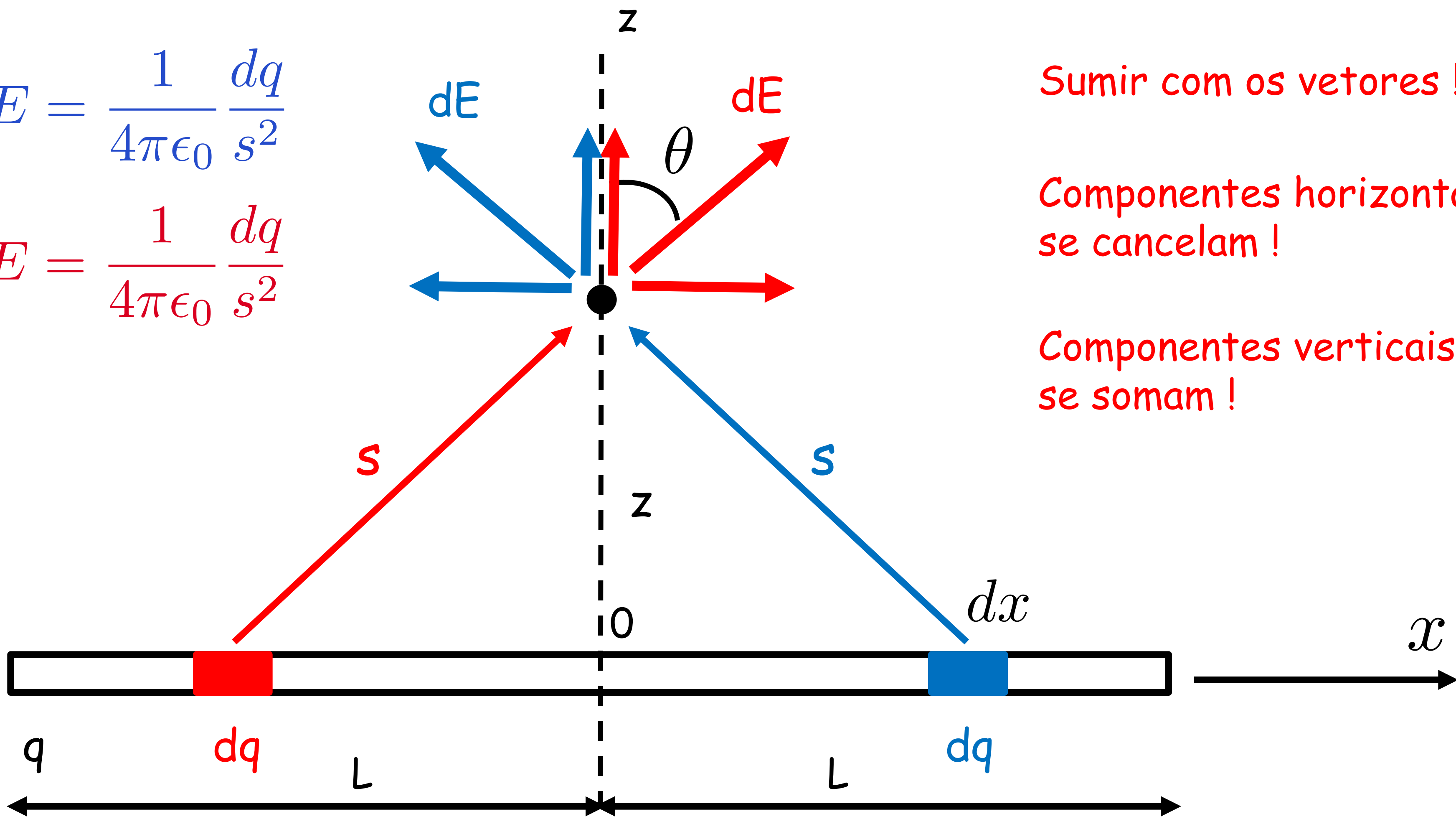
Exemplo de cálculo de campo elétrico

G62 (exemplo 2.1)

Encontre o campo elétrico num ponto a uma distância z do ponto central de um fio carregado de comprimento 2L e densidade linear de carga lambda.

$$dE = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{dq}{s^2}$$

$$dE = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{dq}{s^2}$$



Sumir com os vetores !!!

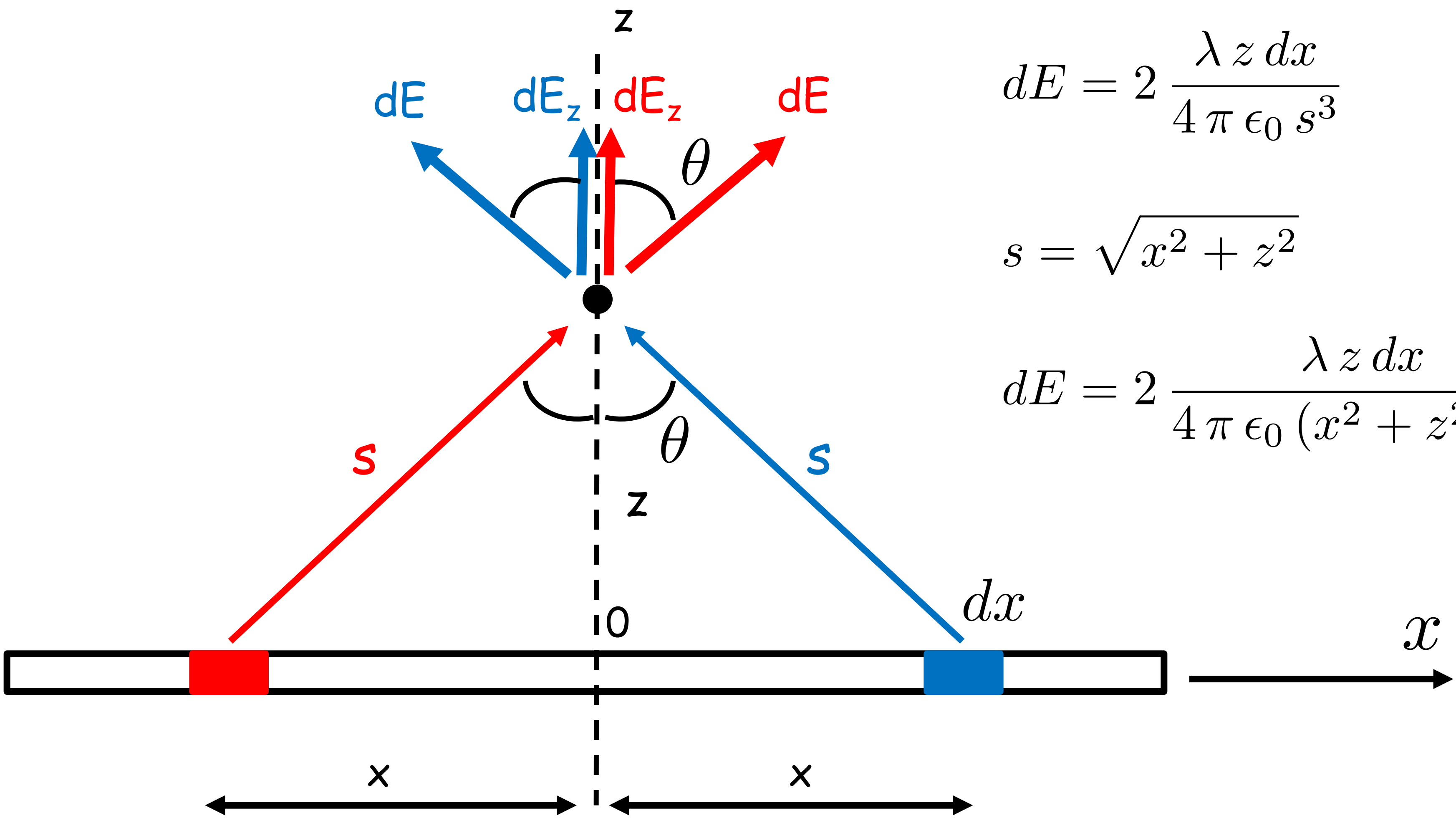
Componentes horizontais se cancelam !

Componentes verticais se somam !

O campo elétrico resultante está na direção z apontando prá cima !

$$dE = dE_z + dE_z \qquad dE_z = dE\,\cos\theta \qquad dE_z = dE\,\cos\theta$$

$$dE = 2\,dE\,\cos\theta \qquad dE = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{dq}{s^2} \qquad \cos\theta = \frac{z}{s} \qquad dq = \lambda\,dx$$



$$dE = 2\,\frac{\lambda\,z\,dx}{4\,\pi\,\epsilon_0\,s^3}$$

$$s = \sqrt{x^2 + z^2}$$

$$dE = 2\,\frac{\lambda\,z\,dx}{4\,\pi\,\epsilon_0\,(x^2 + z^2)^{3/2}}$$

$$dE = 2\,\frac{\lambda\, z\, dx}{4\,\pi\,\epsilon_0\,(x^2+z^2)^{3/2}}$$

$$E = \int_0^L 2\,\frac{\lambda\, z\, dx}{4\,\pi\,\epsilon_0\,(x^2+z^2)^{3/2}}$$

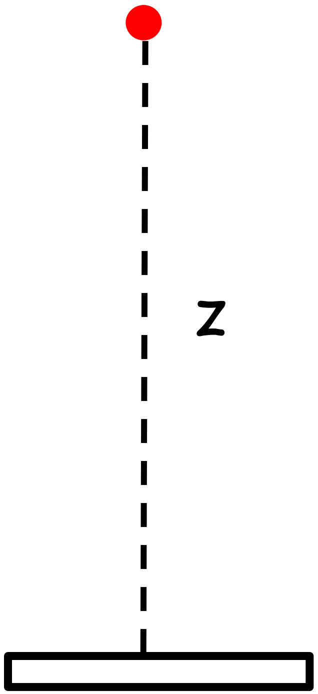
$$= \frac{2\lambda z}{4\pi\epsilon_0}\left[\frac{x}{z^2\sqrt{z^2+x^2}}\right]\Bigg|_0^L$$

$$E = \frac{2\lambda\, L}{4\,\pi\,\epsilon_0\, z\,\sqrt{L^2+z^2}}$$

Quando $z >> L$

$$E \cong \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\,\frac{2\lambda L}{z^2}$$

$$2\,\lambda\, L = q$$



Tipo :

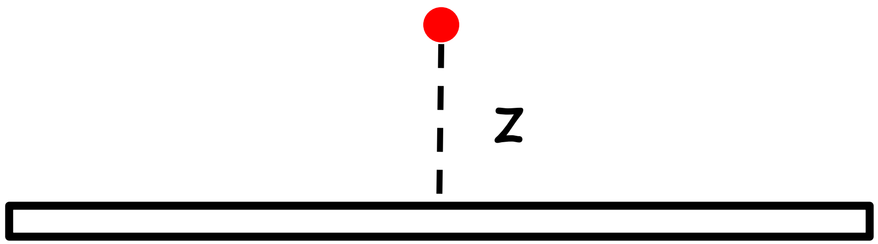
$$E = \frac{1}{4\,\pi\,\epsilon_0}\,\frac{q}{r^2}$$

Campo de uma carga puntiforme !

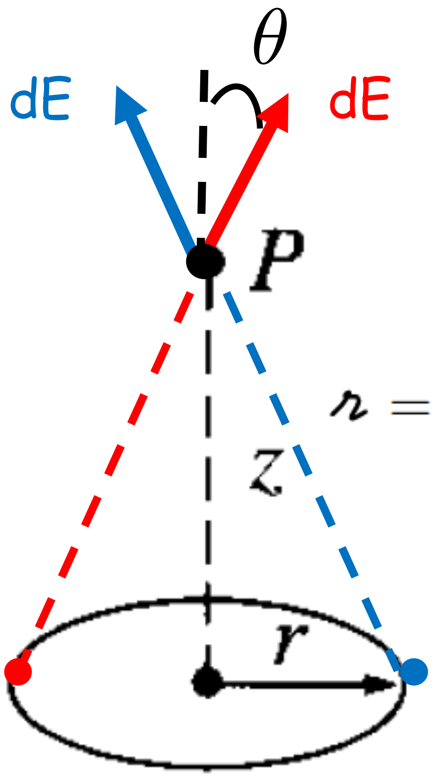
$$E = \frac{2\lambda L}{4\pi\epsilon_0 z\sqrt{L^2+z^2}}$$

$$L \to \infty$$

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



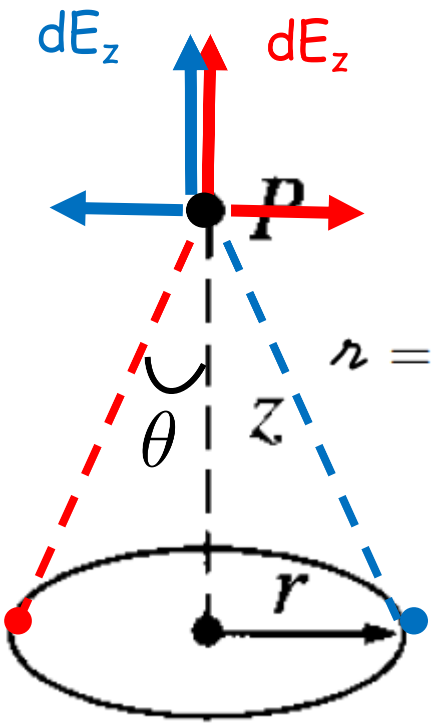
Campo elétrico de um anel circular carregado



$\mathscr{r} = \sqrt{z^2 + r^2},$

$\mathscr{r} = \mathbf{s}$

Campo elétrico de um anel circular carregado

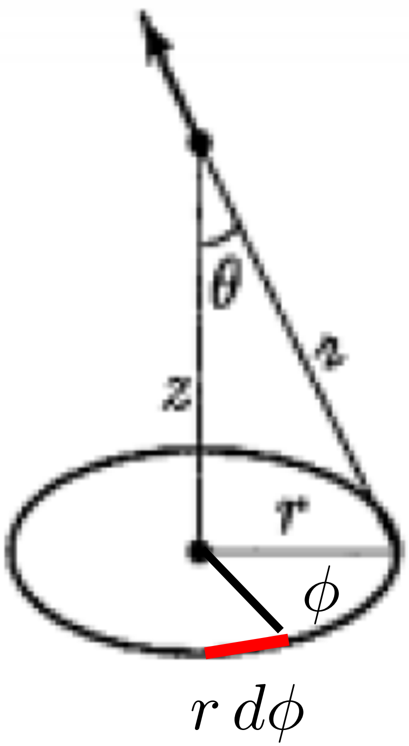


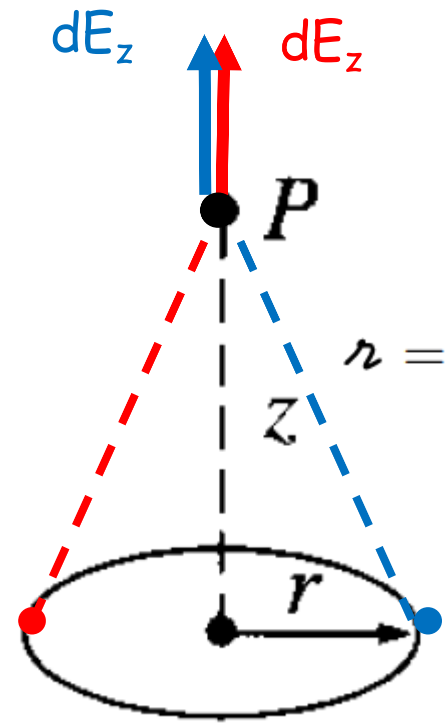
$$\mathscr{r} = \sqrt{z^2 + r^2},$$

$$\boldsymbol{\mathscr{r}} = \mathbf{s}$$

$$dE_z = dE\cos\theta = \frac{z\,dE}{\sqrt{z^2 + r^2}}$$

Campo elétrico de um anel circular carregado





$$\mathscr{r} = \sqrt{z^2 + r^2},$$

$$\mathscr{r} = \mathbf{s}$$

$$dE_z = dE\cos\theta = \frac{z\,dE}{\sqrt{z^2 + r^2}}$$

$$dE = \frac{1}{4\,\pi\,\epsilon_0}\frac{dq}{s^2} \qquad dq = \lambda r\,d\phi.$$

$$E_z = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\int_0^{2\pi}\frac{\lambda r\,d\phi}{z^2 + r^2}\frac{z}{\sqrt{z^2 + r}} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{\lambda r z}{(z^2 + r^2)^{3/2}}\int_0^{2\pi} d\phi = \boxed{\frac{\lambda}{2\epsilon_0}\frac{r z}{(z^2 + r^2)^{3/2}}}.$$