

ELETRICIDADE BÁSICA

2ª Termo

Engenharias:

**Mecânica
Computação
Elétrica
Civil**

AULA 01

Prof. Dr. Giuliano Pierre Estevam

www.electroenge.com.br



Conteúdo

- Eletrostática
 - Princípios da eletrostática
 - Eletrização
 - Lei de Coulomb
 - Campo elétrica
 - Lei de Gauss
 - Potencial elétrico
 - Trabalho da força elétrica

- Eletrodinâmica
 - Corrente elétrica
 - Potência elétrica
 - Resistores
 - Associação de resistores
 - Voltímetro e Amperímetro
 - Geradores e receptores
 - Leis de Kirchhoff

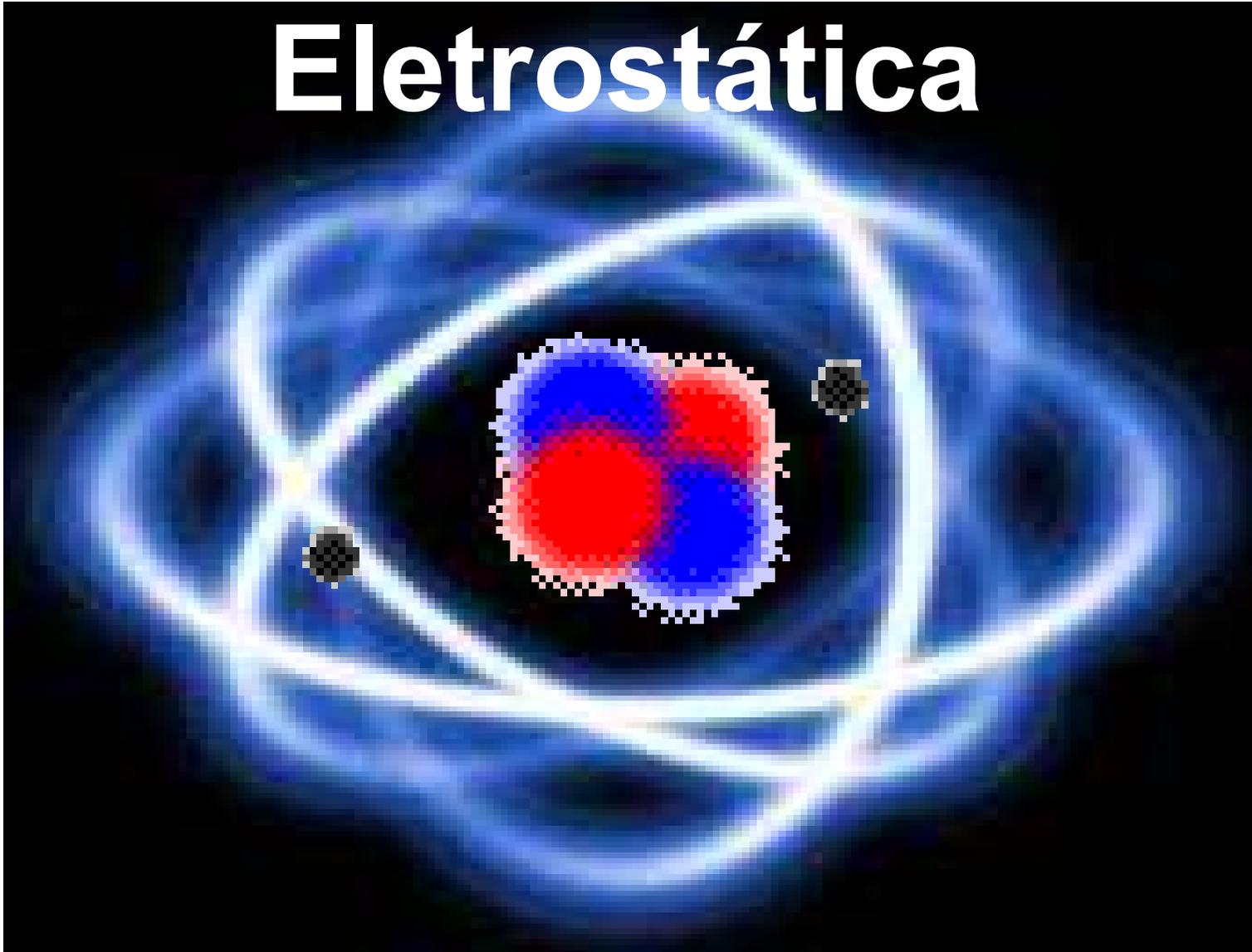
Avaliação

$$MF = 0,8 \cdot NP + 0,2 \cdot MT$$

NP: MÉDIA ARITMÉTICA DAS PROVAS APLICADAS

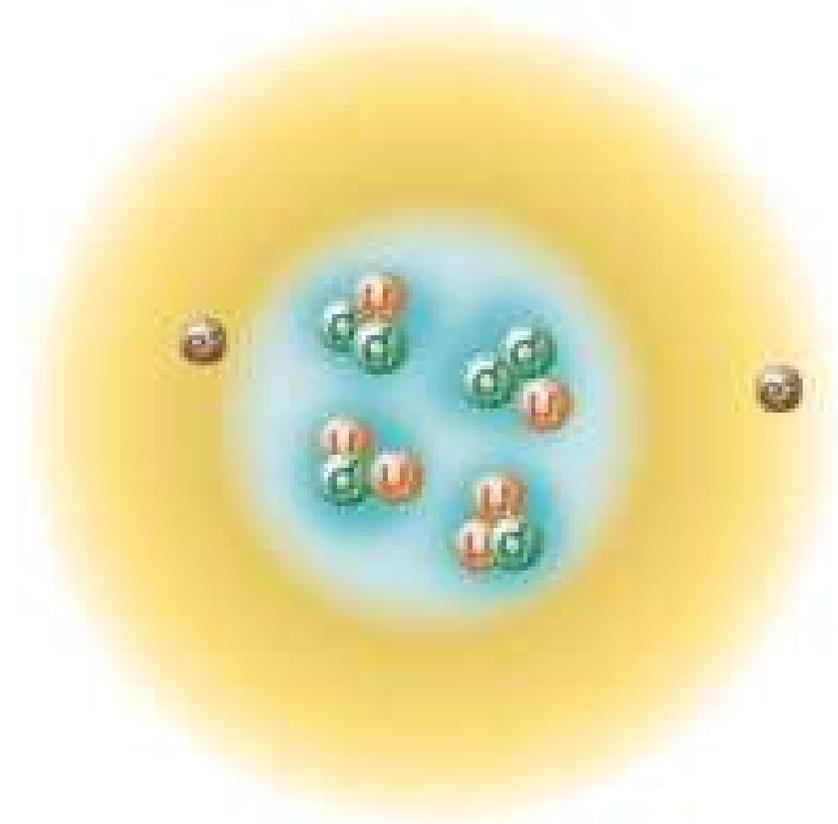
MT: MÉDIA ARITMÉTICA DOS TRABALHOS APLICADOS

Eletrostática



Eletrostática

Eletrostática é o ramo da Física que estuda as cargas elétricas em repouso e as interações atrativas ou repulsivas que ocorrem entre elas.



ÂMBAR

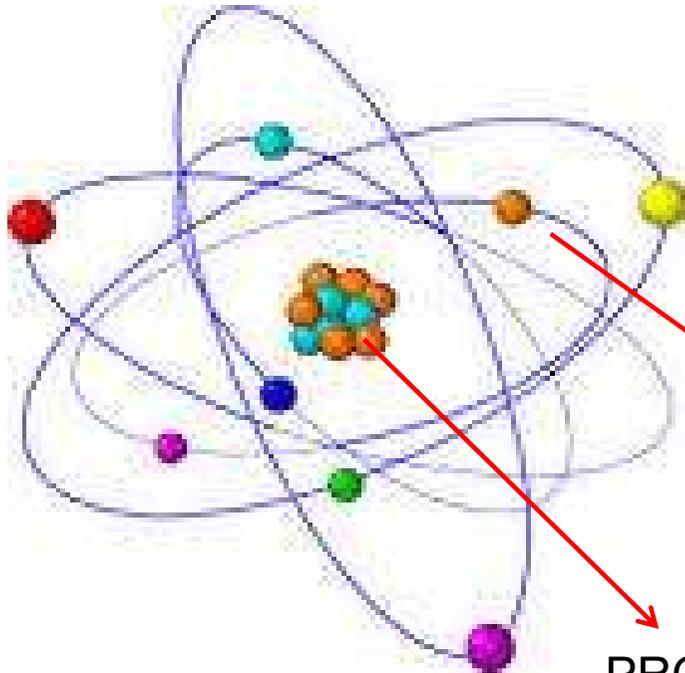


ELEKTRON



Partícula	Carga (coulomb=C)	Massa (Kg)
elétron	$-1,6021917 \times 10^{-19}$	$9,1095 \times 10^{-31}\text{Kg}$
próton	$1,6021917 \times 10^{-19}$	$1,67261 \times 10^{-27}\text{Kg}$
nêutron	0	$1,67492 \times 10^{-27}\text{Kg}$

ÁTOMO

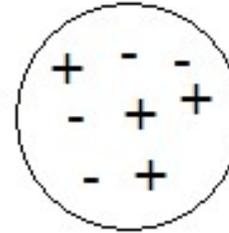


ELÉTRONS : CARGA NEGATIVA

PRÓTONS : CARGA POSITIVA

CORPO NEUTRO

Um objeto neutro possui mesmo número de elétrons e prótons.

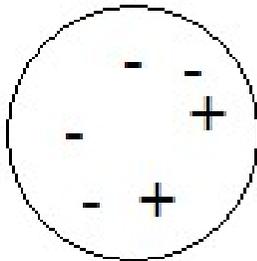


$$NE=NP$$

CORPO ELETRIZADO

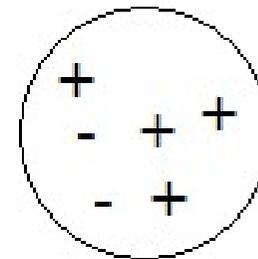
negativamente

$$NE>NP$$



positivamente

$$NE<NP$$



PRINCÍPIOS DA ELETROSTÁTICA

Carga elementar e Quantidade de Carga Elétrica

- 1 carga elétrica elementar (e) = $1,6 \times 10^{-19}$ C (Coulomb).
- A quantidade de carga elétrica de um corpo é dada pela expressão:

$$Q = +/- n . e$$

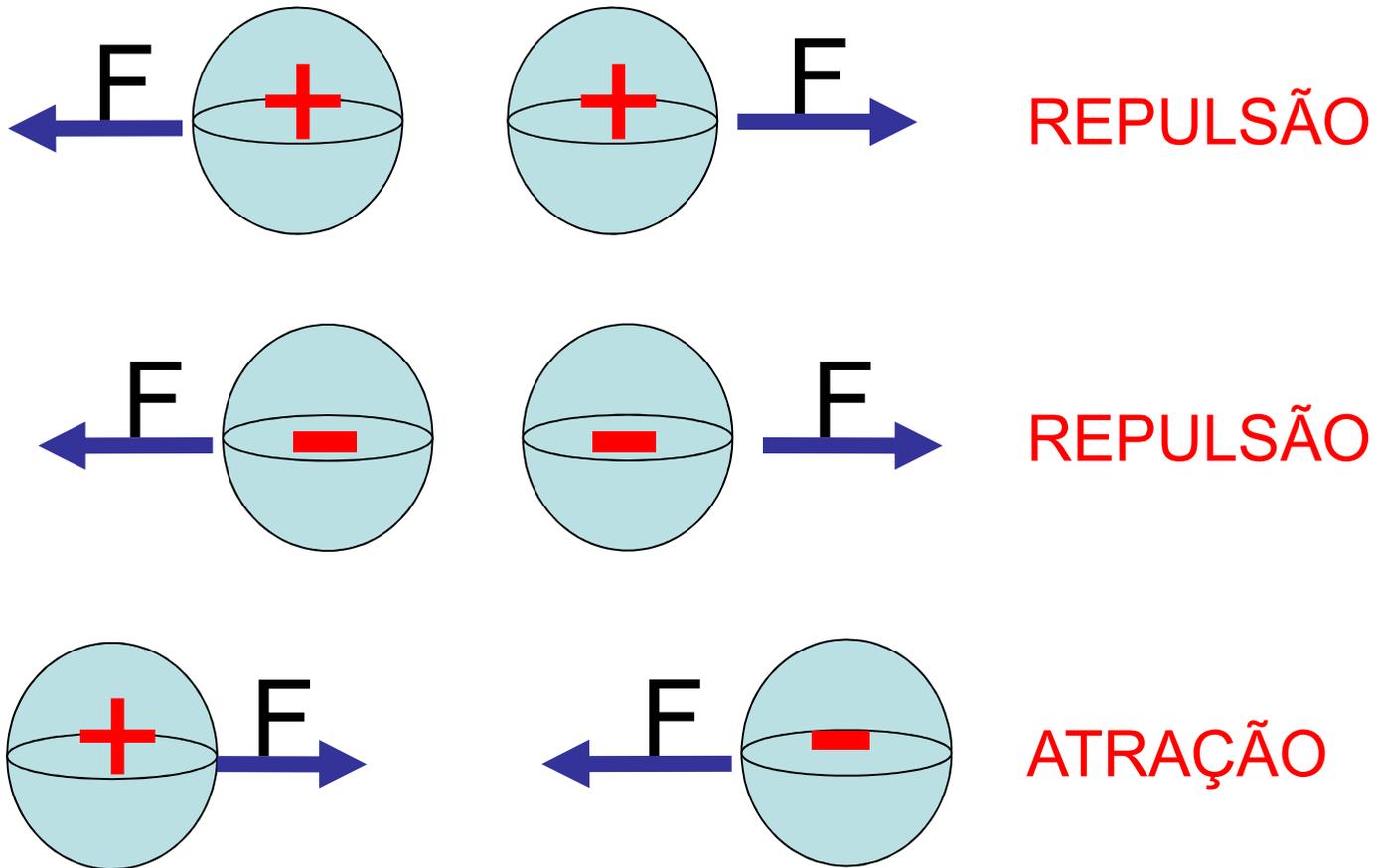
Onde:

Q – quantidade de carga elétrica.

e – carga elétrica elementar

+/- número de prótons ou elétrons em excesso

PRÍNCÍPIO DE ATRAÇÃO E REPULSÃO

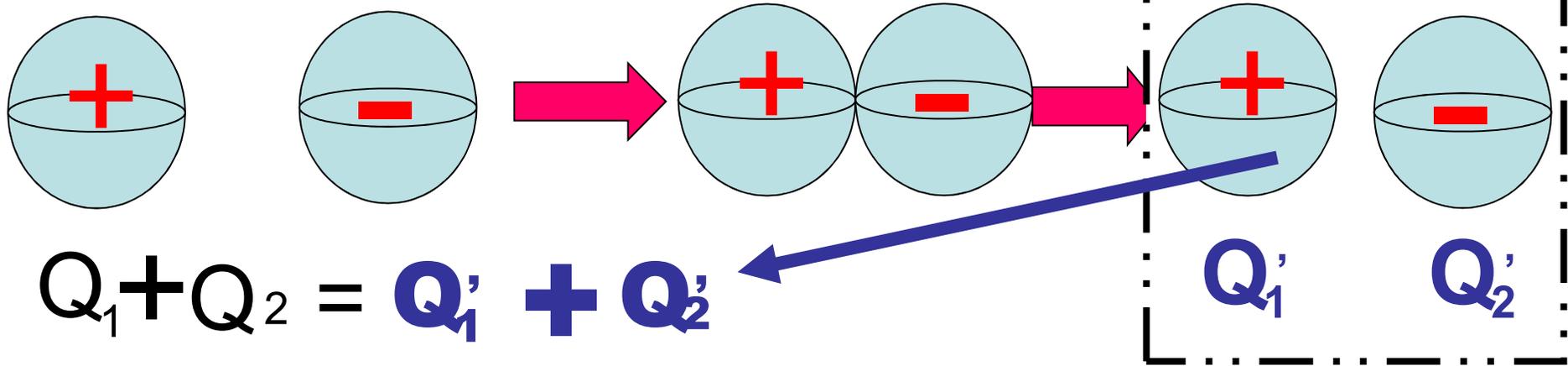


PRÍNCIPIO DE CONSERVAÇÃO DA CARGA ELÉTRICA

Carga elétrica não se cria, não se perde, apenas se transfere. Num sistema eletricamente isolado, a soma das cargas elétricas é constante.

$$\sum Q_{ANTES} = \sum Q_{DEPOIS}$$

$$Q_1 = 3Q \quad Q_2 = -5Q$$



$$Q_1 + Q_2 = Q'_1 + Q'_2$$

ANTES
DO
CONTATO

DEPOIS
DO
CONTATO

$$Q'_1 = Q'_2 = \frac{Q_1 + Q_2}{2} = \frac{3Q + (-5Q)}{2} = \frac{-2Q}{2} = -Q$$

$$Q'_1 = Q'_2 = -Q$$

Exercícios

Uma partícula está eletrizada positivamente com uma carga elétrica de $4,0 \times 10^{-15} \text{ C}$. Como o módulo da carga do elétron é $1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$, determine o número de elétrons retirados dessa partícula.

R: $2,5 \times 10^4$ elétrons.

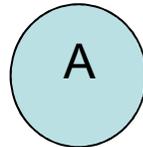
Uma esfera metálica tem carga elétrica negativa de valor igual a $3,2 \cdot 10^{-4} \text{ C}$. Sendo a carga do elétron igual a $1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$, pode-se concluir que a esfera contém quantos elétrons em excesso?

R: $n = 2 \cdot 10^{15}$ elétrons

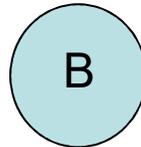
Exercícios

Três esferas metálicas, A, B e C, condutoras, são idênticas e estão isoladas entre si. A esfera A está eletrizada com carga Q e as esferas B e C estão neutras. Coloca-se A em contato com B e, posteriormente, C em contato com A, já isolada de B. Determine as cargas finais de cada esfera.

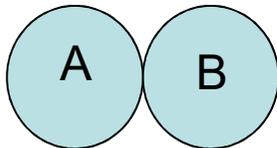
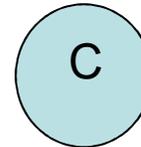
$$Q_A = Q$$



$$Q_B = 0$$



$$Q_C = 0$$



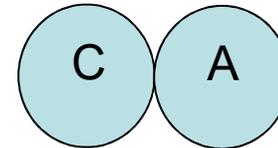
$$Q_A + Q_B = Q'_A + Q'_B$$

$$Q + 0 = Q' + Q'$$

$$Q = 2Q'$$

$$Q' = Q/2$$

$$\therefore Q'_A = Q'_B = Q/2$$



$$Q'_A + Q_C = Q''_A + Q'_C$$

$$Q/2 + 0 = Q'' + Q''$$

$$Q/2 = 2Q''$$

$$Q'' = Q/4$$

$$\therefore Q''_A = Q'_C = Q/4$$

Exercícios

2) Quatro esferas metálicas condutoras, A, B, C e D, idênticas, estão isoladas entre si. Sabe-se que somente a esfera A está eletrizada com a carga Q , estando as demais neutras. Coloca-se a esfera A em contatos sucessivos com as esferas B, C e D. Determine as cargas finais de cada esfera.

R: $Q_A=Q/8$, $Q_B=Q/2$, $Q_C=Q/4$, $Q_D=Q/8$

3) Tem-se 3 esferas condutoras idênticas A, B e C. As esferas A (positiva) e B (negativa) estão eletrizadas com cargas de mesmo módulo Q , e a esfera C está inicialmente neutra.

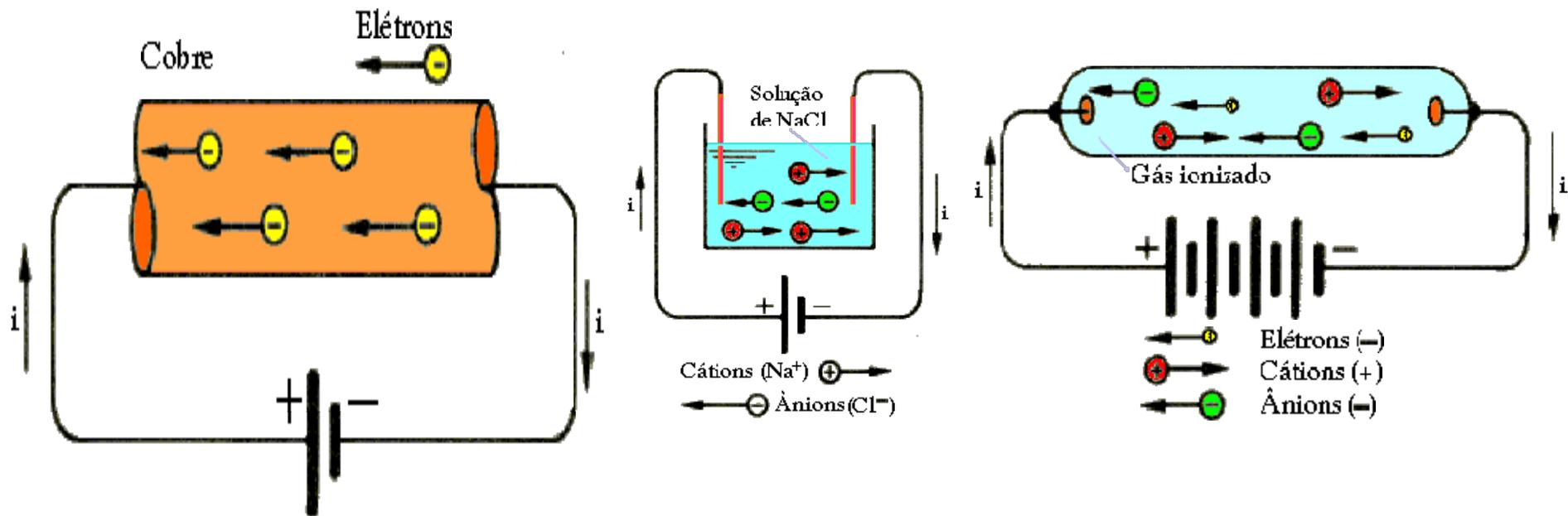
São realizadas as seguintes operações:

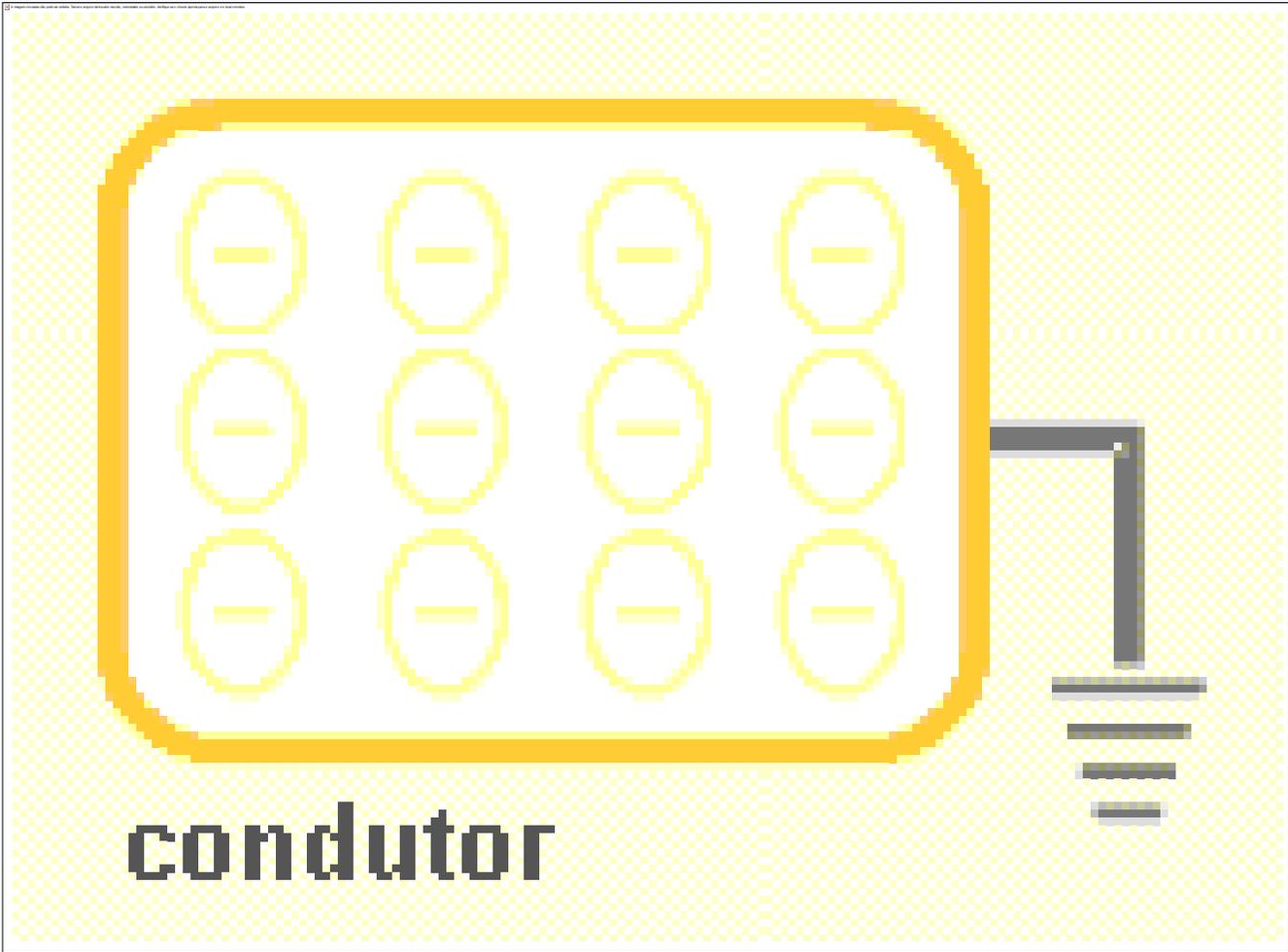
- 1º) Toca-se C em B, com A mantida à distância, e em seguida separa-se C de B;
 - 2º) Toca-se C em A, com B mantida à distância, e em seguida separa-se C de A;
 - 3º) Toca-se A em B, com C mantida à distância, e em seguida separa-se A de B
- Determine a carga final da esfera A.

R: $Q/6$

Condutores elétricos

São materiais que apresentam portadores de cargas elétricas (elétrons ou íons) quase livres, o que facilita a mobilidade dos mesmos em seu interior. São considerados bons condutores, materiais com alto número de portadores de cargas elétricas livres e que apresentam alta mobilidade desses portadores de cargas elétricas.

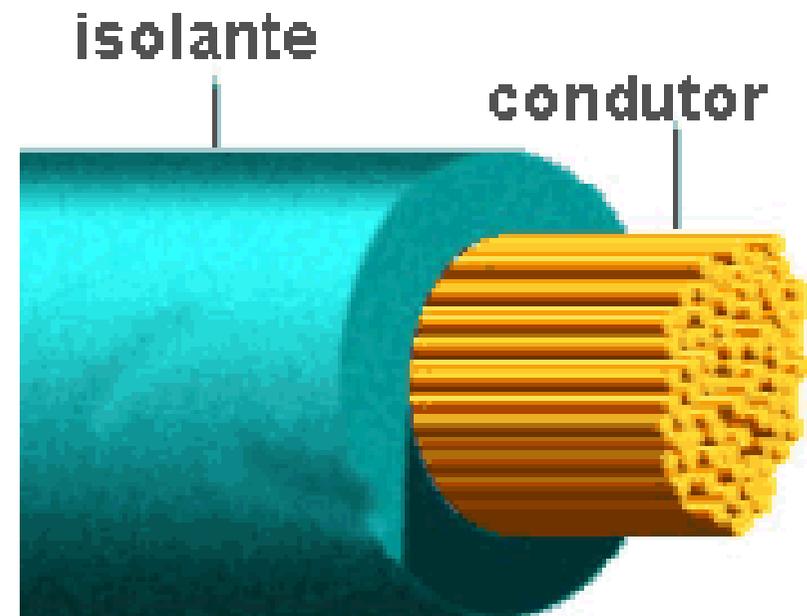




Isolantes ou dielétricos

Os materiais isolantes se caracterizam por não apresentar portadores de cargas elétricas livres para movimentação. Nesses materiais, a mobilidade dos portadores de cargas elétricas é praticamente nula, ficando os mesmos praticamente fixos no seu interior.

Exemplos: borracha, madeira, água pura, etc



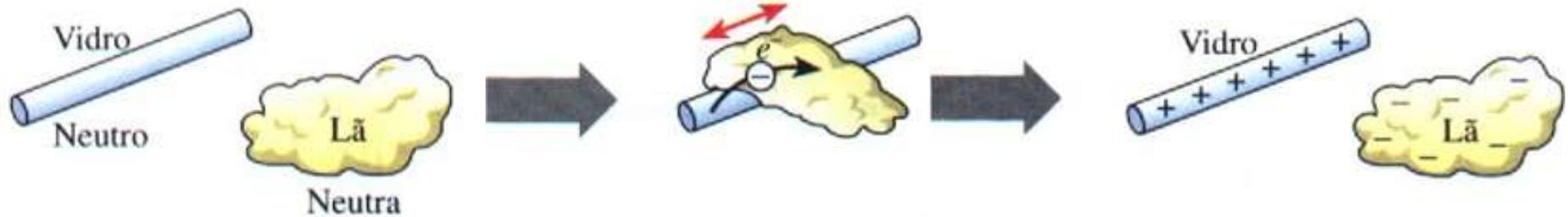
Processos de eletrização

Eletrização por atrito

Ocorre quando atritamos dois corpos de substâncias diferentes (ou não), inicialmente neutros, e haverá transferência de elétrons de um corpo para o outro, de tal forma que um corpo fique eletrizado positivamente (cedeu elétrons), e outro corpo fique eletrizado negativamente (ganhou elétrons)

Processos de eletrização

- Ex: Lã e vidro

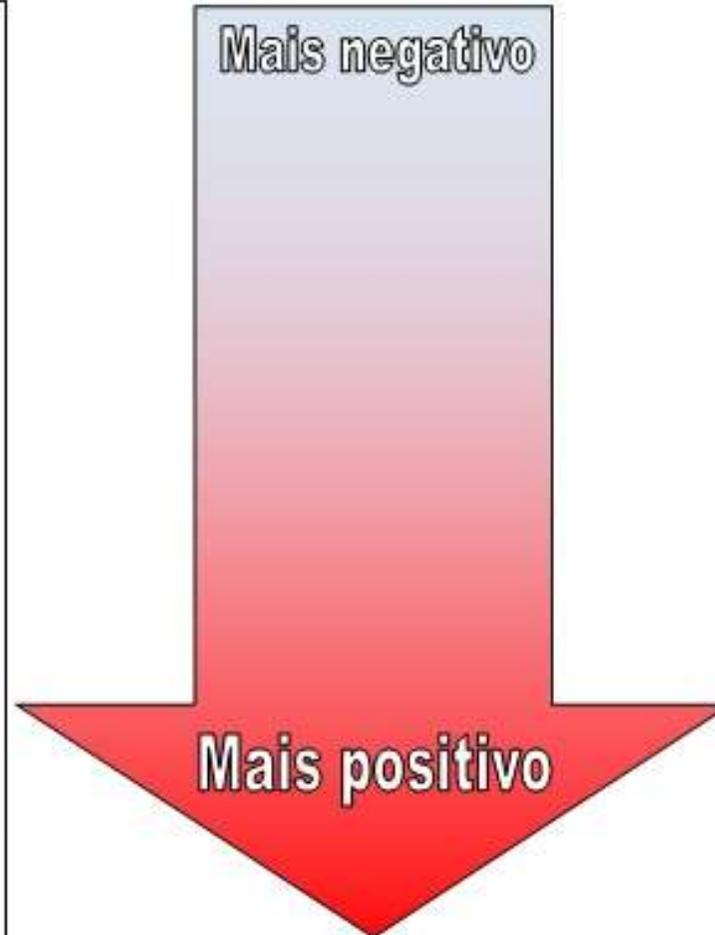


Após a fricção, o vidro está
positivamente carregado e a lã
negativamente carregada. Os elétrons
são transferidos do vidro para a lã.

Séries triboelétricas

SUBSTÂNCIA

Pele humana seca
Couro
Pele de coelho
Vidro
Cabelo humano
Fibra sintética (nylon)
Lã
Chumbo
Pele de gato
Seda
Alumínio
Papel
Algodão
Aço
Madeira
Âmbar
Borracha dura
Níquel, Cobre, Latão, Prata, Ouro, Platina, Poliéster
Isopor
Filme PVC ('magipack')
Poliuretano
Polietileno ('fita adesiva')
Polipropileno
Vinil (PVC)
Silicone
Teflon



Processos de eletrização

Eletrização por contato

Ocorre quando um corpo eletrizado é colocado em contato com um corpo neutro ou eletrizado.

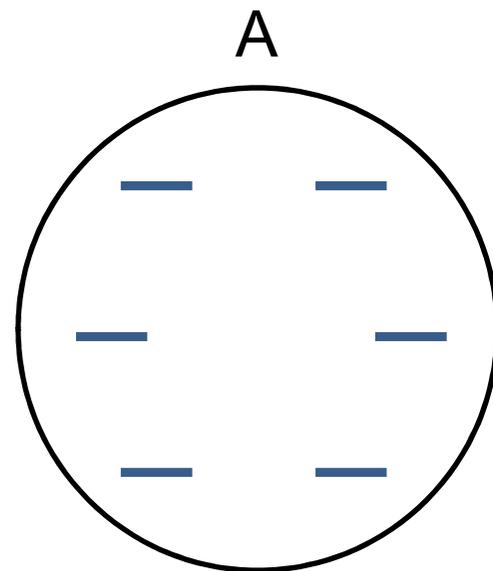
Quando os dois corpos possuem as mesmas dimensões, a carga é igualmente distribuída.

Processos de eletrização

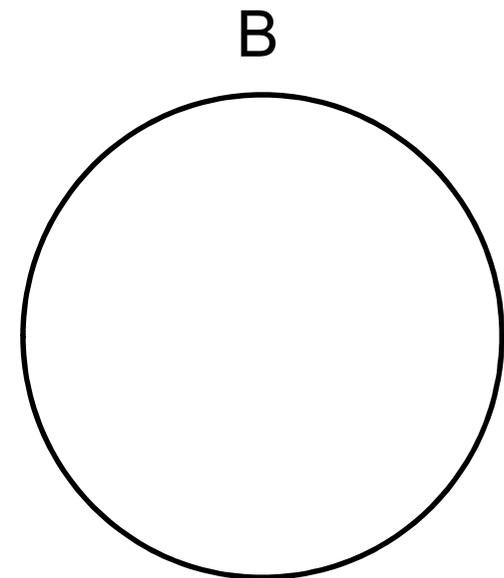
Eletrização por contato

Exemplo 1: Corpo eletrizado negativamente

O sinal negativo representa o excesso de elétrons no corpo A.



Corpo A (Eletrizado Negativamente)

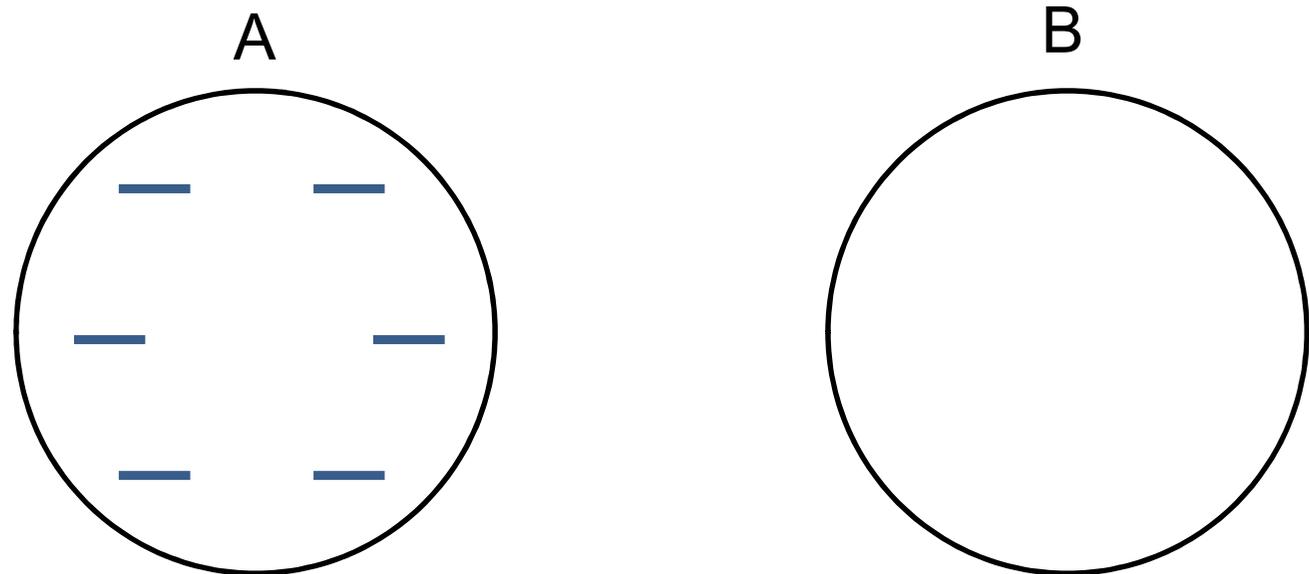


Corpo B (neutro)

Processos de eletrização

Eletrização por contato

Exemplo 1: Corpo eletrizado negativamente



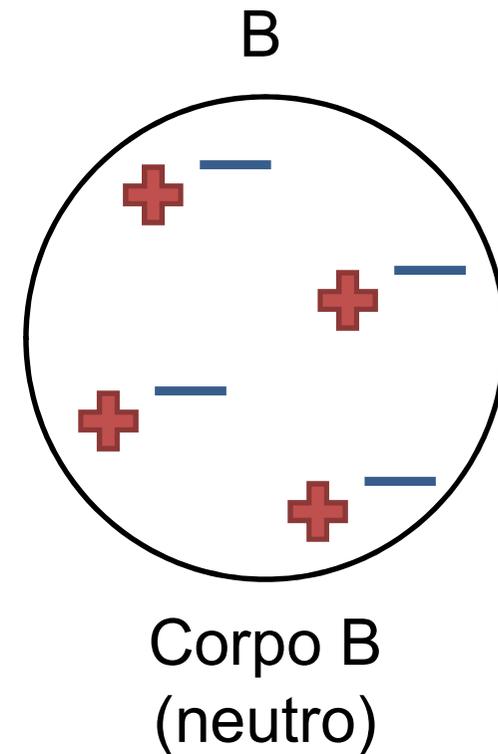
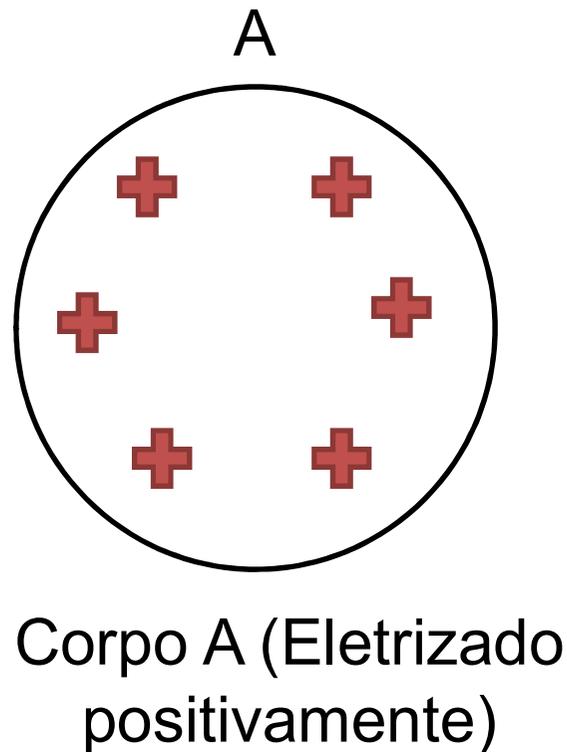
Os elétrons em excesso do corpo A são transferidos para o corpo B até que ambos possuam a mesma carga elétrica (corpos idênticos).

Processos de eletrização

Eletrização por contato

Exemplo 2: Corpo eletrizado positivamente

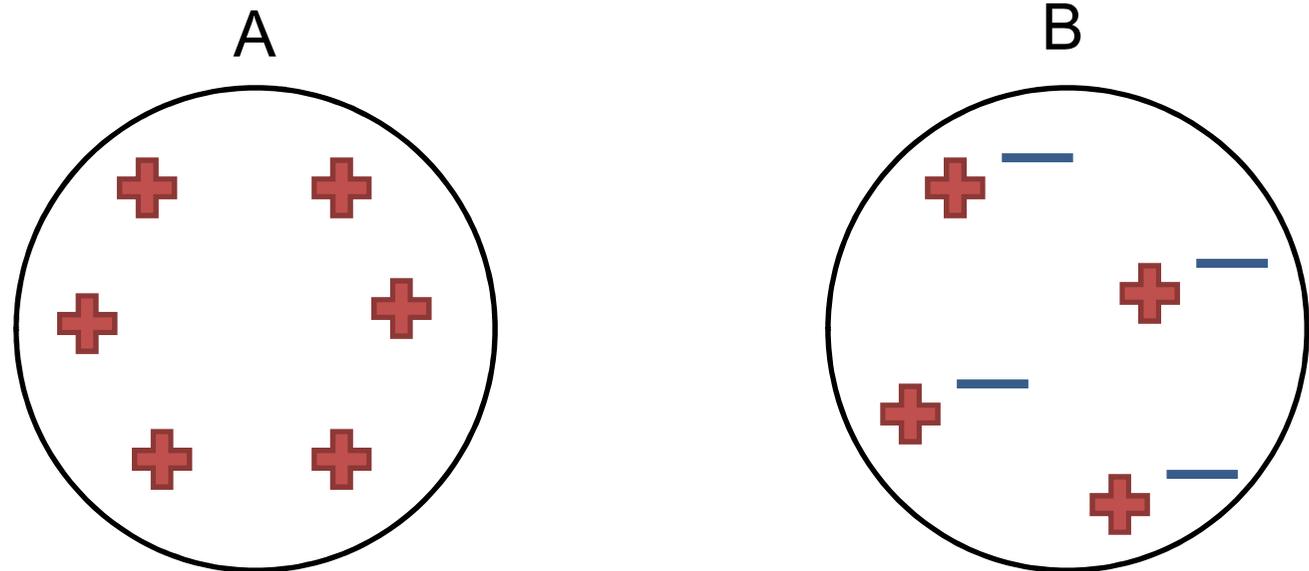
○ símbolo B
positivo
representa o
excesso de
prótons no
corpo A.



Processos de eletrização

Eletrização por contato

Exemplo 2: Corpo eletrizado positivamente

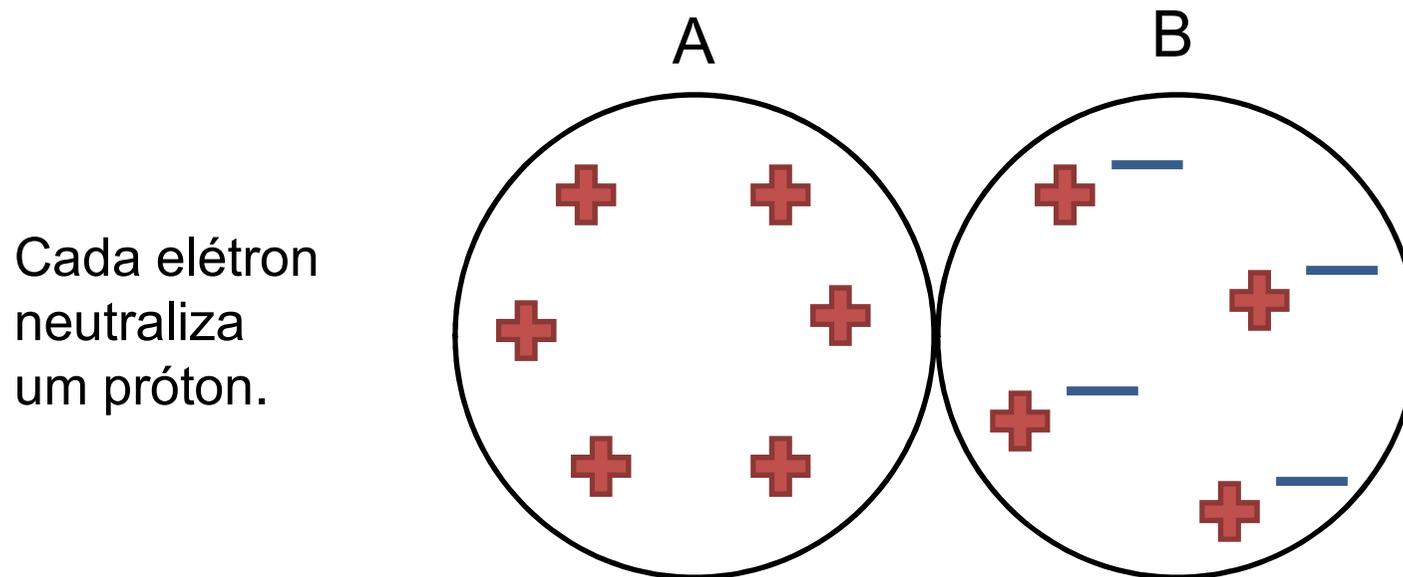


Quando o contato é estabelecido entre os dois corpos, os elétrons de B são transferidos para A. Cada elétron transferido de B neutraliza um próton em excesso de A

Processos de eletrização

Eletrização por contato

Exemplo 2: Corpo eletrizado positivamente



Quando o contato é estabelecido entre os dois corpos, os elétrons de B são transferidos para A. Cada elétron transferido de B neutraliza um próton em excesso de A.

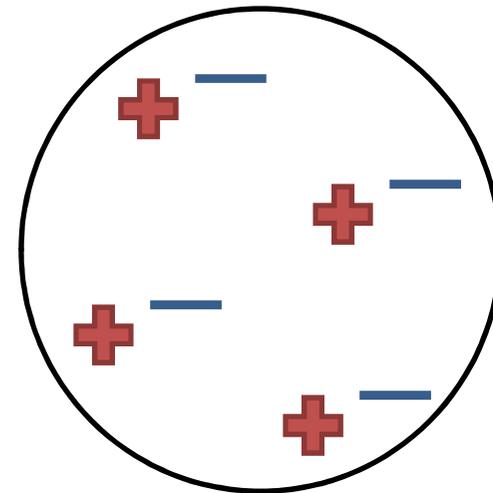
Processos de eletrização

Eletrização por Indução

Quando um objeto negativamente carregado é colocado próximo a uma superfície condutora, os elétrons se movimentam pela superfície do material, mesmo não havendo contato físico.

Este é o princípio utilizado na eletrização por indução

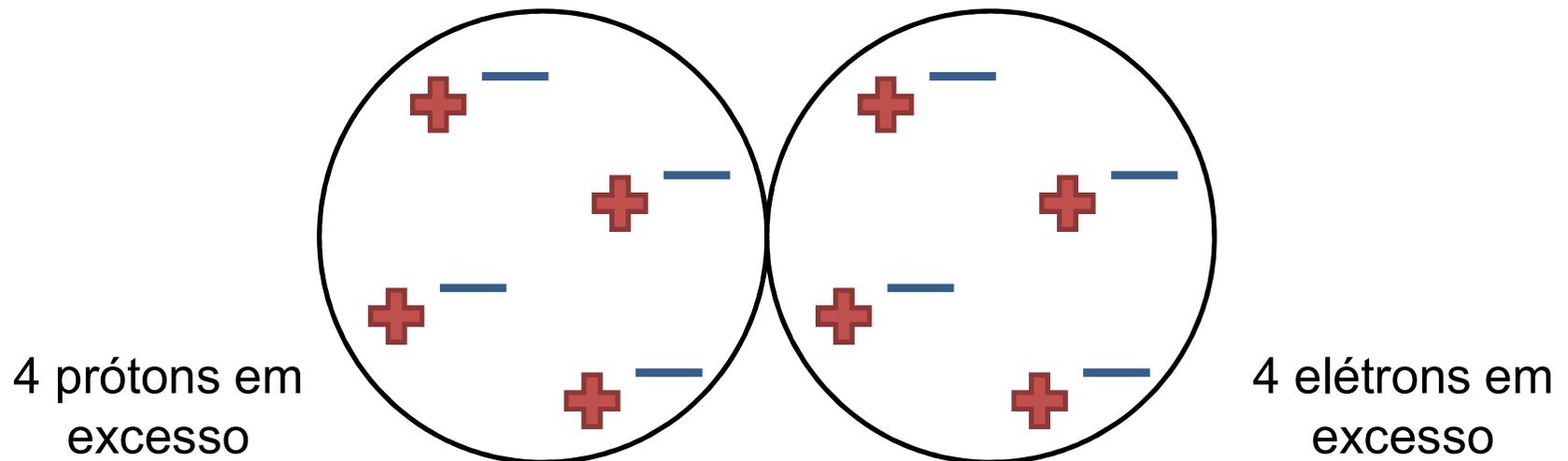
Bastão carregado negativamente



Processos de eletrização

Eletrização por Indução

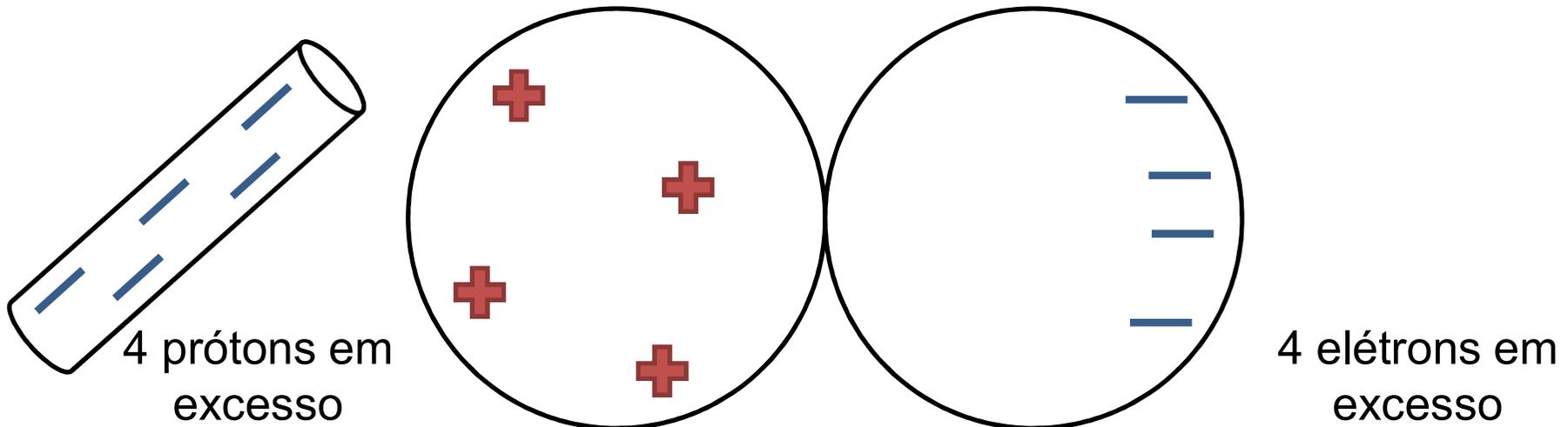
Quando duas esferas esféricas idênticas e neutras se tocam, a carga elétrica positiva, nos elétrons livres, é atraída para a esfera positiva, e os elétrons livres são movidos para a esfera negativa por impulsão elétrica.



Processos de eletrização

Eletrização por Indução

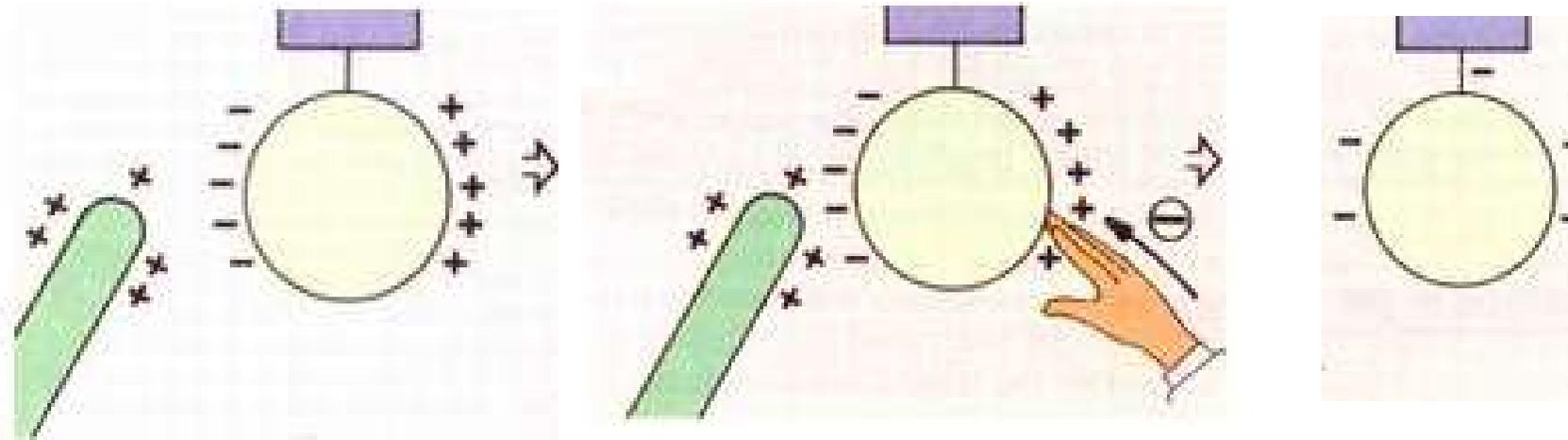
Se as esferas forem separadas com o bastão é ainda presente, elas ficarão igualmente carregadas, mas com cargas de sinais opostos. Quando um bastão negativamente eletrizado é trazido para perto das esferas, os elétrons livres se movimentam devido a repulsão elétrica.



Processos de eletrização

Eletrização por Indução – aterramento

É possível eletrizar uma única esfera por indução se a tocarmos enquanto as cargas encontram-se separadas.

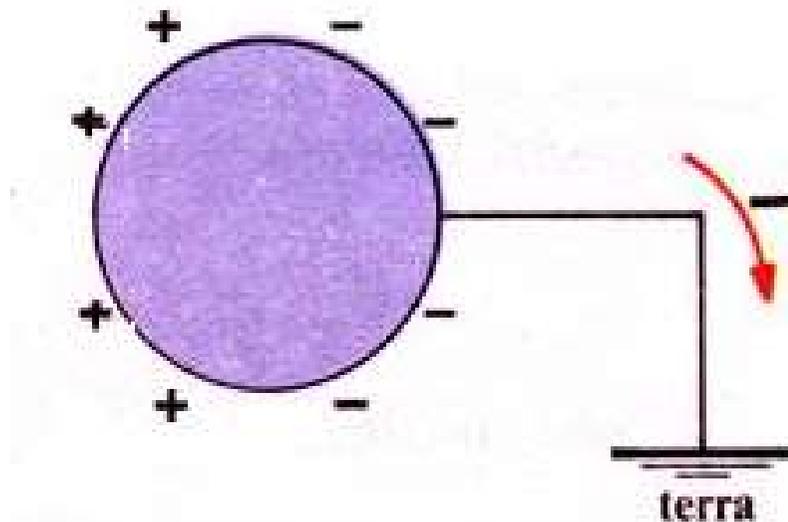


Ao bastão carregado positivamente
passar pela esfera, elétrons são
transfêridos para a esfera.
na esfera

Processos de eletrização

Eletrização por Indução – aterramento

Este processo pode ser realizado com um fio ligado à terra (aterramento).



Os elétrons serão transferidos da esfera para a terra e o fio ligado ao lado positivo. Logo, a esfera ficará carregada positivamente.

Por aquecimento

Certos corpos, quando aquecidos, eletrizam-se, apresentando eletricidades de nomes contrários em dois pontos diametralmente opostos. O fenômeno é chamado fenômeno **piroelétrico**. É mais comum em cristais, como por exemplo na turmalina.



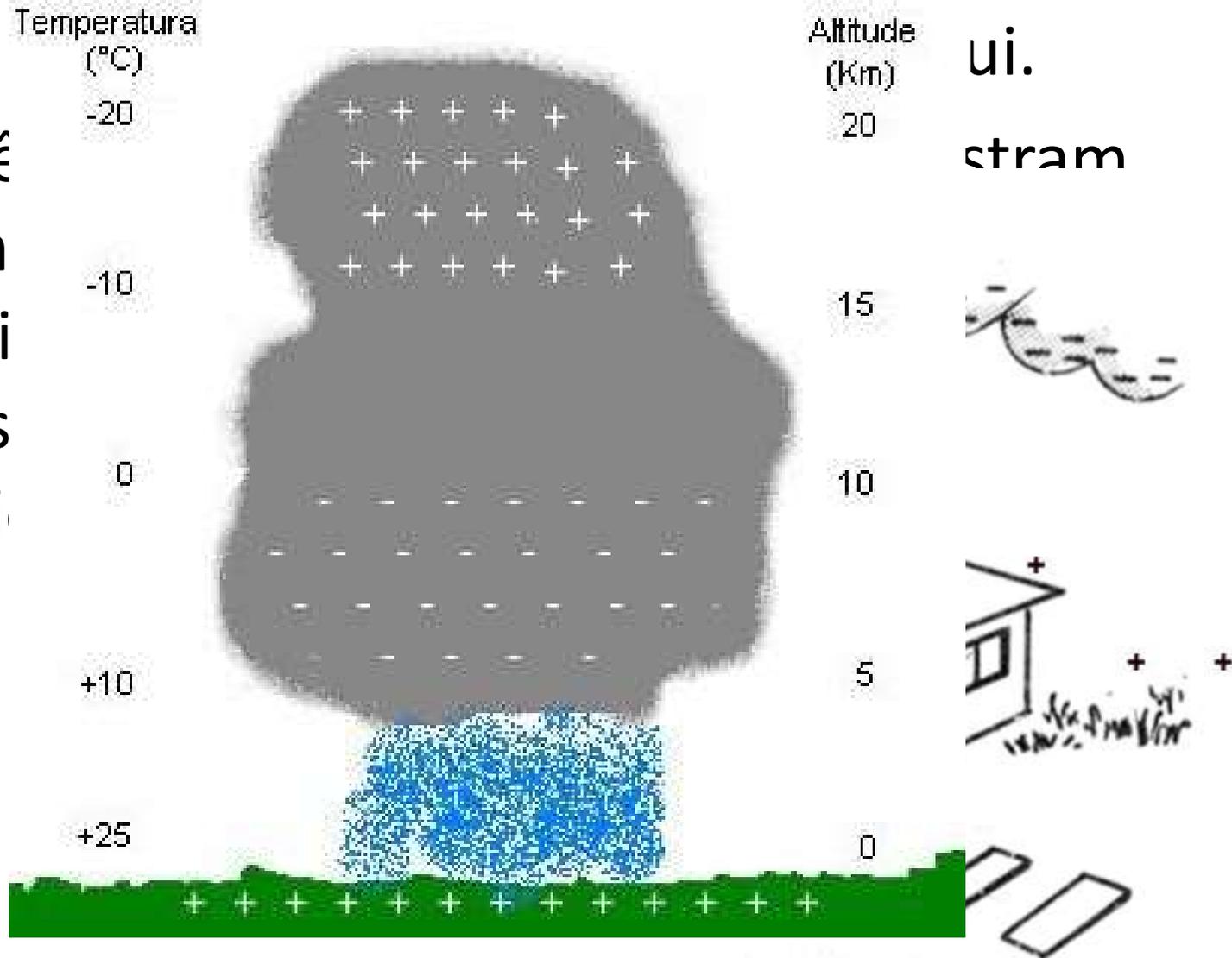
Por pressão

Certos corpos, quando comprimidos, eletrizam-se, apresentando eletricidades de nomes contrários nas extremidades. O fenômeno é chamado fenômeno **piezoelétrico**. Também é mais comum em cristais, como por exemplo, turmalina, calcita e quartzo.



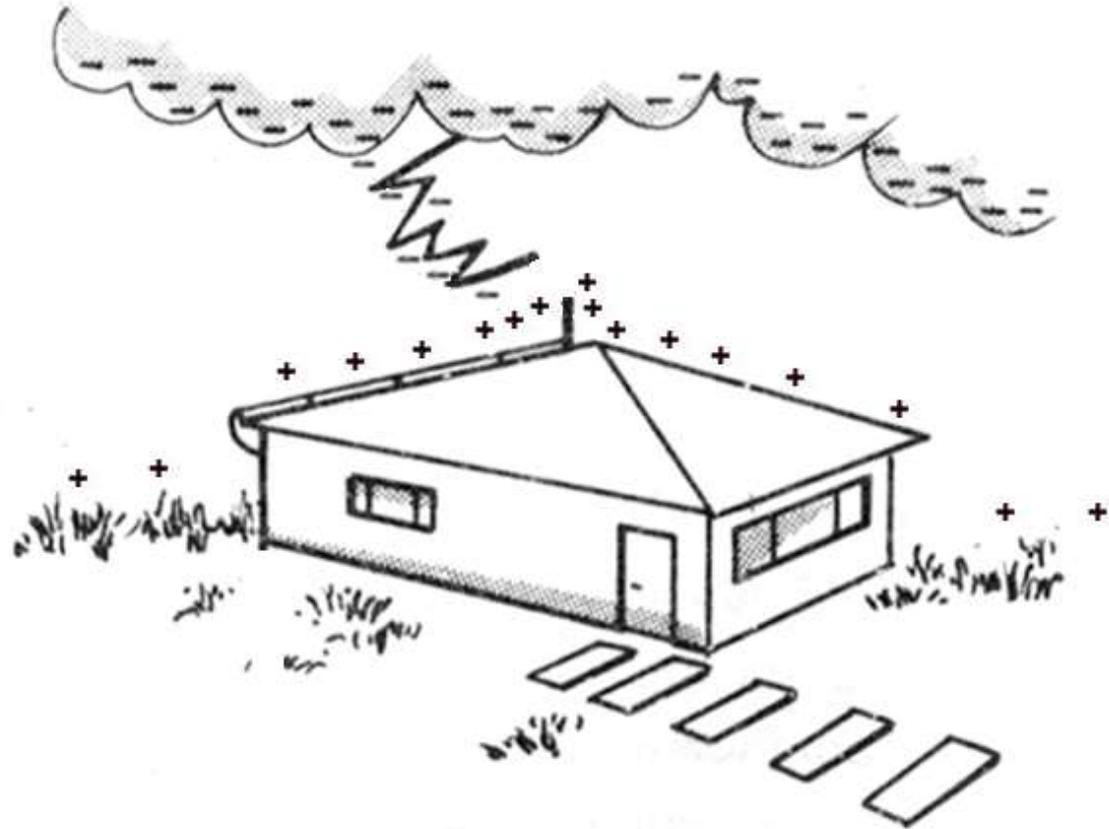
Os raios

- Uma nuvem pode ser eletrizada a partir das colisões
- Experimento que as nuvens carregadas produzem raios elétricos na inferioridade

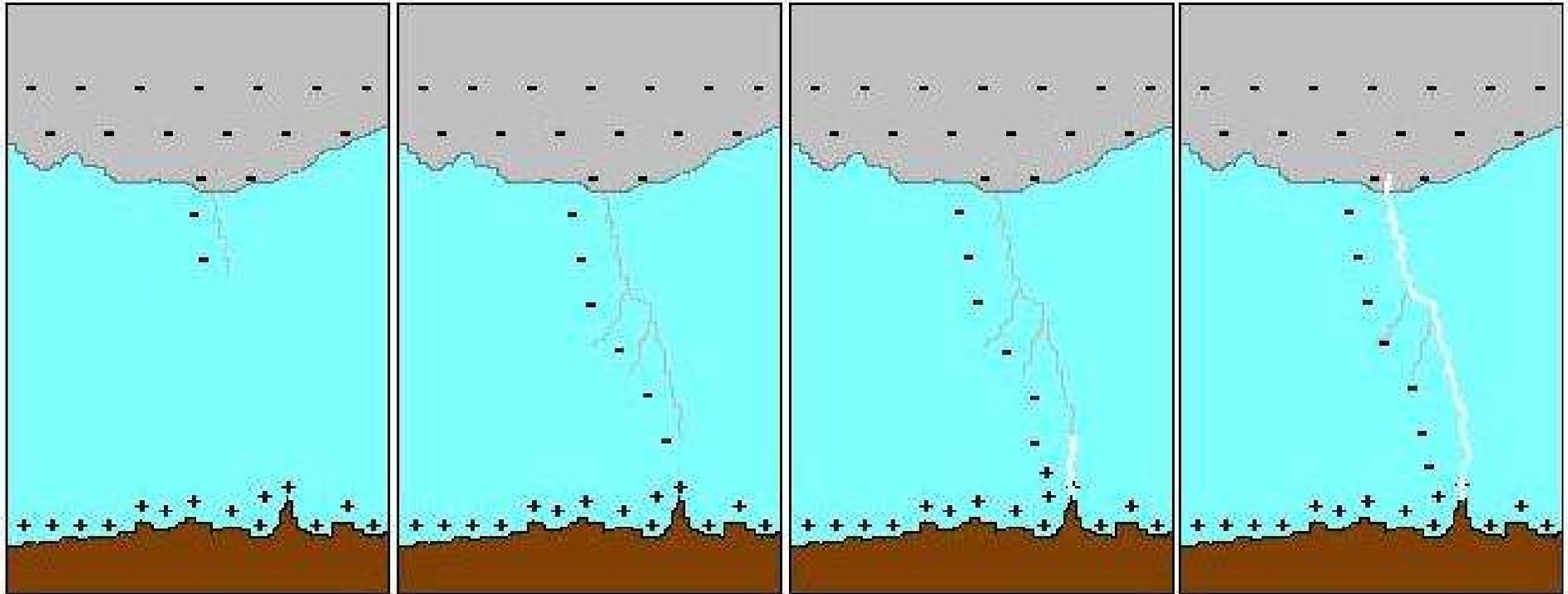


Os raios

O raio – ou descarga elétrica – é constituído de elétrons que, neste caso, são transferidos da nuvem para a superfície terrestre.



Os raios



Descarga elétrica da nuvem para o solo

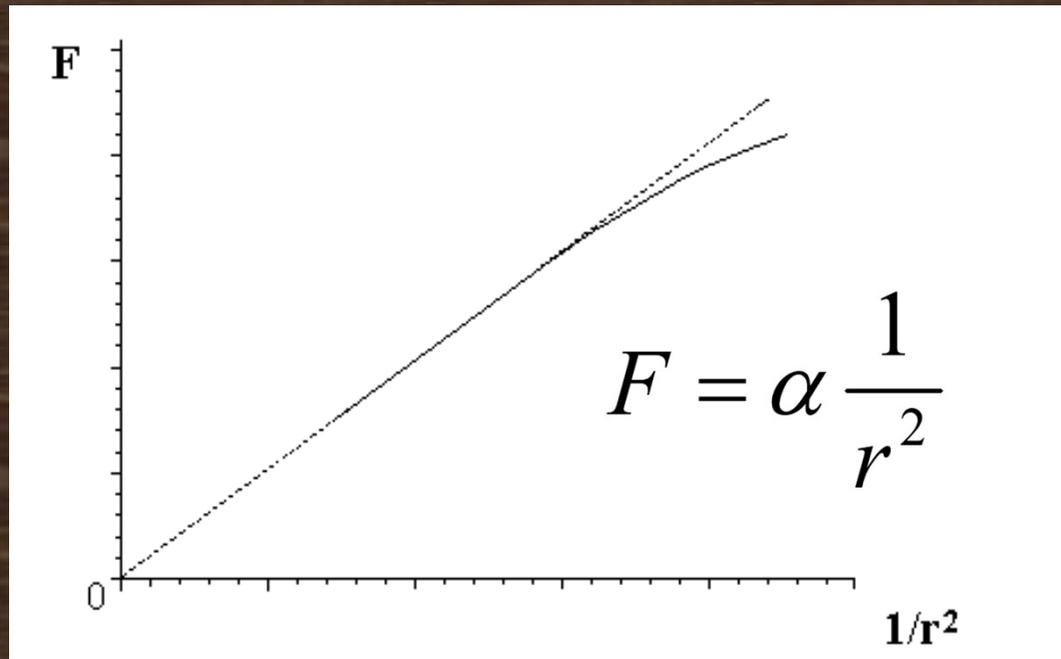
- **Lenda:** Se não está chovendo não caem raios.
- **Verdade:** Os raios podem chegar ao solo a até 15 km de distância do local da chuva.
- **Lenda:** Sapatos com sola de borracha ou os pneus do automóvel evitam que uma pessoa seja atingida por um raio.
- **Verdade:** Solas de borracha ou pneus não protegem contra os raios. No entanto, a carroceria metálica do carro dá uma boa proteção a quem está em seu interior; sem tocar em partes metálicas. Mesmo que um raio atinja o carro é sempre mais seguro dentro do que fora dele.
- **Lenda:** As pessoas ficam carregadas de eletricidade quando são atingidas por um raio e não devem ser tocadas.
- **Verdade:** As vítimas de raios não "dão choque" e precisam de urgente socorro médico, especialmente reanimação cardio-respiratória.
- **Lenda:** Um raio nunca cai duas vezes no mesmo lugar.
- **Verdade:** Não importa qual seja o local ele pode ser atingido repetidas vezes, durante uma tempestade. Isto acontece até com pessoas.

Lei de Coulomb

- Eletrostática – Cargas em repouso. Nada varia com o tempo.
- Carga puntiforme – Conceito análogo ao de massa puntiforme. Comparação entre as dimensões dos objetos e das distâncias relativas entre eles. (Olhando para uma estrela daqui da terra, ela é vista como um ponto luminoso; mas a estrela é realmente um ponto?)
- Utilizando uma **balança de torção**, Coulomb mediu a força entre duas partículas carregadas e chegou à forma matemática que relaciona esta força eletrostática com a distância entre as duas partículas.

Lei de Coulomb

- Resultado obtido por Coulomb:



$$F_{12} = kq_1q_2 \frac{1}{r_{12}^2}$$

Atenção! Aqui estou representando a força elétrica em módulo! Ainda não estou utilizando notação vetorial.

Lei de Coulomb

- Resultado obtido por Coulomb:

Sendo,

$$\vec{F}_{12} = kq_1q_2 \frac{1}{r_{12}^2} \hat{r}_{12}$$

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \times 10^9 \text{ Nm}^2 / \text{C}^2$$

No S.I.

$$[k] = \frac{\text{Nm}^2}{\text{C}^2}$$

Permissividade eletrostática
do vácuo



Lei de Coulomb

$$\vec{F}_{12} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r_{12}^2} \hat{r}_{12}$$

$$\hat{r}_{12} = \frac{\vec{r}_{12}}{|\vec{r}_{12}|}$$

Versor : utilizado para representar a direção e o sentido da força elétrica

Princípio da superposição (cargas pontuais)

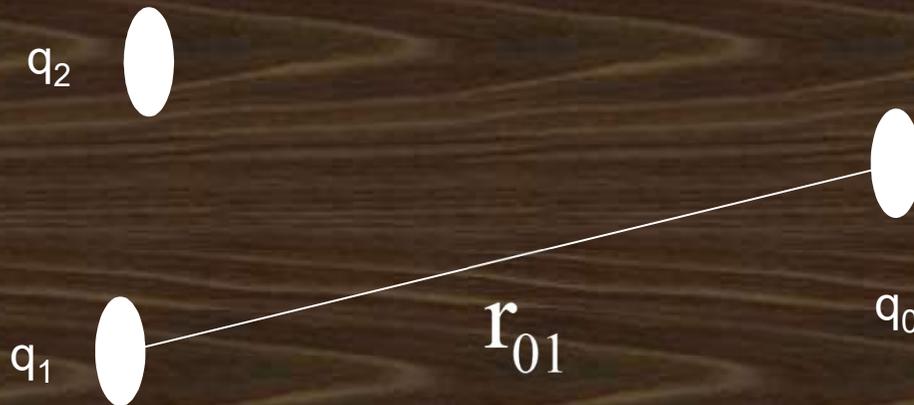
q_2 

q_1 

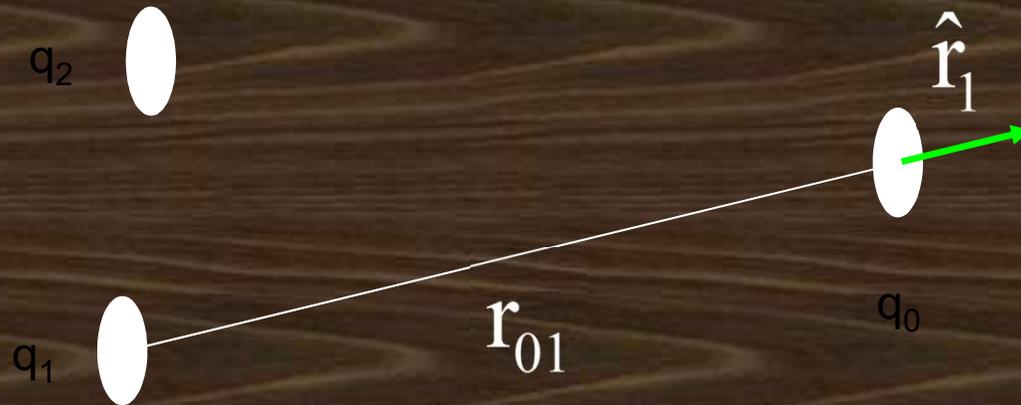


q_0

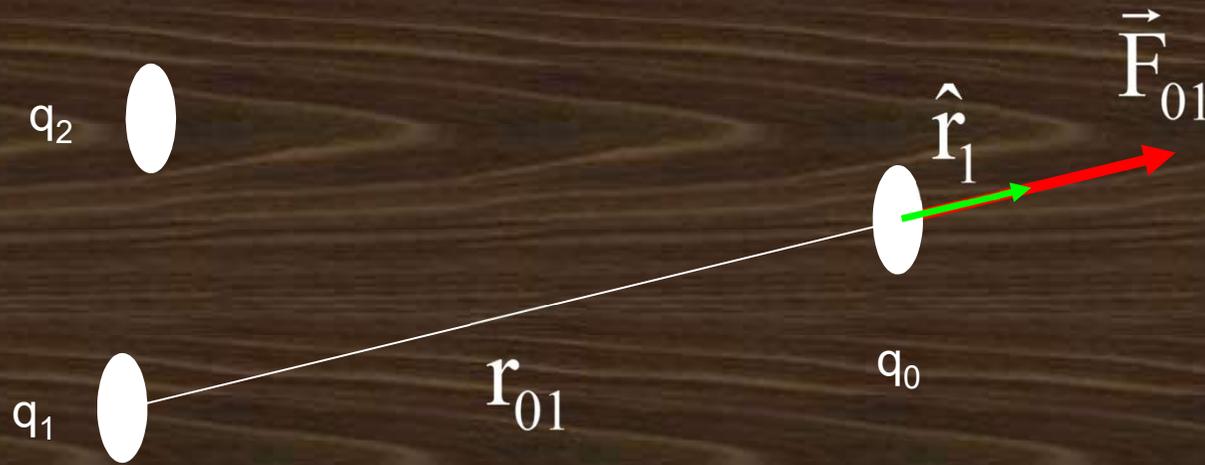
Força que q_0 sente pela presença de q_1



Força que q_0 sente pela presença de q_1

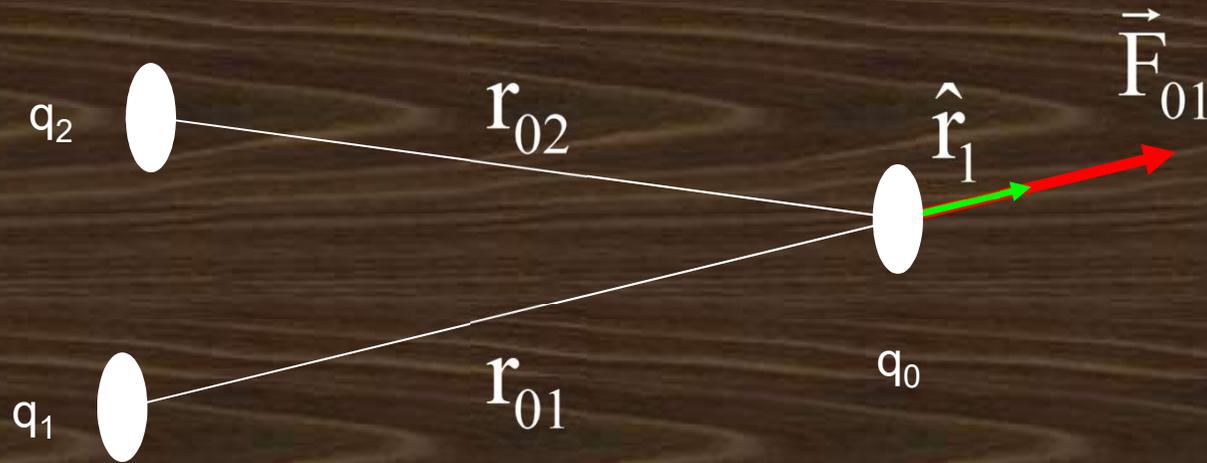


Força que q_0 sente pela presença de q_1



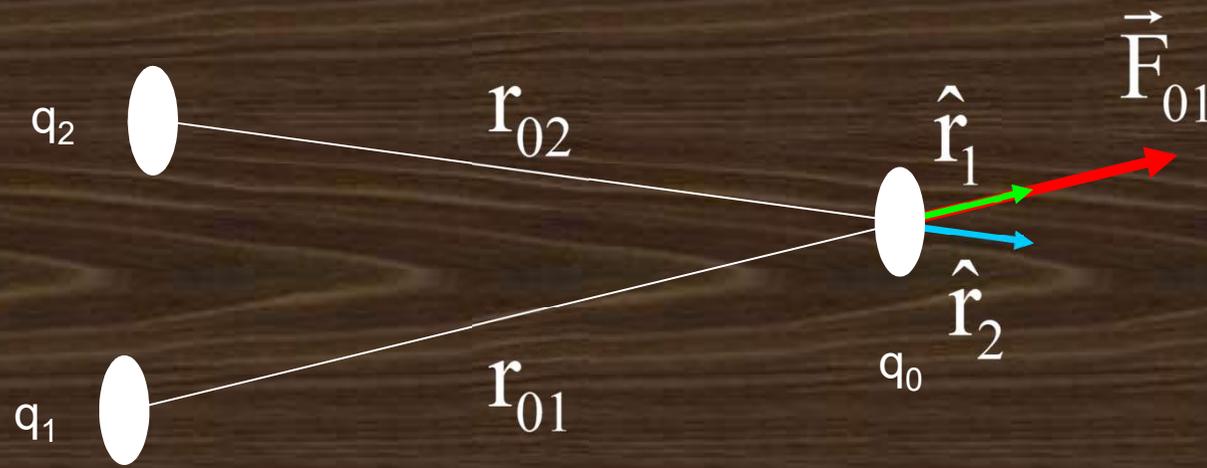
$$\vec{F}_{01} = \frac{kq_1q_0}{r_{01}^2} \hat{r}_1$$

Força que q_0 sente pela presença de q_2



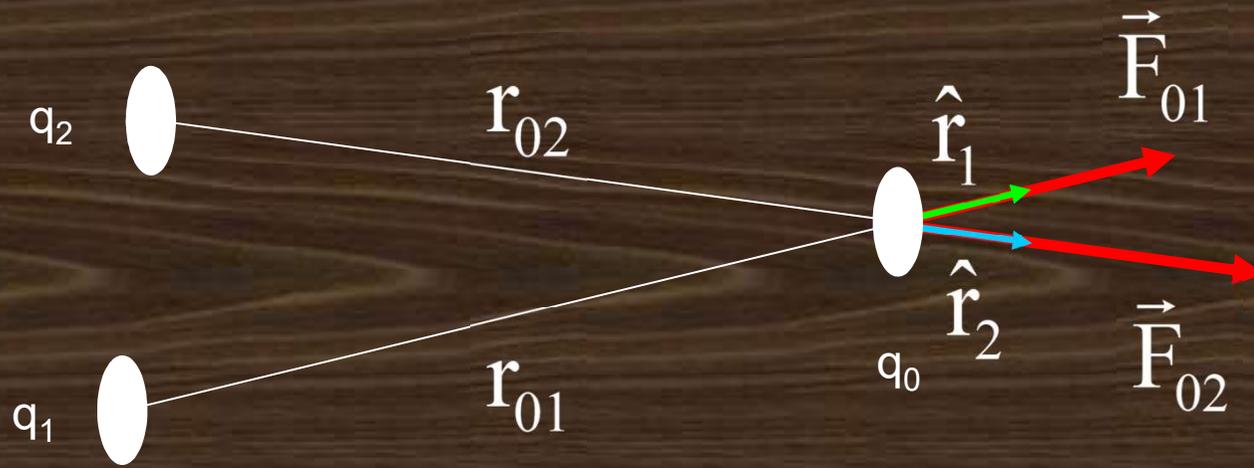
$$\vec{F}_{01} = \frac{kq_1q_0}{r_{01}^2} \hat{r}_1$$

Força que q_0 sente pela presença de q_2



$$\vec{F}_{01} = \frac{kq_1q_0}{r_{01}^2} \hat{r}_1$$

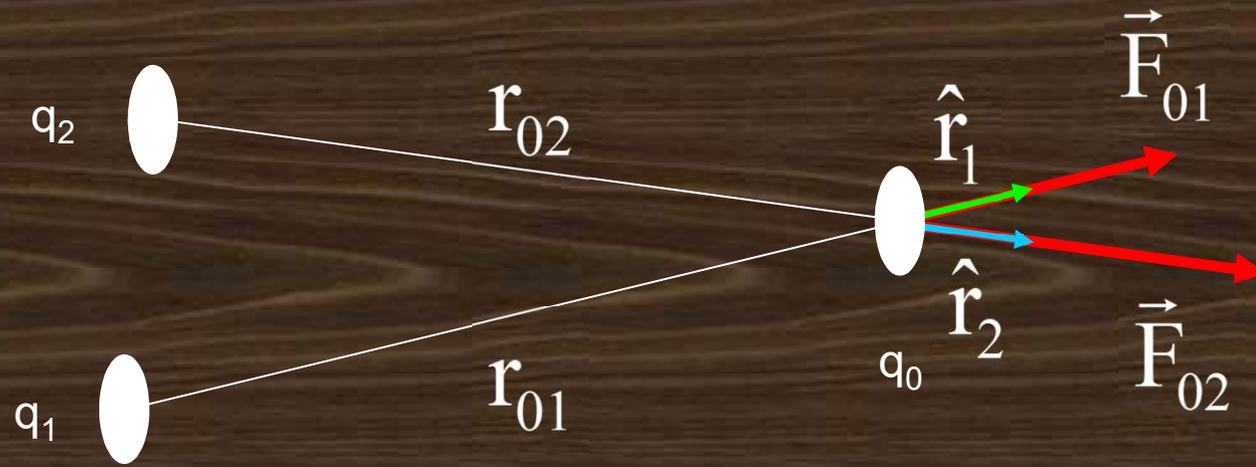
Força que q_0 sente pela presença de q_2



$$\vec{\mathbf{F}}_{01} = \frac{kq_1q_0}{r_{01}^2} \hat{\mathbf{r}}_1$$

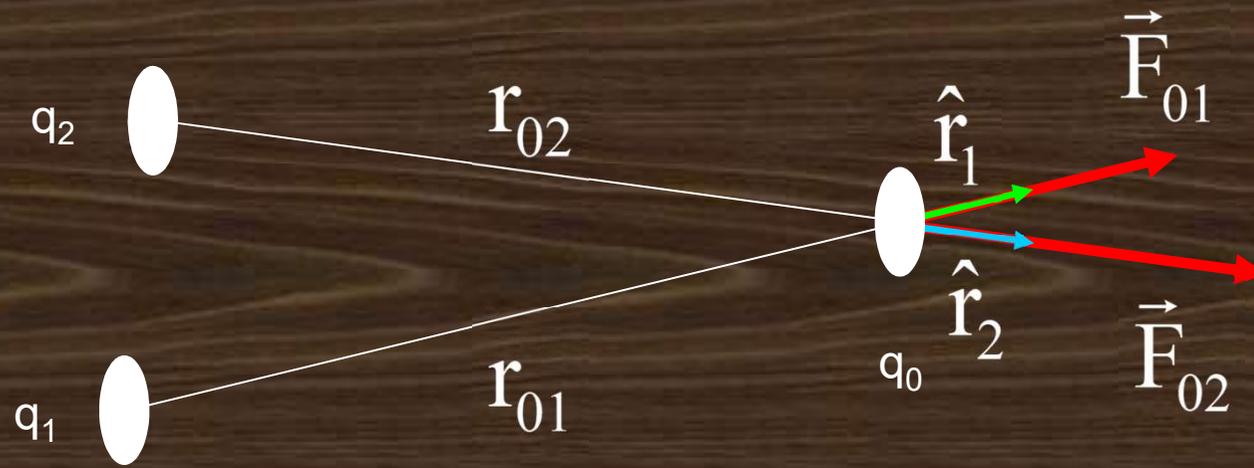
$$\vec{\mathbf{F}}_{02} = \frac{kq_2q_0}{r_{02}^2} \hat{\mathbf{r}}_2$$

Qual a força total sentida por q_0 ?



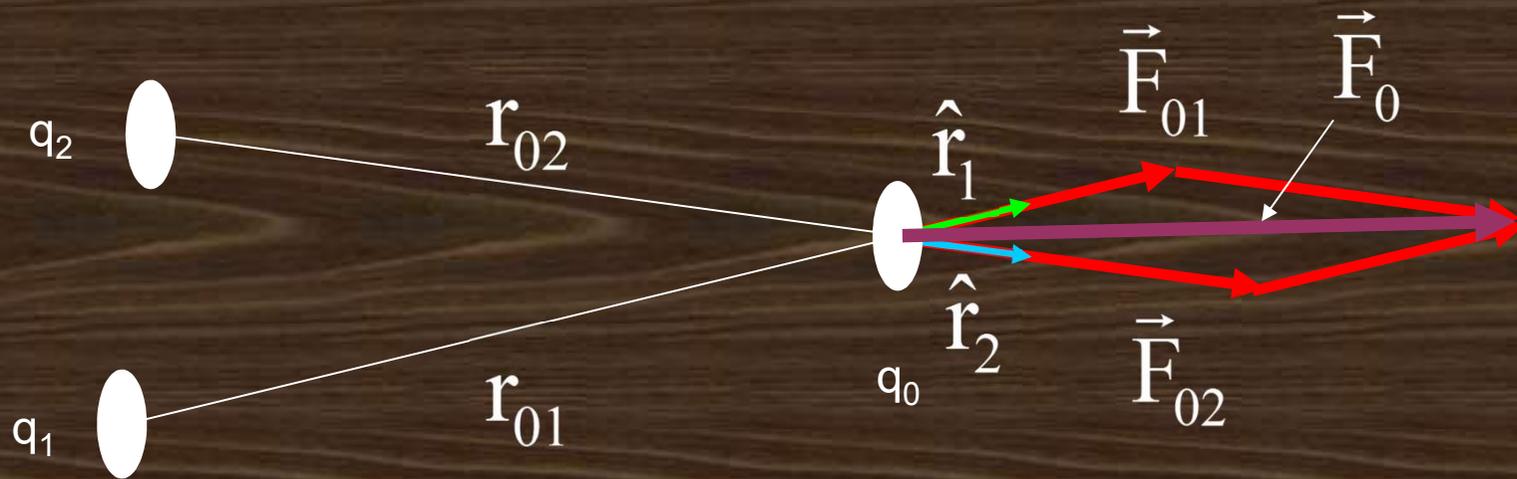
$$\vec{F}_T \equiv \vec{F}_0 = ?$$

Princípio da superposição



$$\vec{F}_o = \vec{F}_{01} + \vec{F}_{02} = \frac{kq_1q_o}{r_1^2} \hat{r}_1 + \frac{kq_2q_o}{r_2^2} \hat{r}_2$$

Princípio da superposição



$$\vec{F}_0 = \vec{F}_{01} + \vec{F}_{02} = \frac{kq_1q_0}{r_1^2} \hat{r}_1 + \frac{kq_2q_0}{r_2^2} \hat{r}_2$$

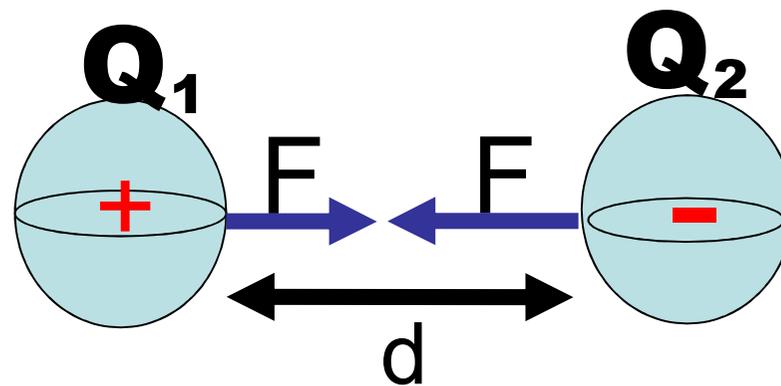
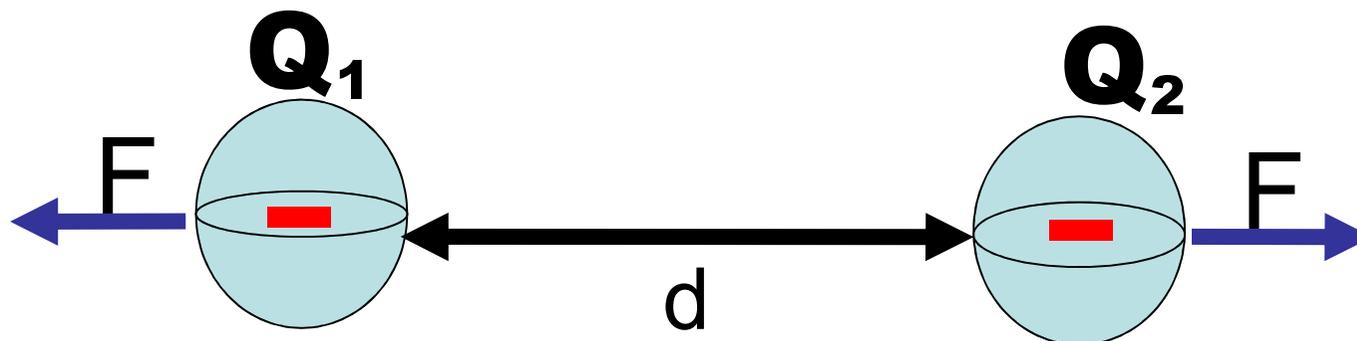
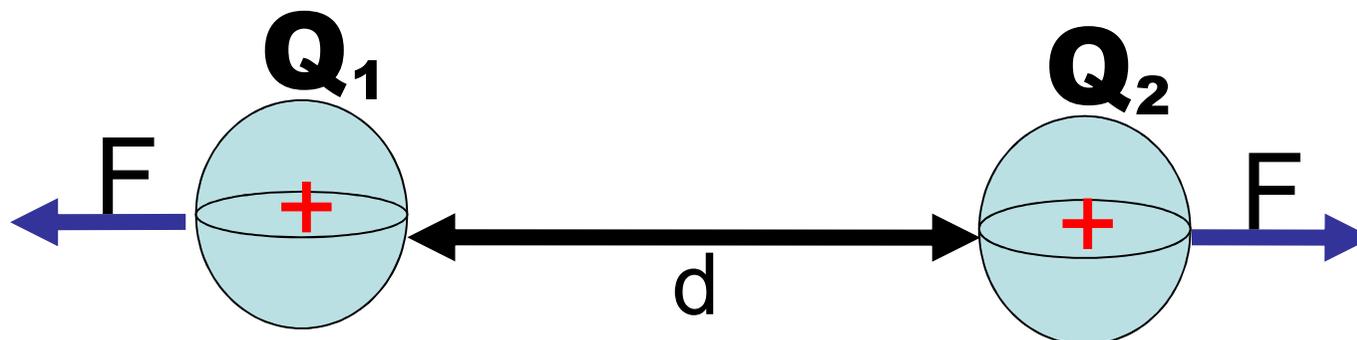
Princípio da superposição

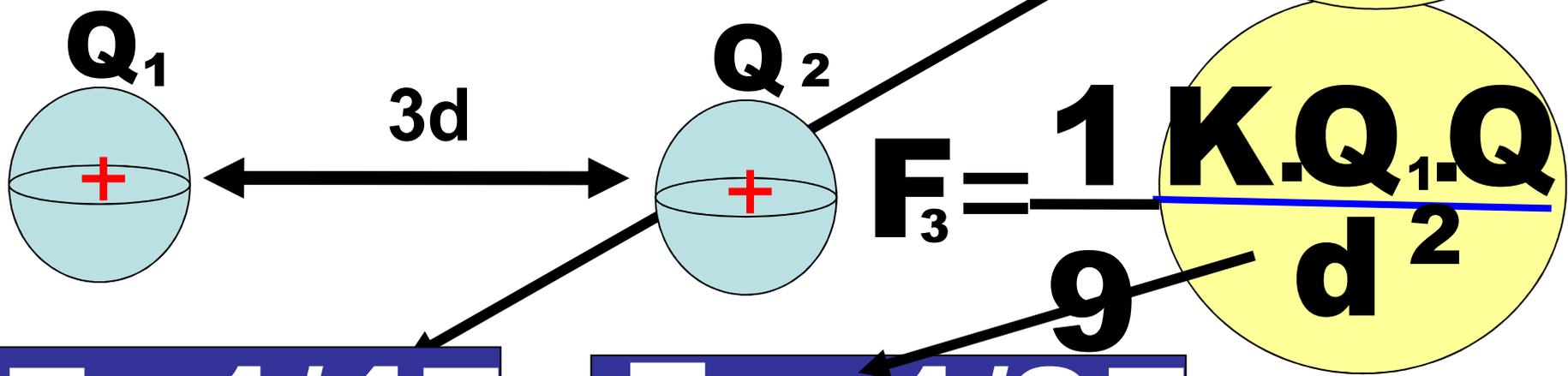
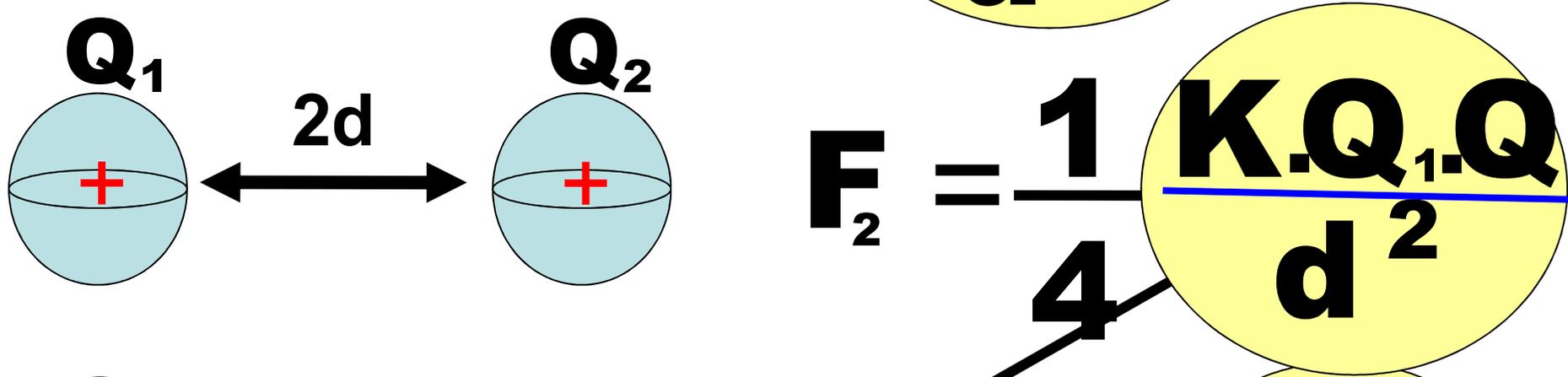
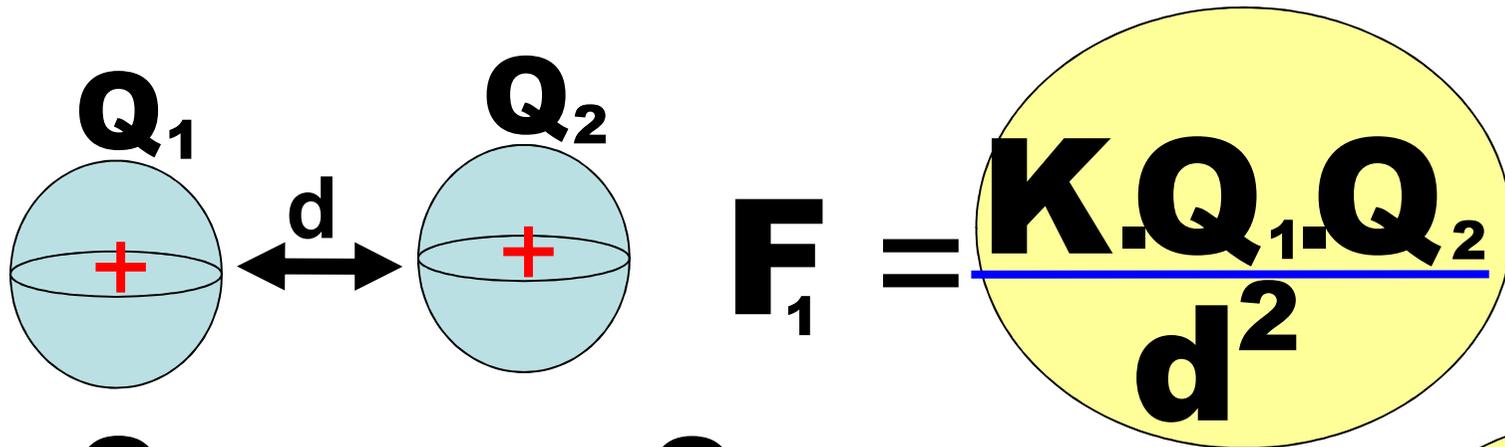
$$\vec{F}_o = \vec{F}_{o1} + \vec{F}_{o2} = \frac{kq_1q_o}{r_1^2} \hat{r}_1 + \frac{kq_2q_o}{r_2^2} \hat{r}_2$$

Em uma notação mais formal:



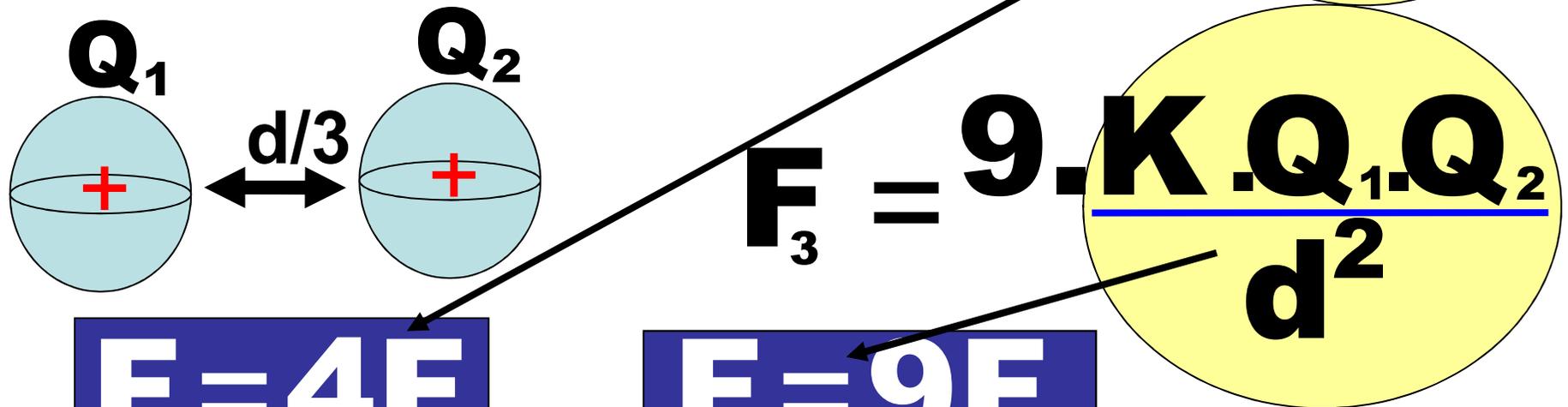
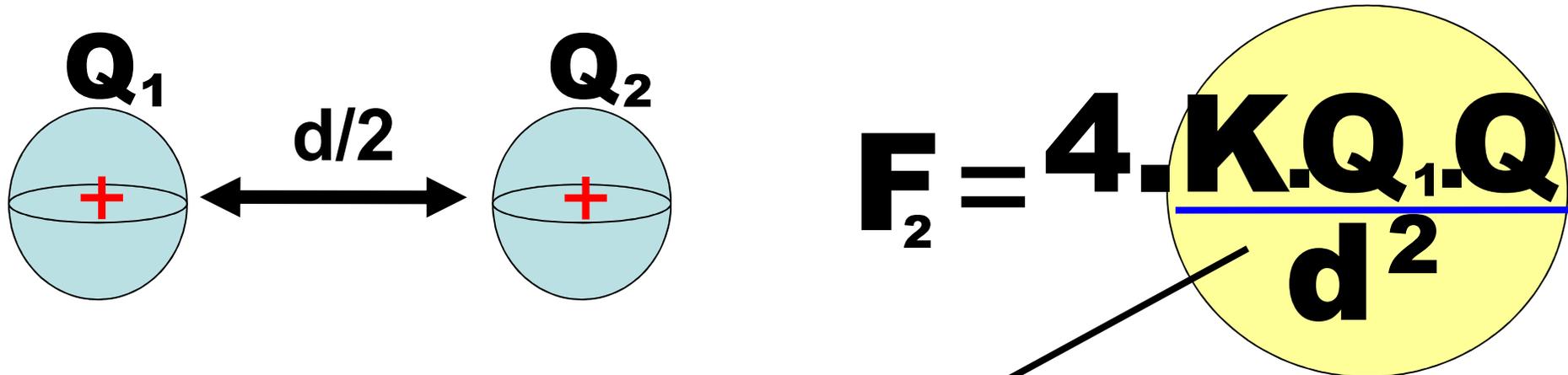
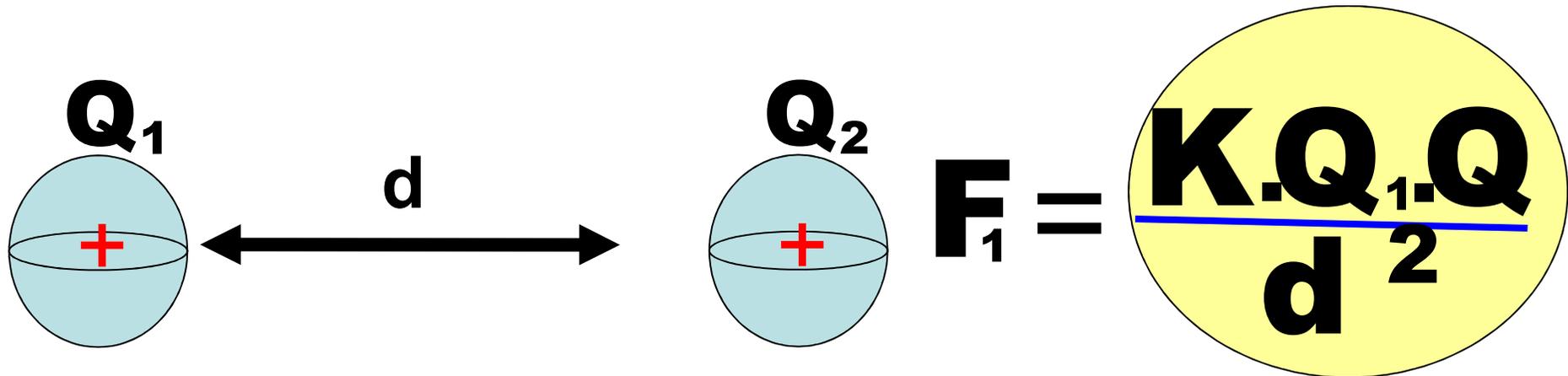
PARTICULARIDADES DA LEI DE COULOMB





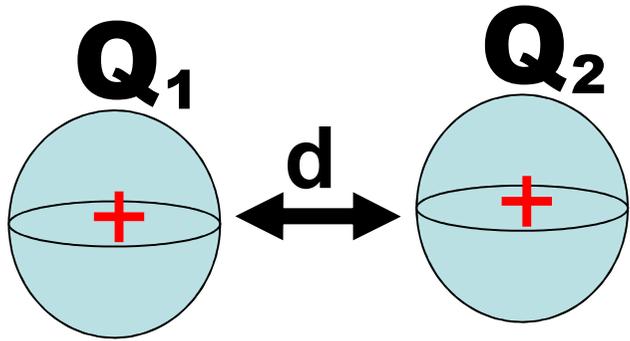
$F_2 = 1/4 F_1$

$F_3 = 1/9 F_1$

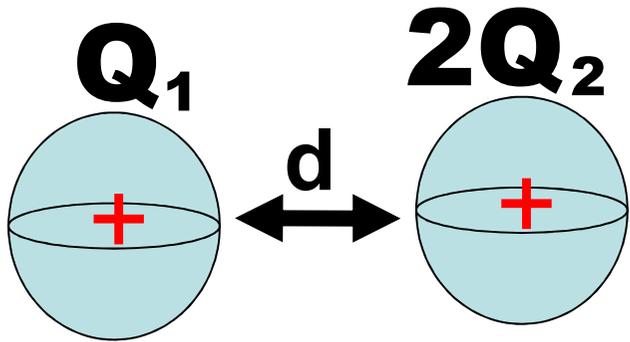


$$F_2 = 4F_1$$

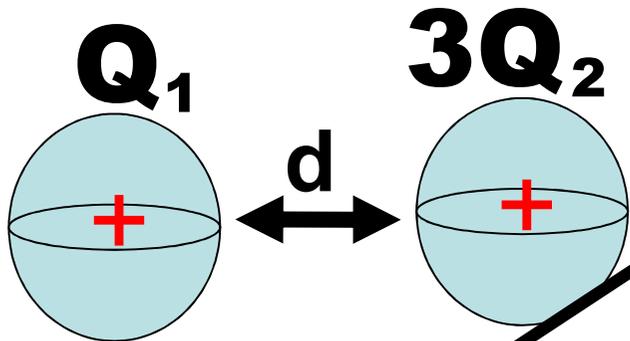
$$F_3 = 9F_1$$



$$F_1 = \frac{K \cdot Q_1 \cdot Q_2}{d^2}$$



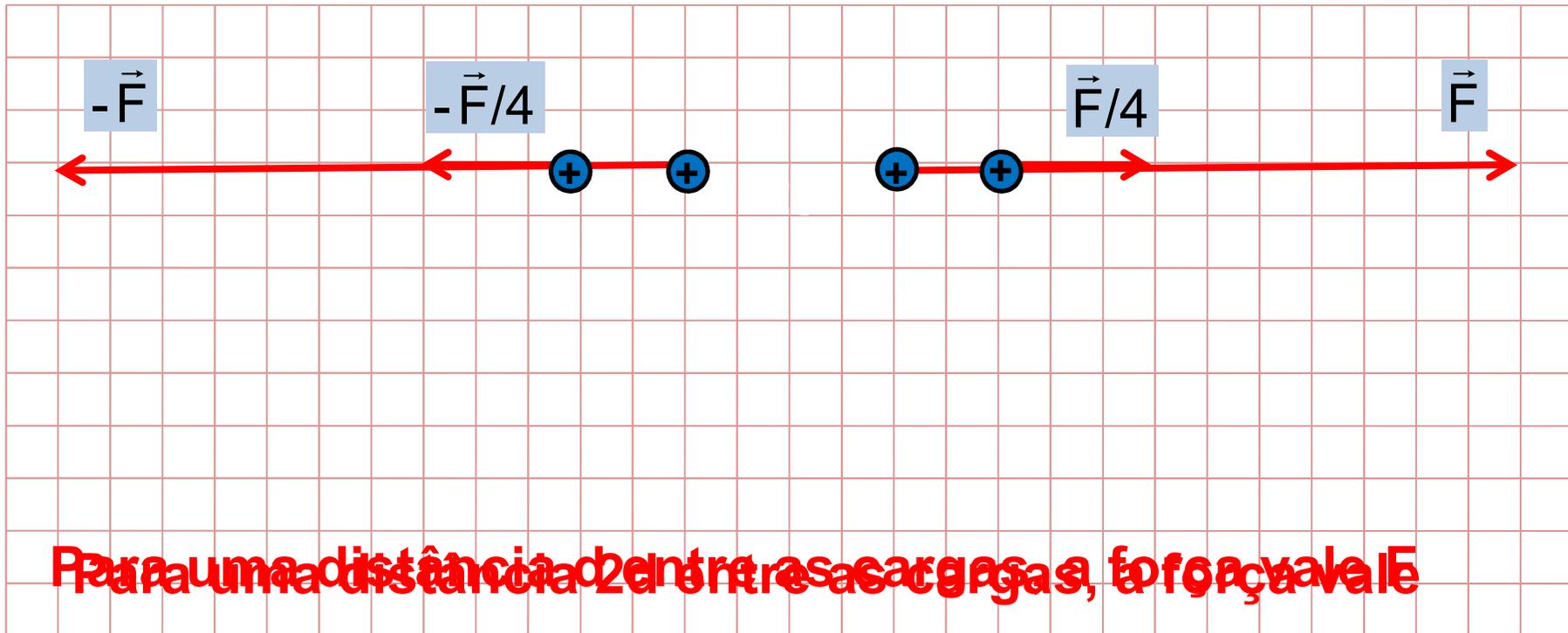
$$F_2 = \frac{2K \cdot Q_1 \cdot Q_2}{d^2}$$



$$F_3 = \frac{3K \cdot Q_1 \cdot Q_2}{d^2}$$

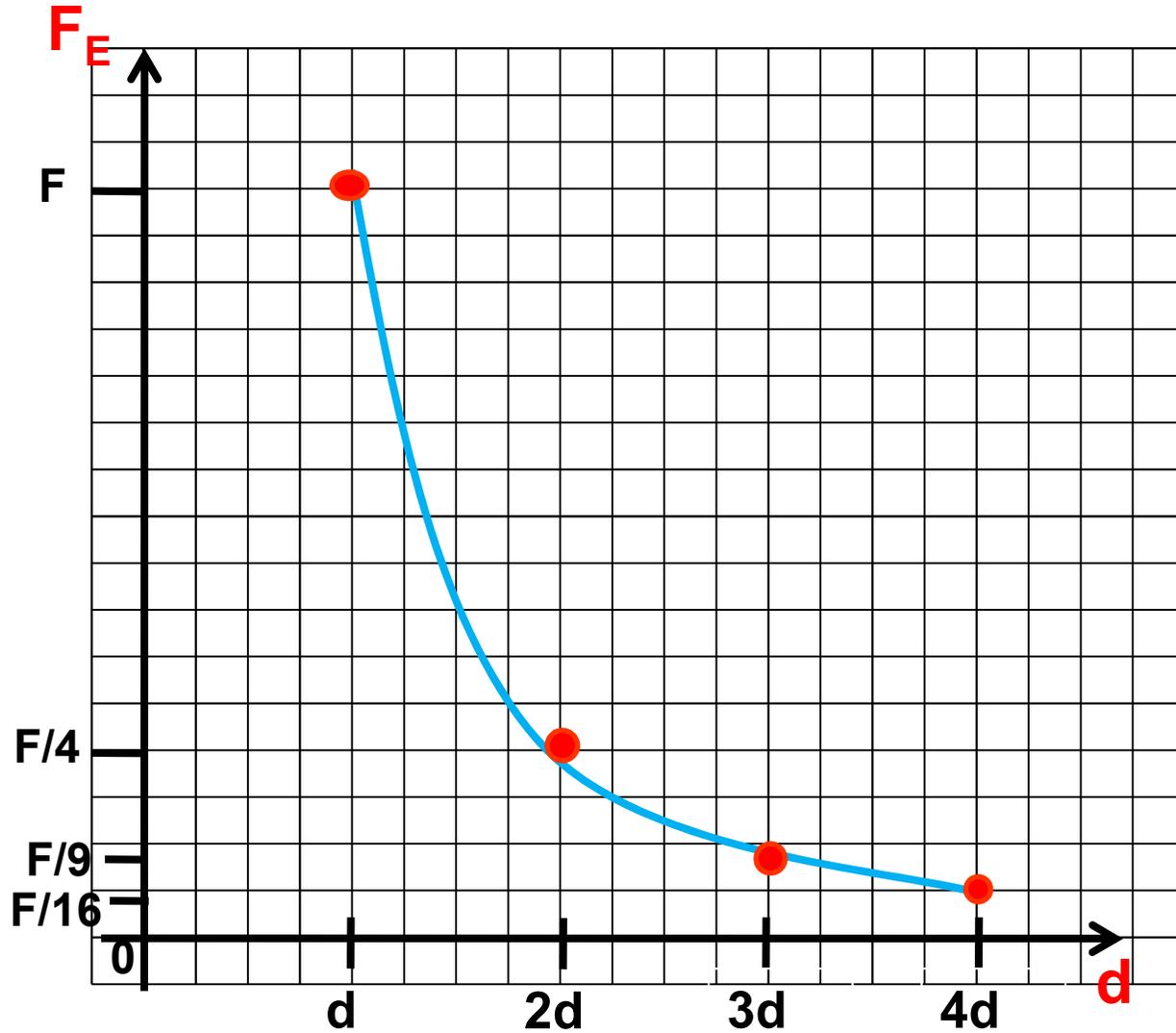
$$F_2 = 2F_1$$

$$F_3 = 3F_1$$



$$F' = F' = \frac{F q}{4 d^2}$$

Gráfico F x d



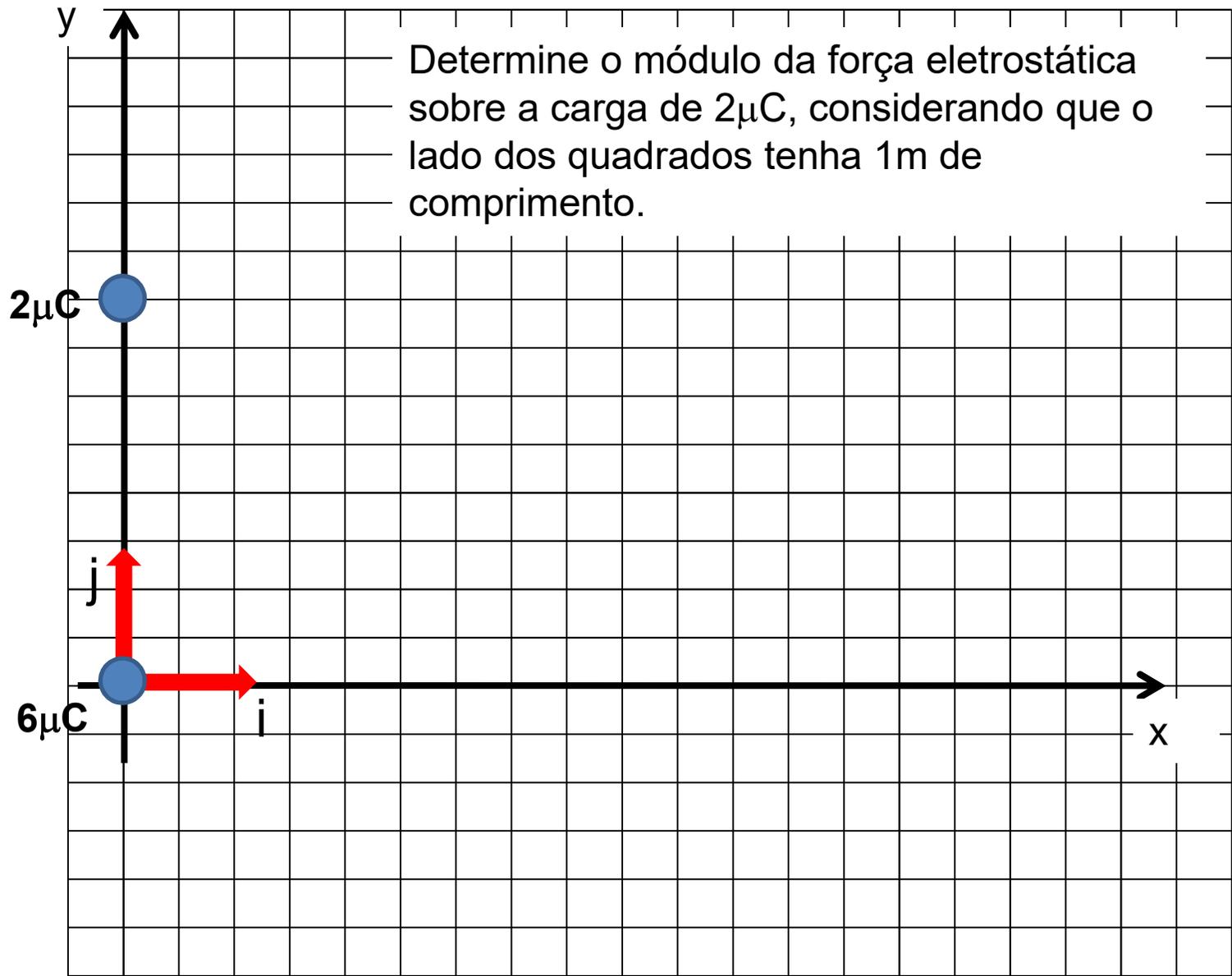
$$d \rightarrow F$$

$$2d \rightarrow F/4$$

$$3d \rightarrow F/9$$

$$4d \rightarrow F/16$$

$$d \rightarrow \infty ; F \rightarrow 0$$



Determine the magnitude of the electrostatic force on the charge of $2\mu\text{C}$, considering that the side of the squares has a length of 1m.

$2\mu\text{C}$

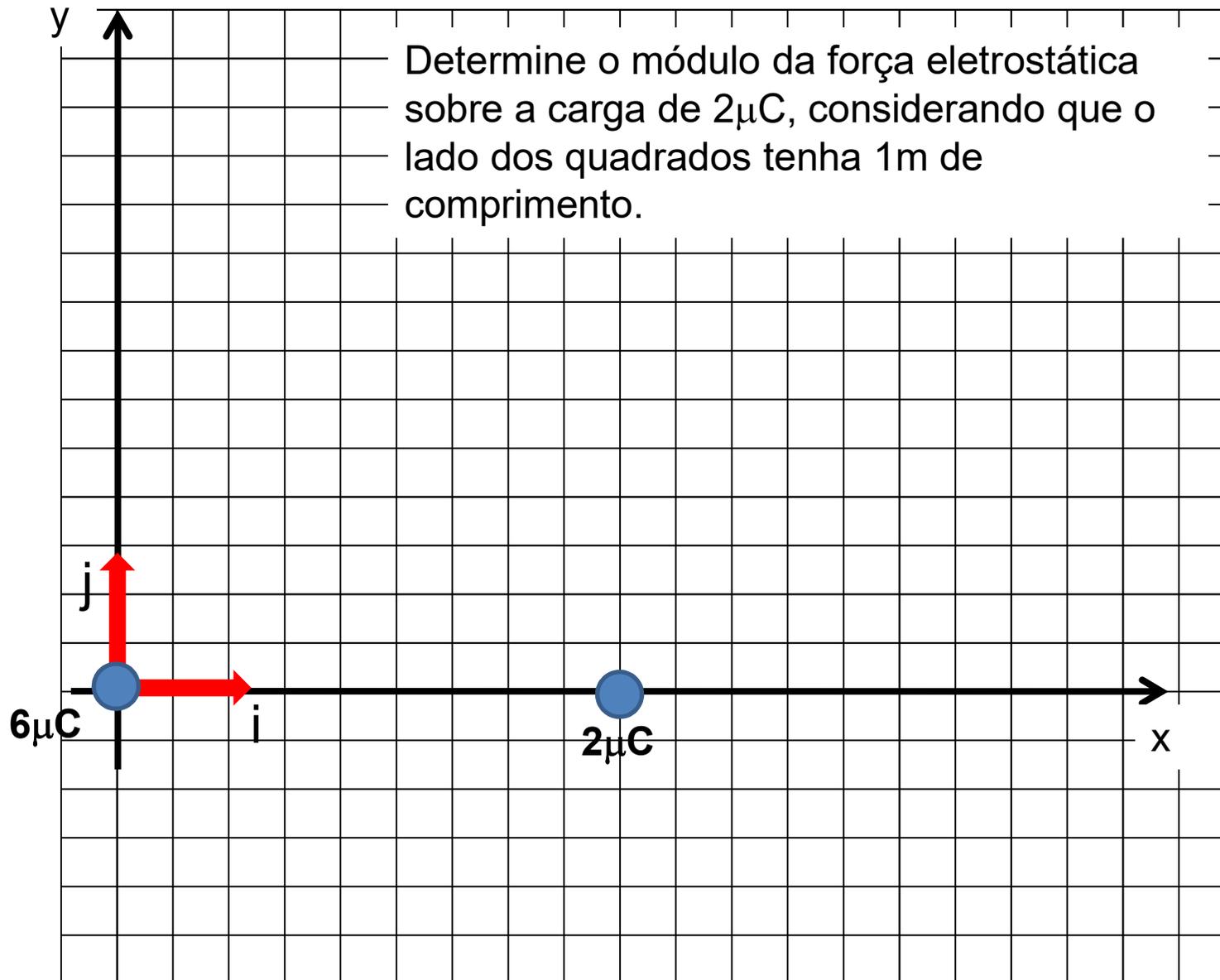
j

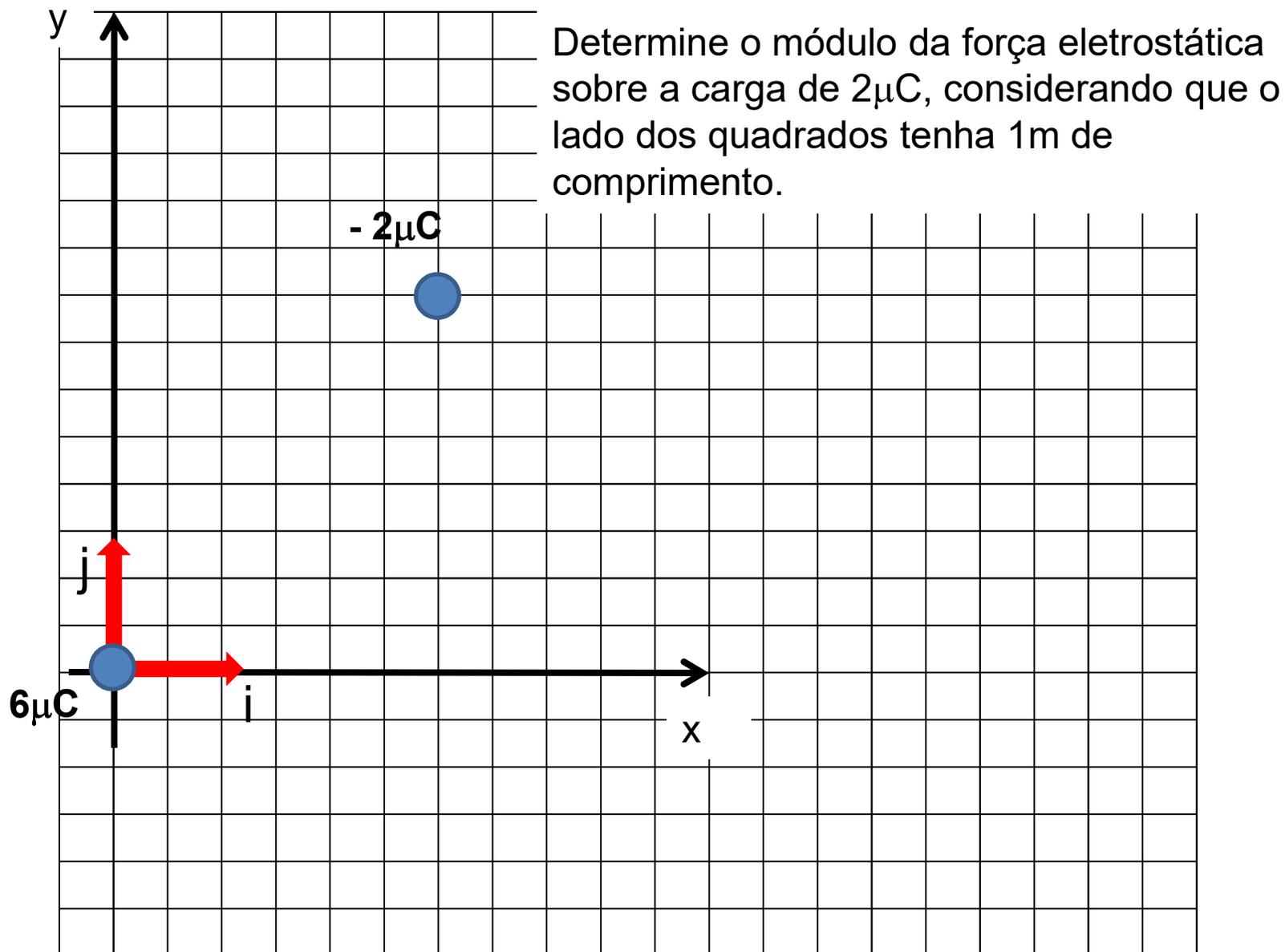
$6\mu\text{C}$

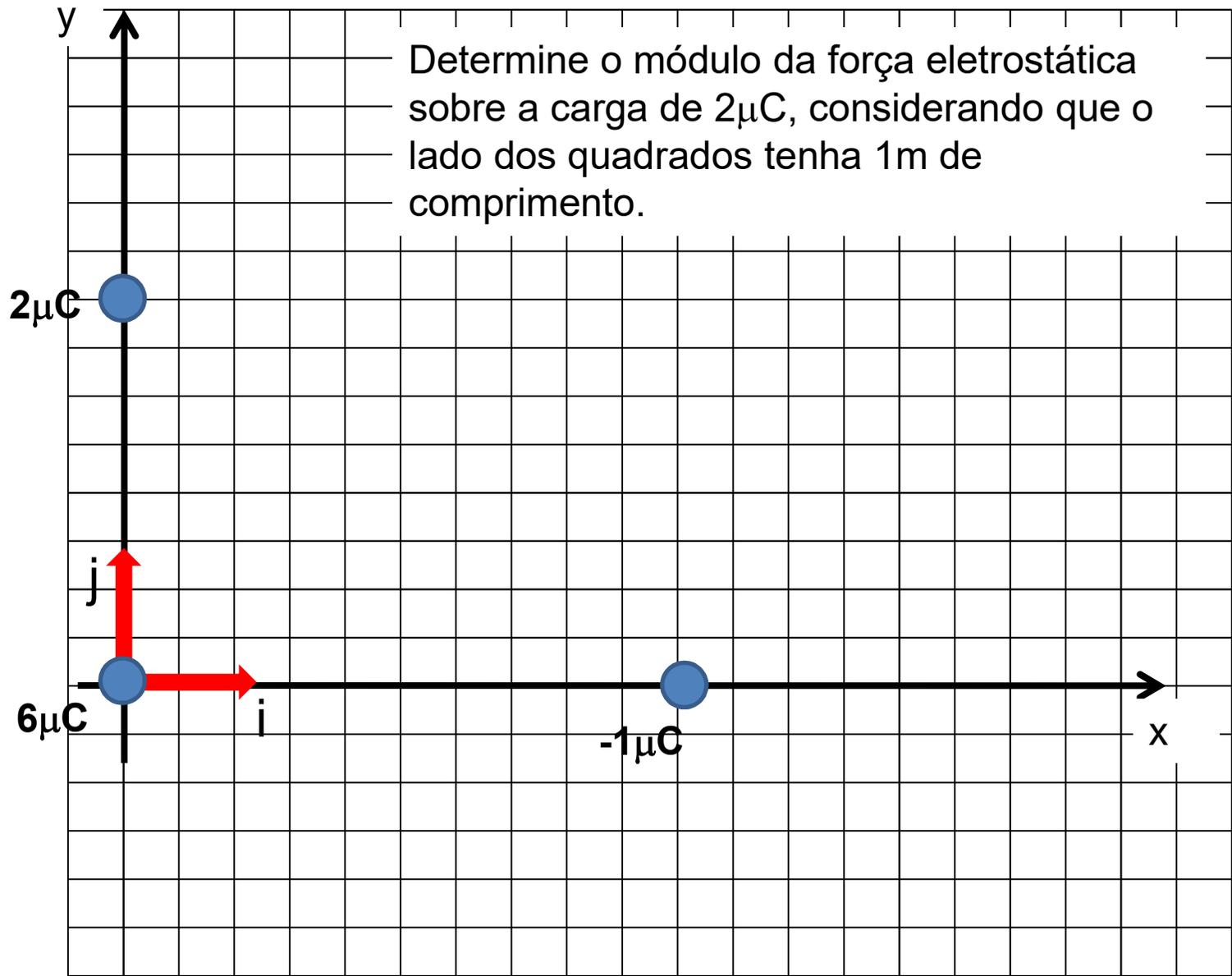
i

x

y







$2\mu\text{C}$

$6\mu\text{C}$

$-1\mu\text{C}$

j

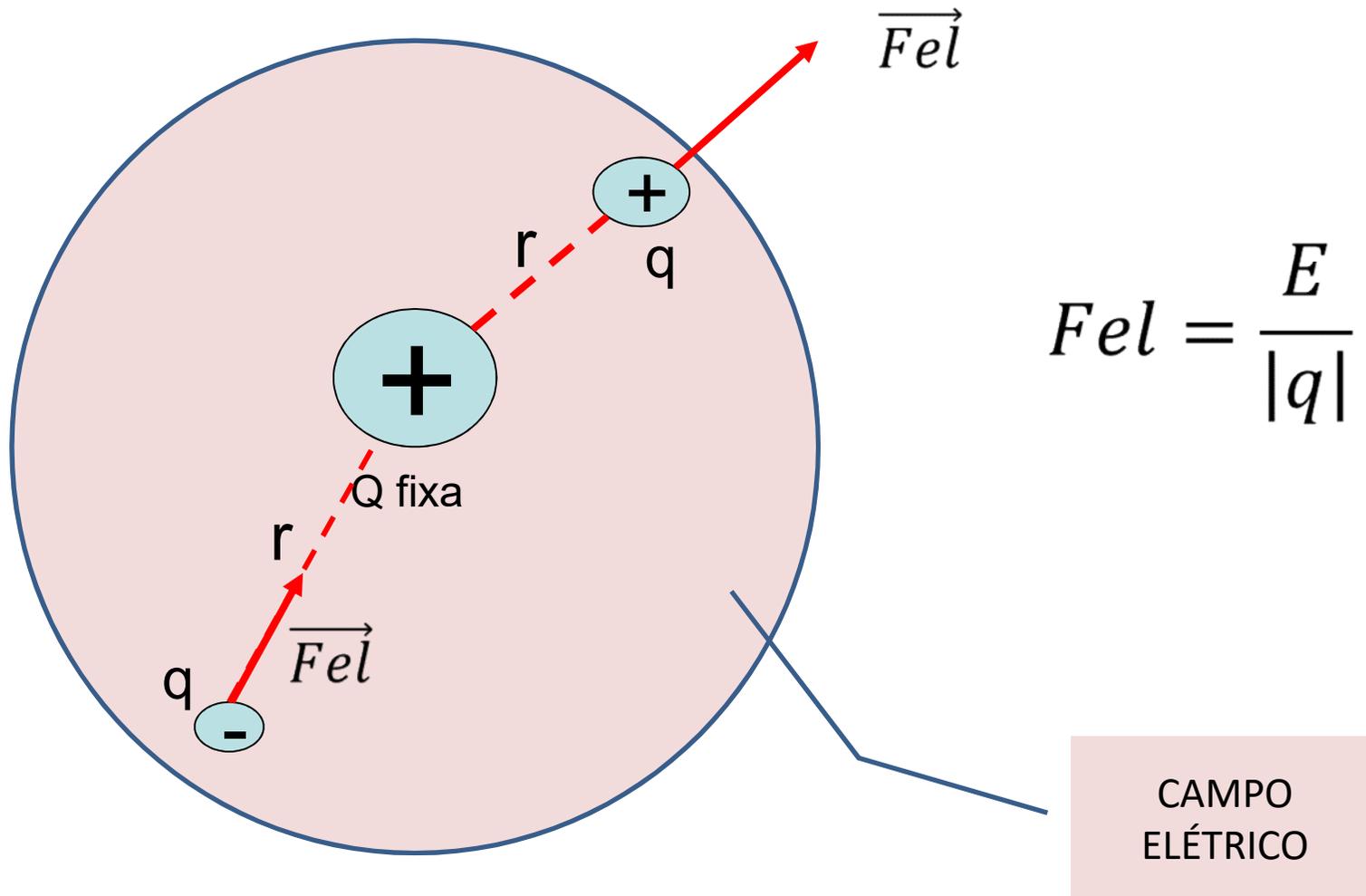
i

x

y

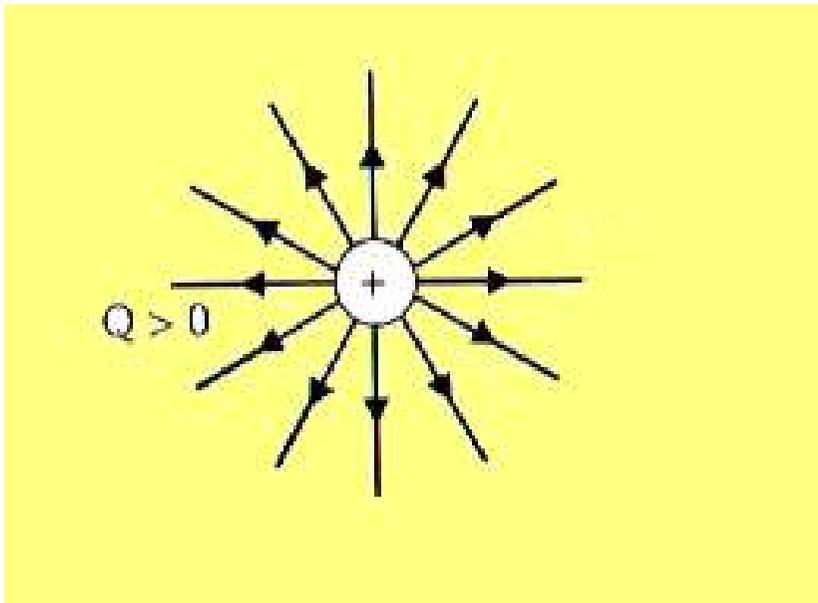
Campo elétrico

Região de atuação da força elétrica. Pode ser gerado por uma carga ou por um conjunto de cargas.

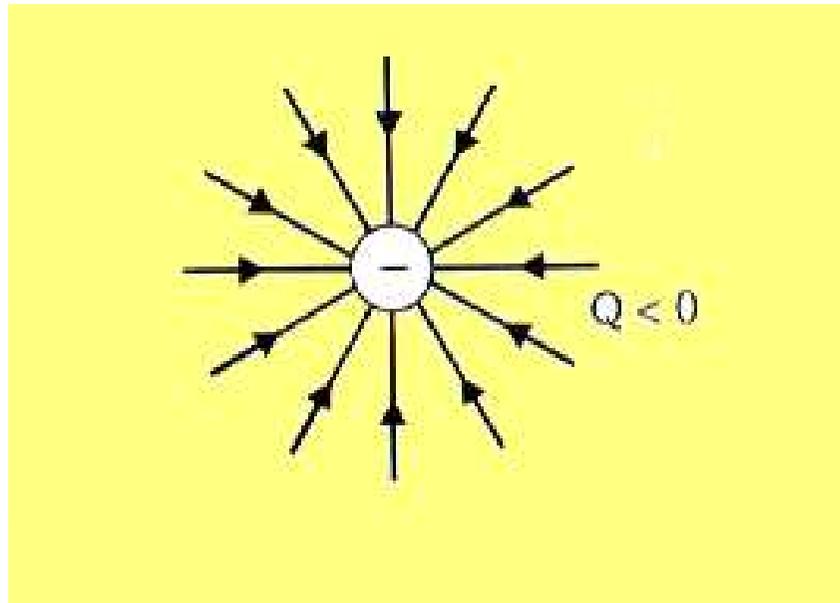


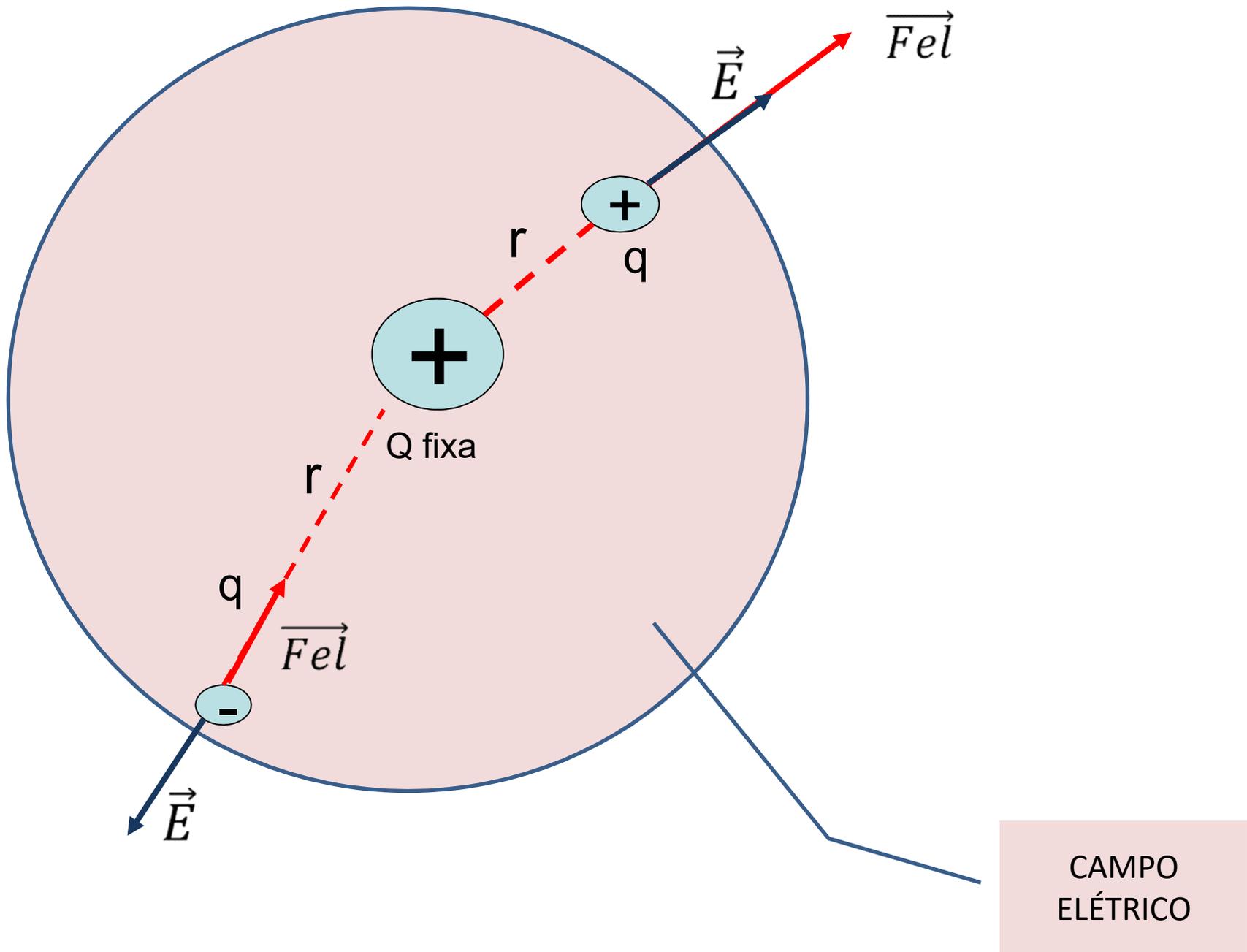
DIREÇÃO E SENTIDO DO CAMPO ELÉTRICO

Se $Q > 0$ o vetor campo elétrico é de
AFASTAMENTO

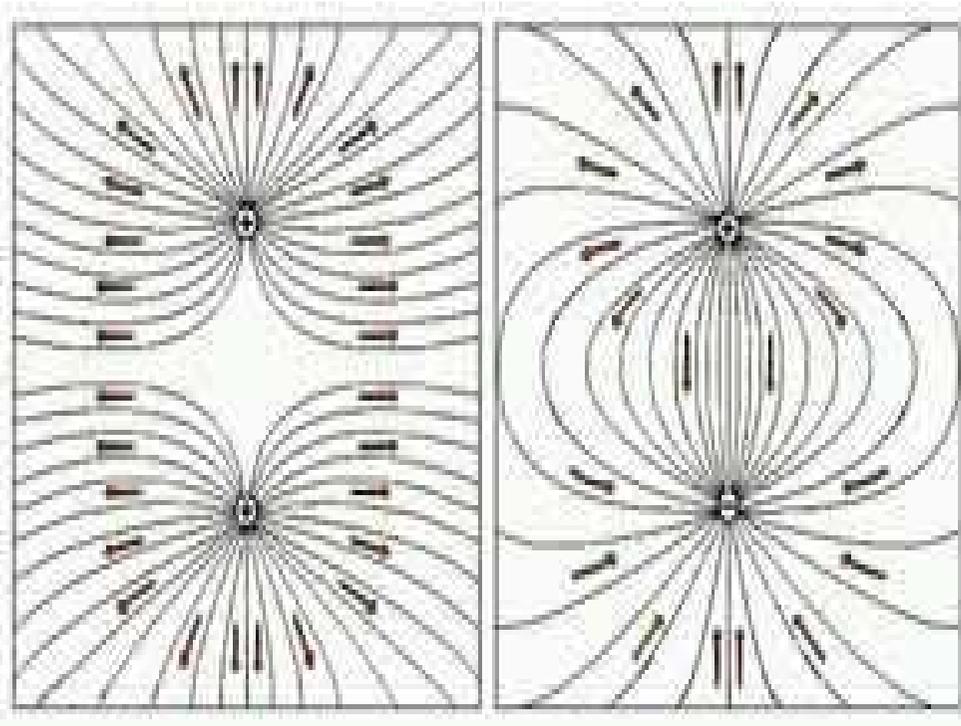


Se $Q < 0$ o vetor campo elétrico é de
APROXIMAÇÃO



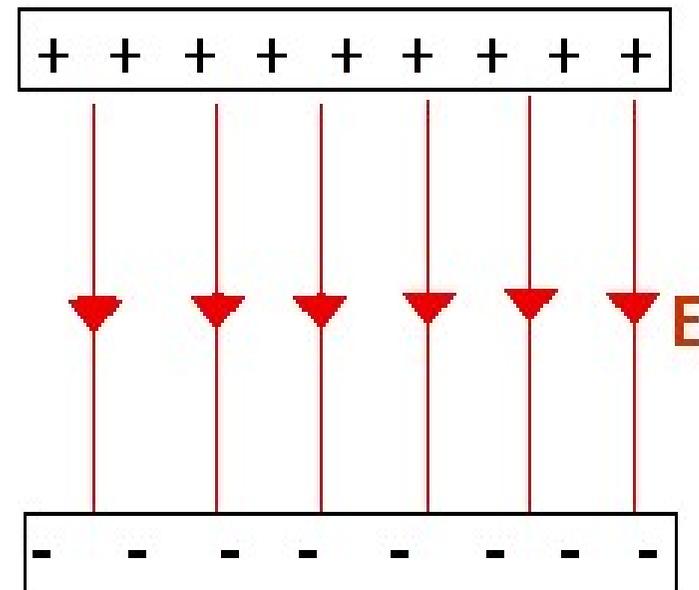


Campo elétrico



CONFIGURAÇÃO DE CAMPO ELÉTRICO GERADO POR DUAS CARGAS PUNTIFORMES

CONFIGURAÇÃO DE CAMPO ELÉTRICO GERADO ENTRE PLACAS PARALELAS
CAMPO ELÉTRICO UNIFORME



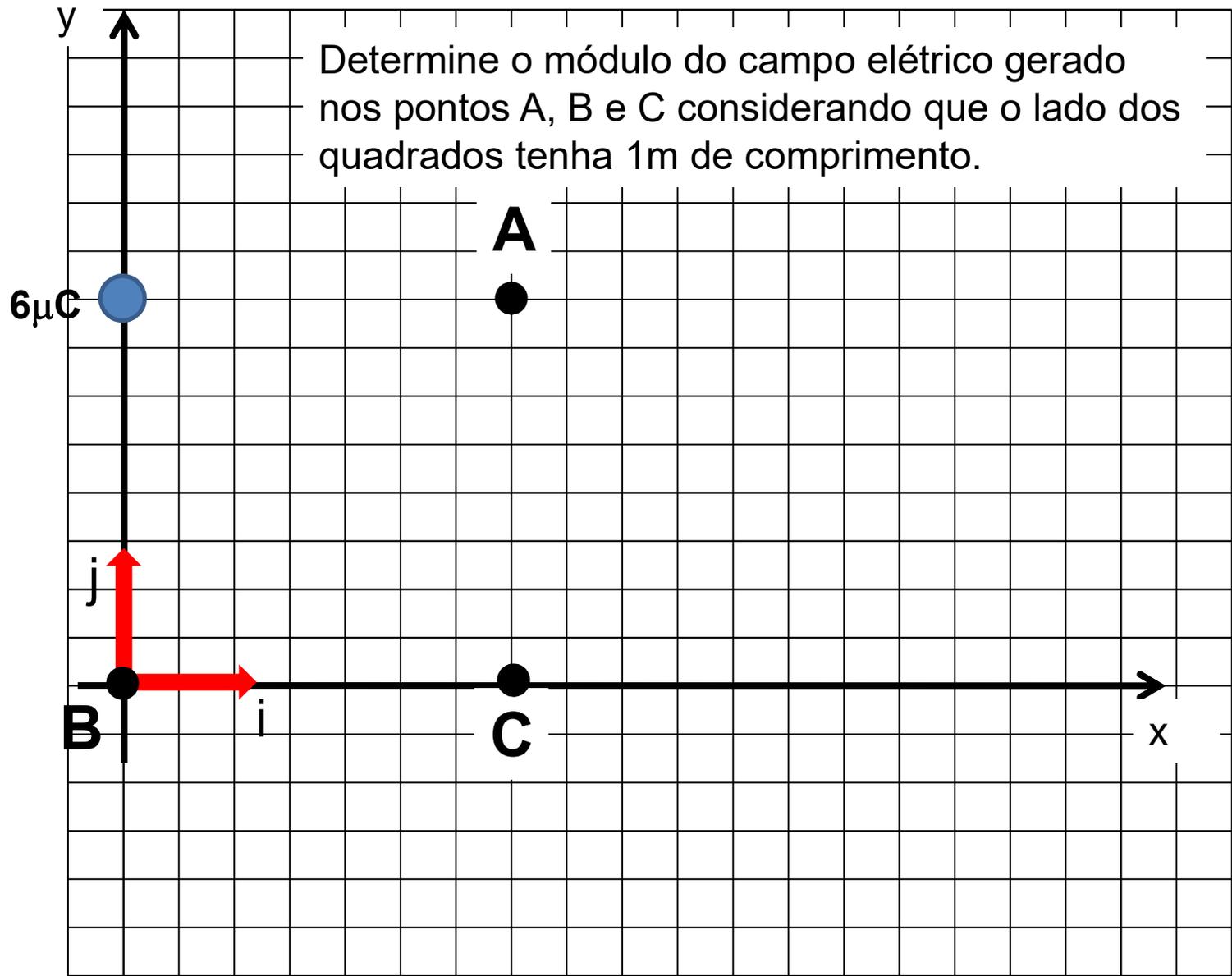
LEI DE COULOMB APLICADA AO CAMPO ELÉTRICO

$$\overrightarrow{Fel} = \frac{K |Q| \cdot |q|}{r^2} \hat{r} \qquad \vec{E} = \frac{\overrightarrow{Fel}}{|q|}$$

$$\vec{E} \cdot \cancel{|q|} = \frac{K |Q| \cdot \cancel{|q|}}{r^2} \hat{r}$$

$$\vec{E} = \frac{K |Q|}{r^2} \hat{r}$$

A intensidade de campo elétrico não depende da existência da carga de prova.



$6\mu\text{C}$

A

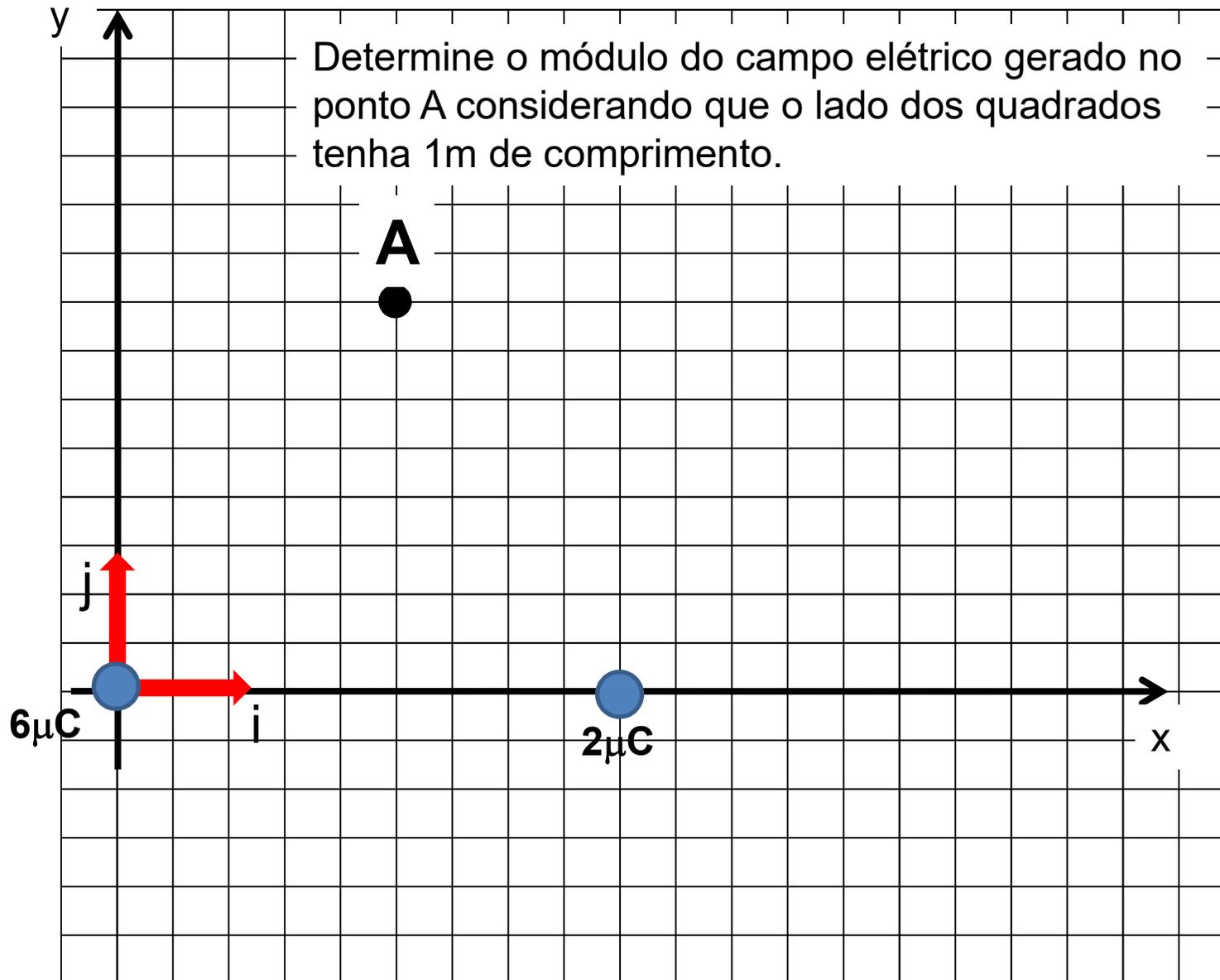
B

C

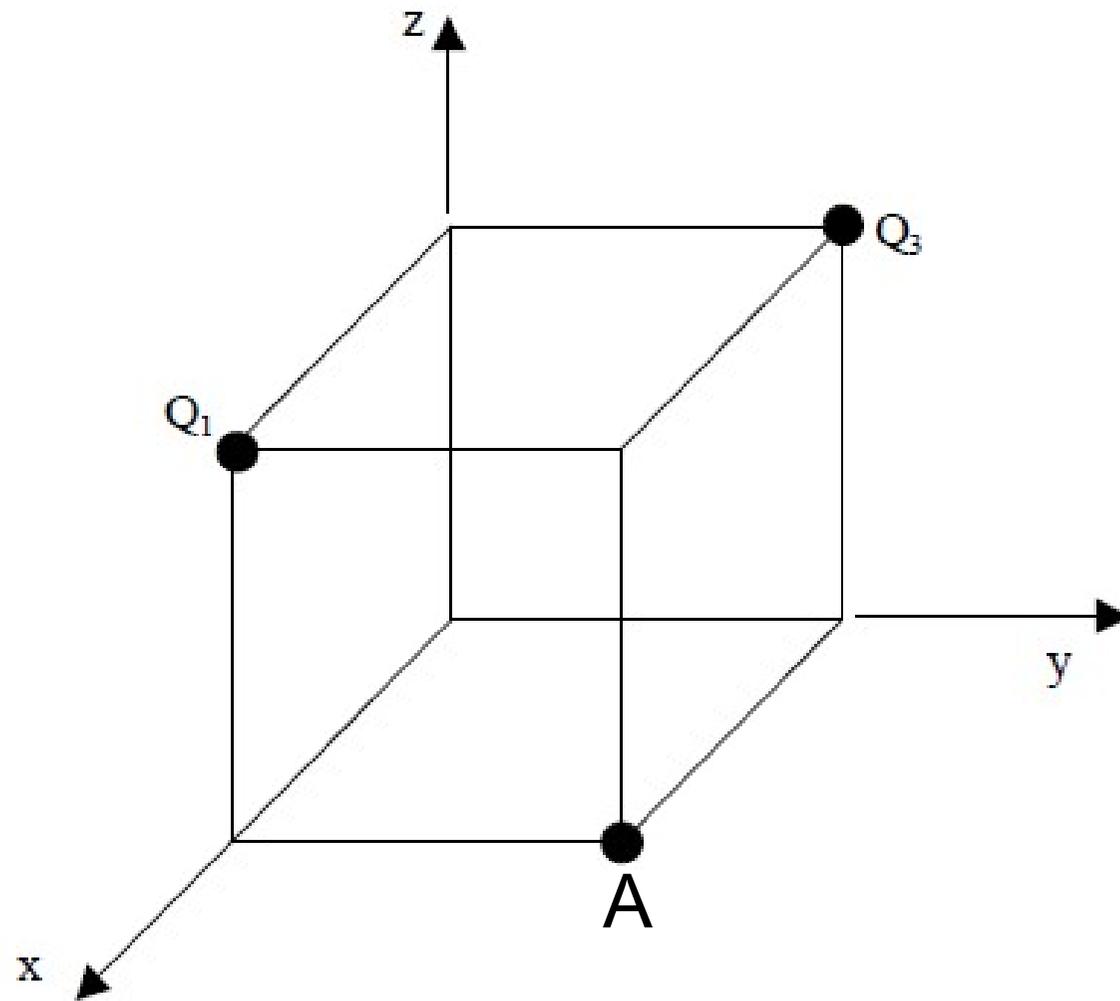
j

i

x

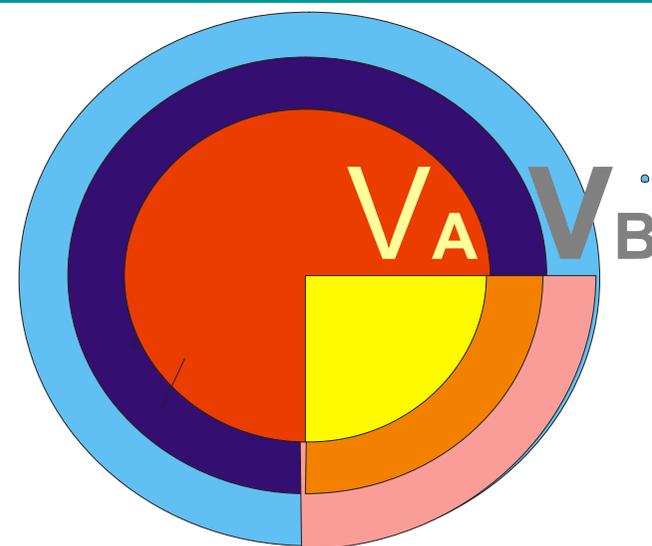
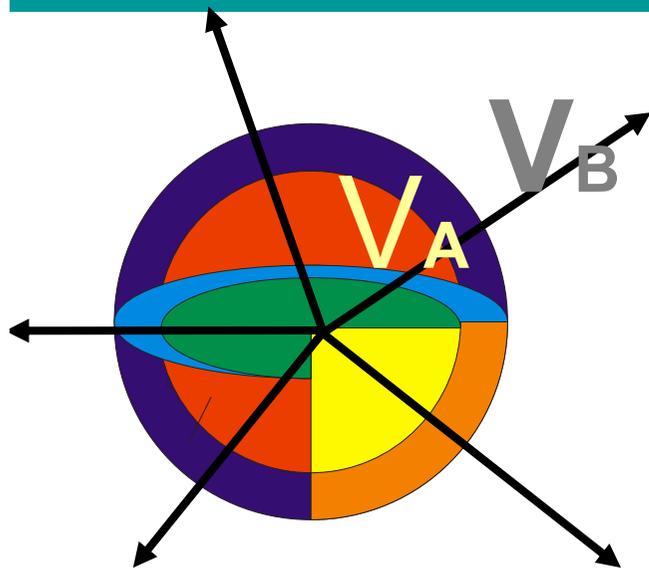


Determine o módulo do campo elétrico gerado no ponto A considerando que o lado do paralelogramo é igual a 1m.

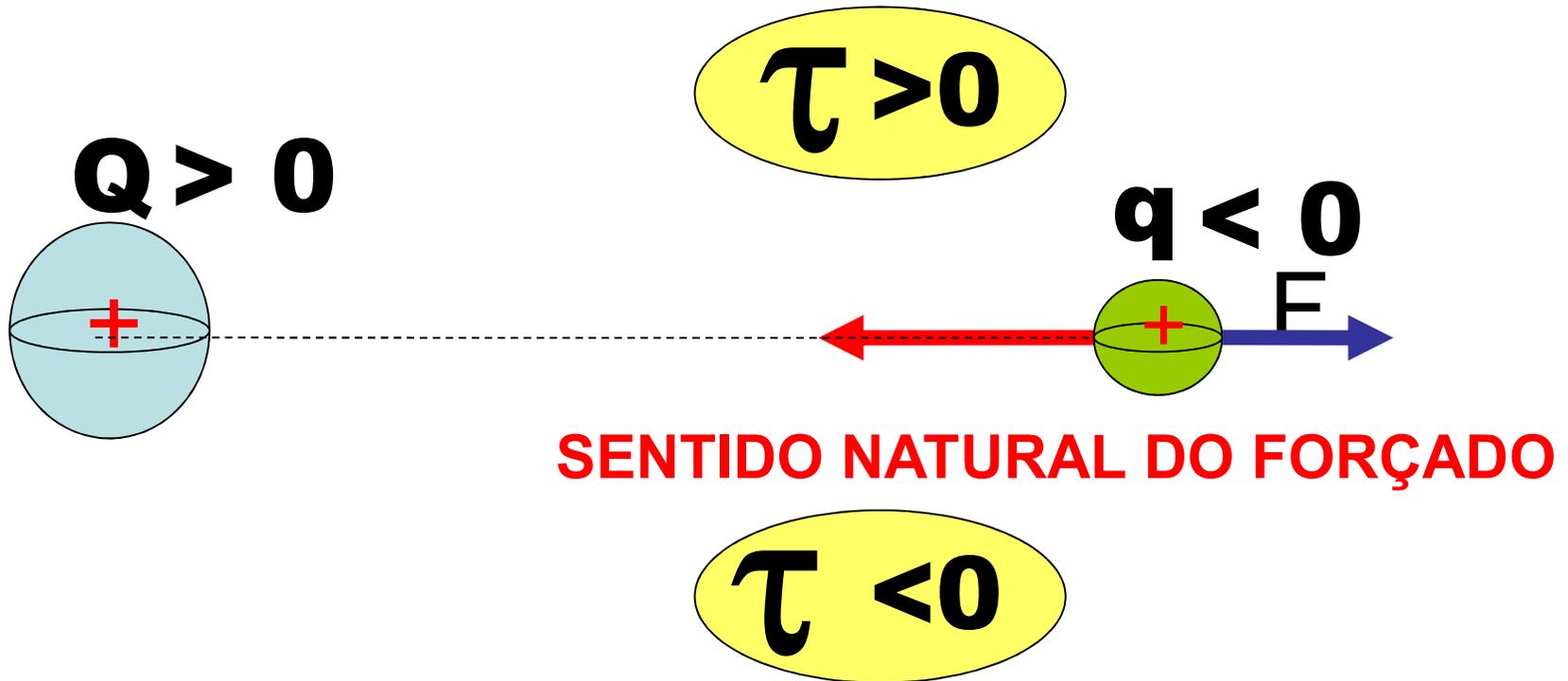


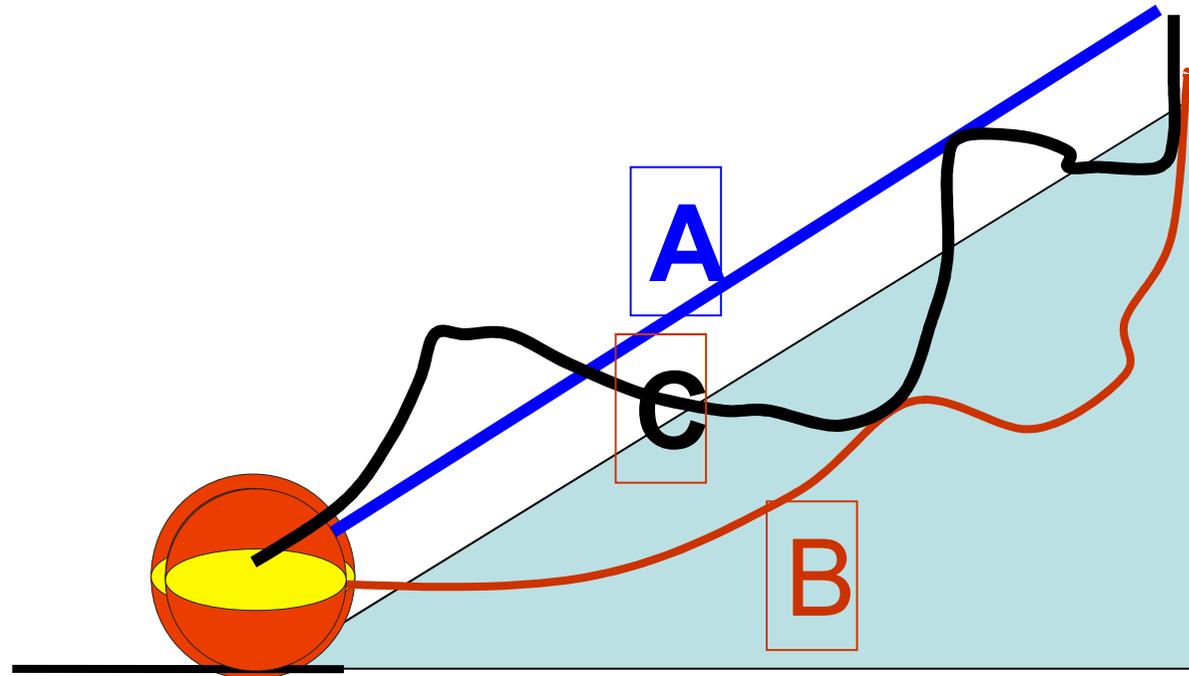
SUPERFÍCIE EQUIPOTENCIAL

Numa superfície equipotencial as linhas de força são sempre perpendiculares às superfícies equipotenciais.



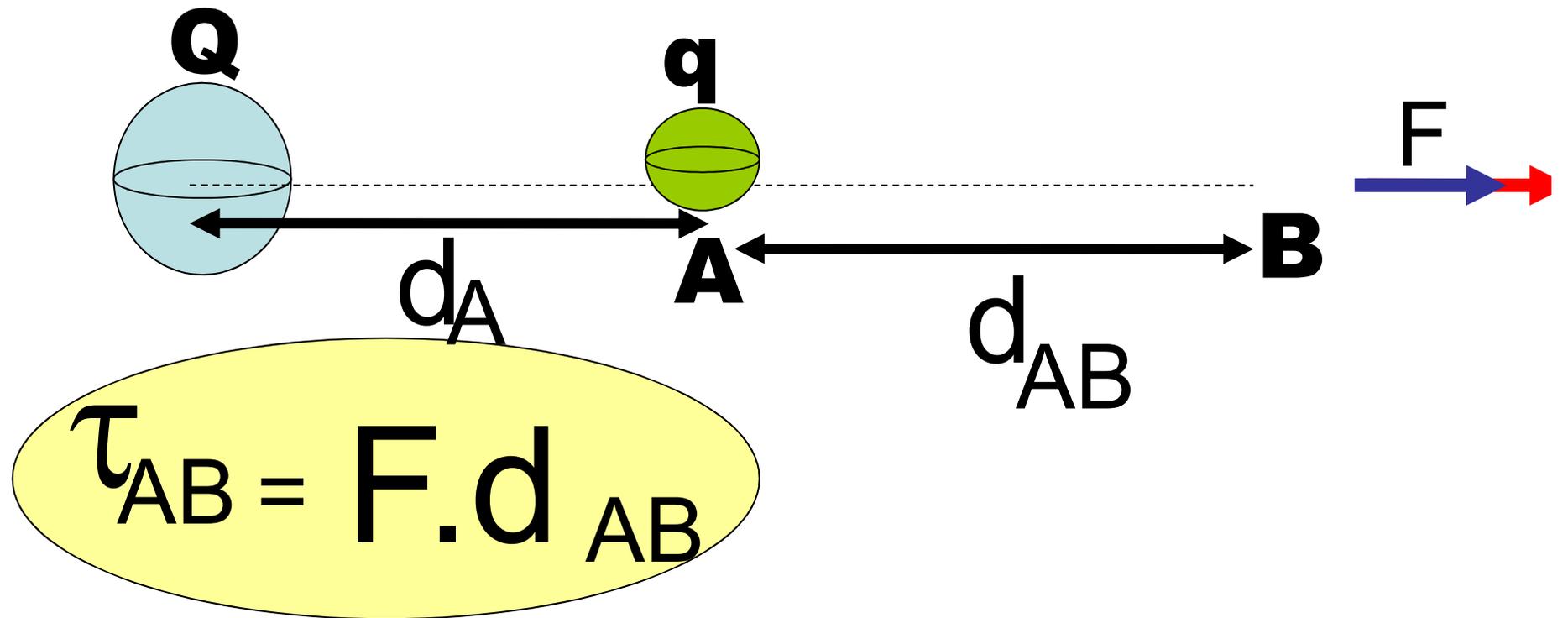
TRABALHO DA FORÇA ELÉTICA



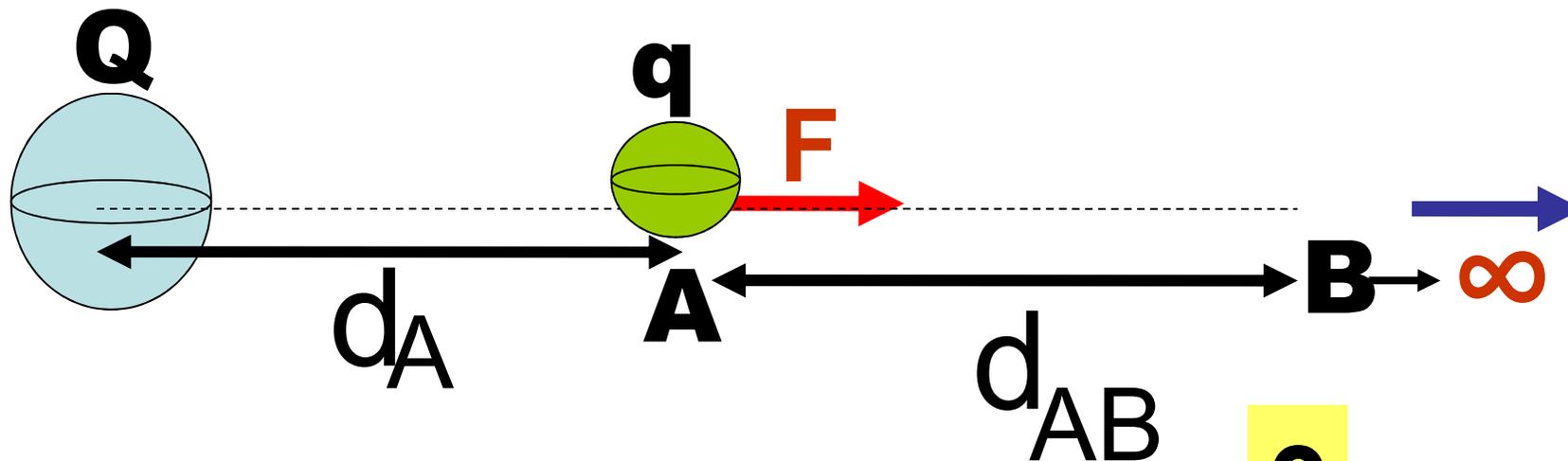


$$\tau_A = \tau_B = \tau_C$$

**O Trabalho não depende da
trajetória.**



$$\tau_{AB} = q \cdot k \cdot Q \cdot \left(\frac{1}{d_A} - \frac{1}{d_B} \right)$$



$$\tau_{A\infty} = q \cdot K \cdot Q \cdot \left(\frac{1}{d_A} - \frac{1}{d_B} \right)$$

0

$$\tau_{A\infty} = q \cdot K \cdot \frac{Q}{d_A}$$

Podemos afirmar que esse é o maior trabalho da força elétrica, para deslocar uma carga do ponto A até o infinito

ENERGIA POTENCIAL ELÉTRICA

$$\tau_{A\infty} = q \cdot K \cdot Q \cdot \left(\frac{1}{d_A} - \frac{1}{d_B} \right) \xrightarrow{0} \tau_{A\infty} = q \cdot K \cdot \frac{Q}{d_A}$$

Sendo $E_{PB} = 0$ por considerar o infinito como referencial

$$\tau_{A\infty} = E_{PA} - E_{PB} \xrightarrow{0}$$

$$\tau_{A\infty} = E_{PA} \rightarrow E_{PA} = q \cdot K \cdot \frac{Q}{d_A}$$

POTENCIAL ELÉTRICO

A grandeza escalar potencial elétrico é definida como a energia potencial elétrica por unidade de carga.

Colocando-se uma carga q num ponto A de um campo elétrico de uma carga puntiforme Q , adquire uma energia potencial elétrica E_{pA} . A relação potencial, energia potencial elétrica e carga é:

$$V_A = \frac{E_{PA}}{q}$$

CP1

$$E_{PA} = q \cdot K \cdot \frac{Q}{d_A}$$

$$V_A = \frac{E_{PA}}{q} = \frac{\cancel{q} \cdot K \cdot \frac{Q}{d_A}}{q} = \frac{K \cdot Q}{d_A}$$

$$V_A = \frac{K \cdot Q}{d_A}$$

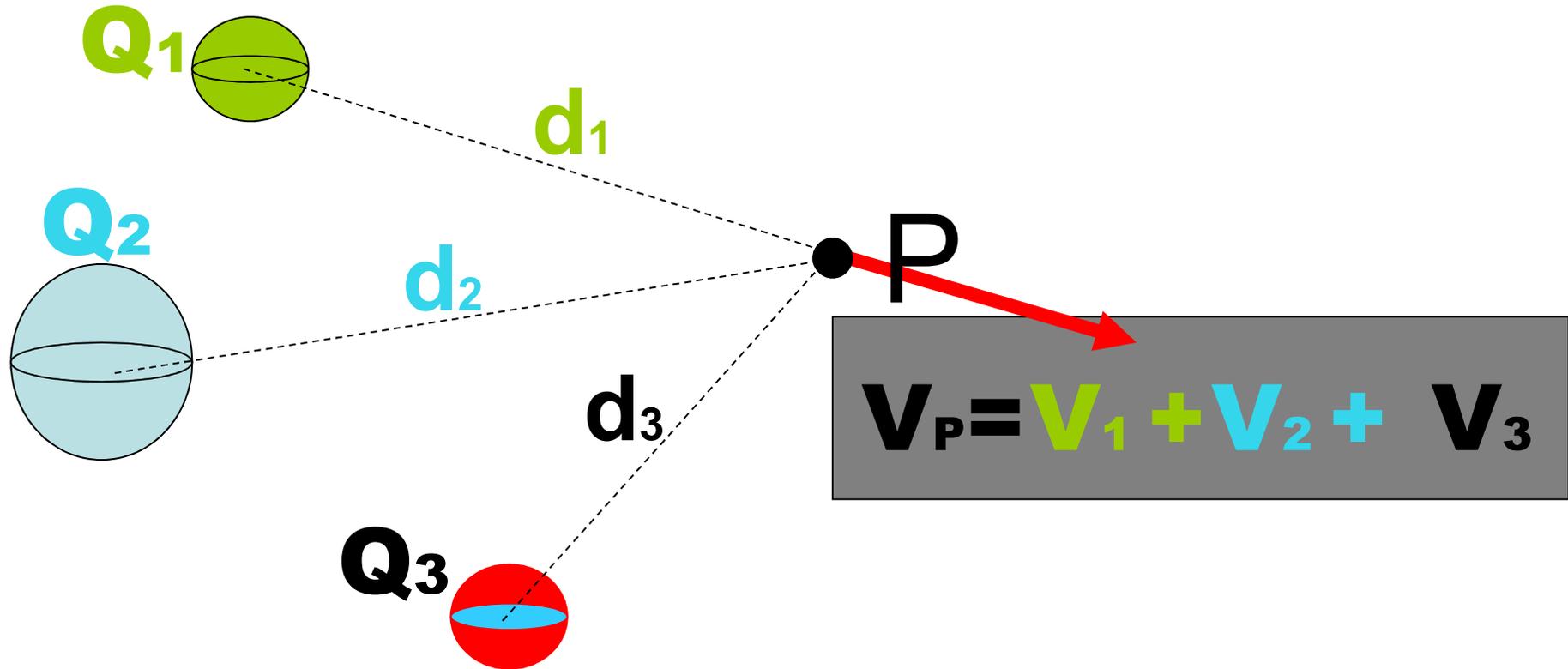
$$\frac{1 \text{ joule}}{1 \text{ coulomb}} = 1 \text{ volt} = 1V$$

CP1

A grandeza escalar potencial elétrico é definida como a energia potencial elétrica por unidade de carga.

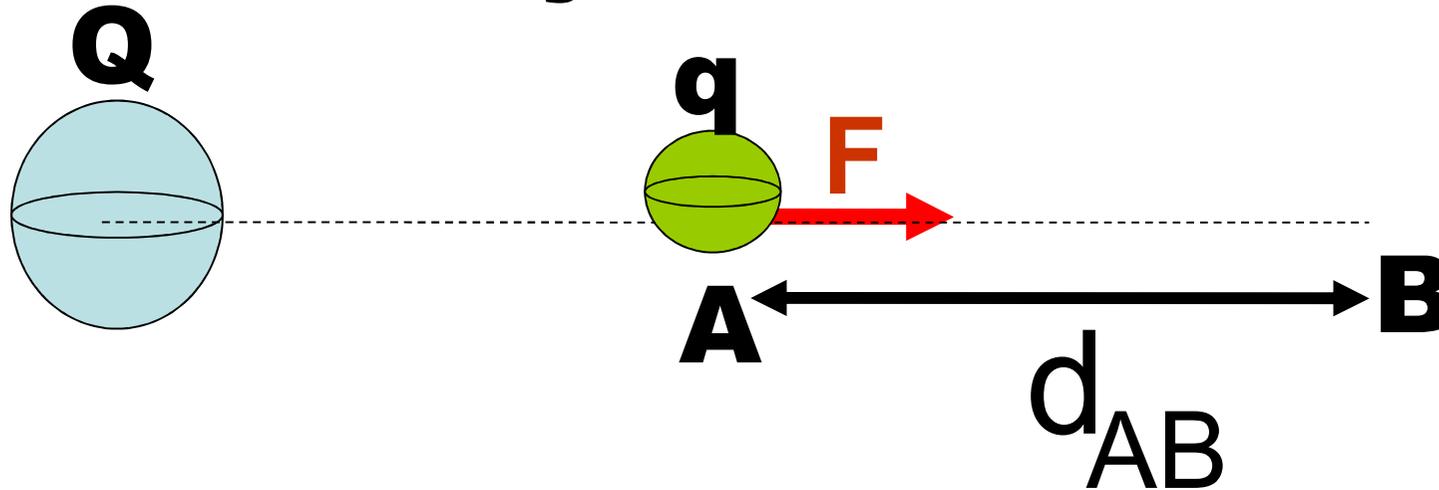
Cliente Preferencial; 10/04/2005

POTENCIAL DE VÁRIAS CARGAS



O POTENCIAL NUMA REGIÃO SOBRE A INFLUÊNCIA DE VÁRIOS CAMPOS É A SOMA DOS POTENCIAIS ELÉTRICOS GERADO POR ESSES CAMPOS

DIFERENÇA DE POTENCIAL (U)



$$\tau_{AB} = E_{PA} - E_{PB} \rightarrow \tau_{AB} = q \cdot V_A - q \cdot V_B$$

$$\begin{cases} E_{PA} = q \cdot V_A \\ E_{PB} = q \cdot V_B \end{cases}$$

$$\tau_{AB} = q \cdot (V_A - V_B)$$

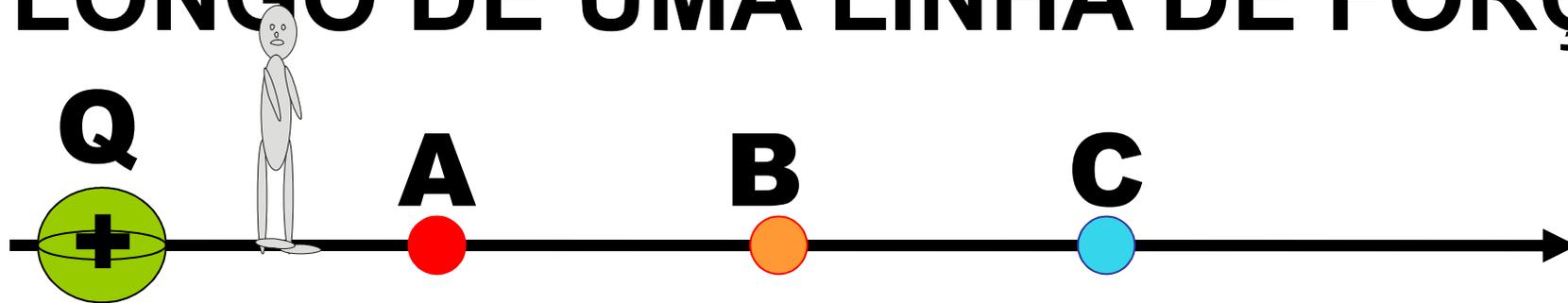
DIFERENÇA DE POTENCIAL (U)

$$\tau_{AB} = q \cdot \underbrace{(V_A - V_B)}_{U_{AB}}$$

É chamado de diferença de potencial elétrica entre os pontos A e B (ddp) ou tensão elétrica entre os pontos A e B.

$$U = \frac{\tau_{AB}}{q}$$

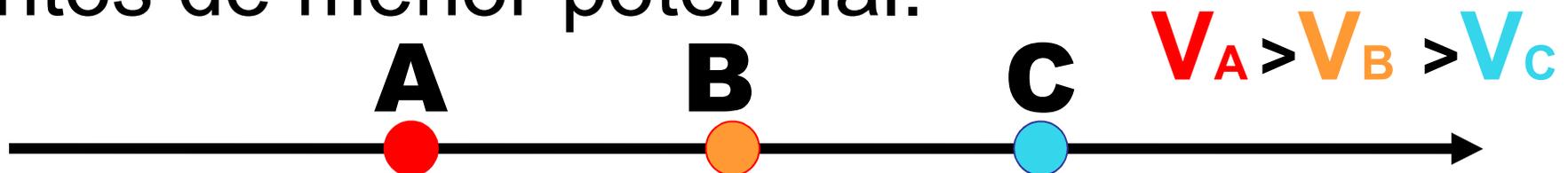
VARIAÇÃO DO POTENCIAL AO LONGO DE UMA LINHA DE FORÇA



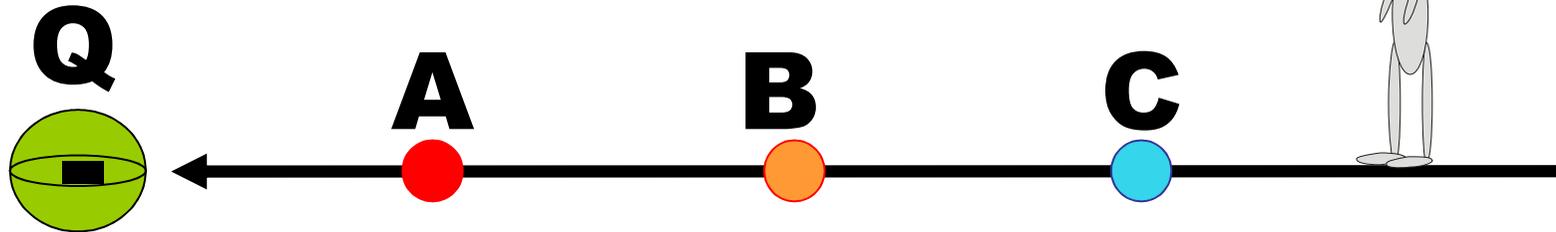
$$V = \frac{k \cdot Q}{d}$$

Como $d_A < d_B < d_C$,
temos: $V_A > V_B > V_C$

Percorrendo uma linha uma linha de força no seu sentido, encontramos sempre pontos de menor potencial.



VARIAÇÃO DO POTENCIAL AO LONGO DE UMA LINHA DE FORÇA



$$V = \frac{K \cdot Q}{d}$$

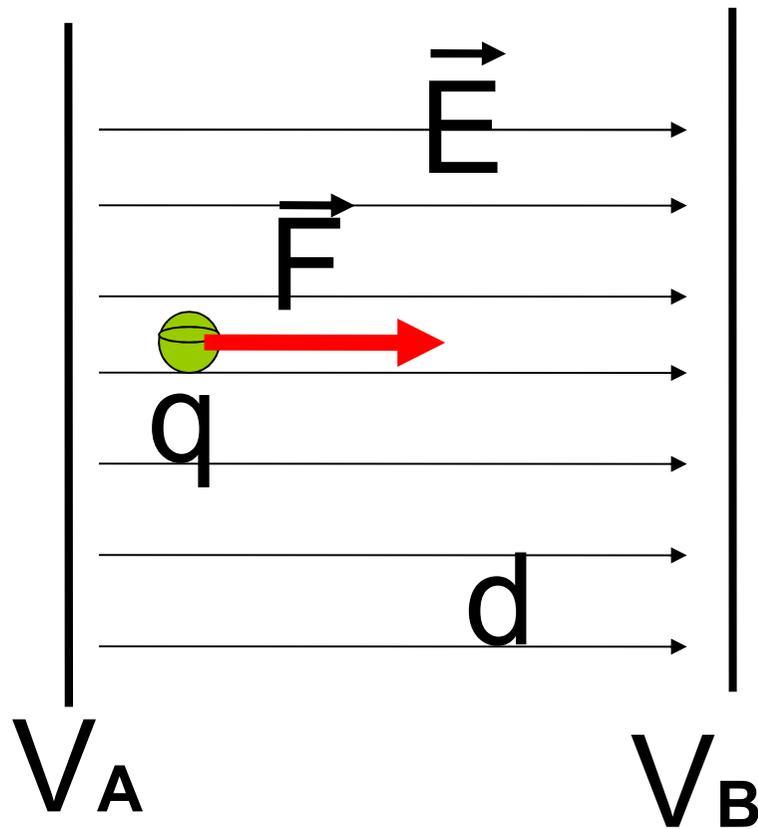
Como $d_A < d_B < d_C$,

temos: $V_A > V_B > V_C$

Percorrendo uma linha de força no seu sentido, encontramos sempre pontos de menor potencial.



DIFERENÇA DE POTENCIAL NUM CAMPO ELÉTRICO UNIFORME



$$\tau_{AB} = q \cdot (V_A - V_B)$$

U_{AB}

$$\tau_{AB} = q \cdot E \cdot d$$

~~$$q \cdot (V_A - V_B) = q \cdot E \cdot d$$~~

$$U_{AB} = E \cdot d$$

FIM DA AULA

ELETRICIDADE BÁSICA

2ª Termo

Engenharias:

**Mecânica
Computação
Elétrica
Civil**

AULA 02

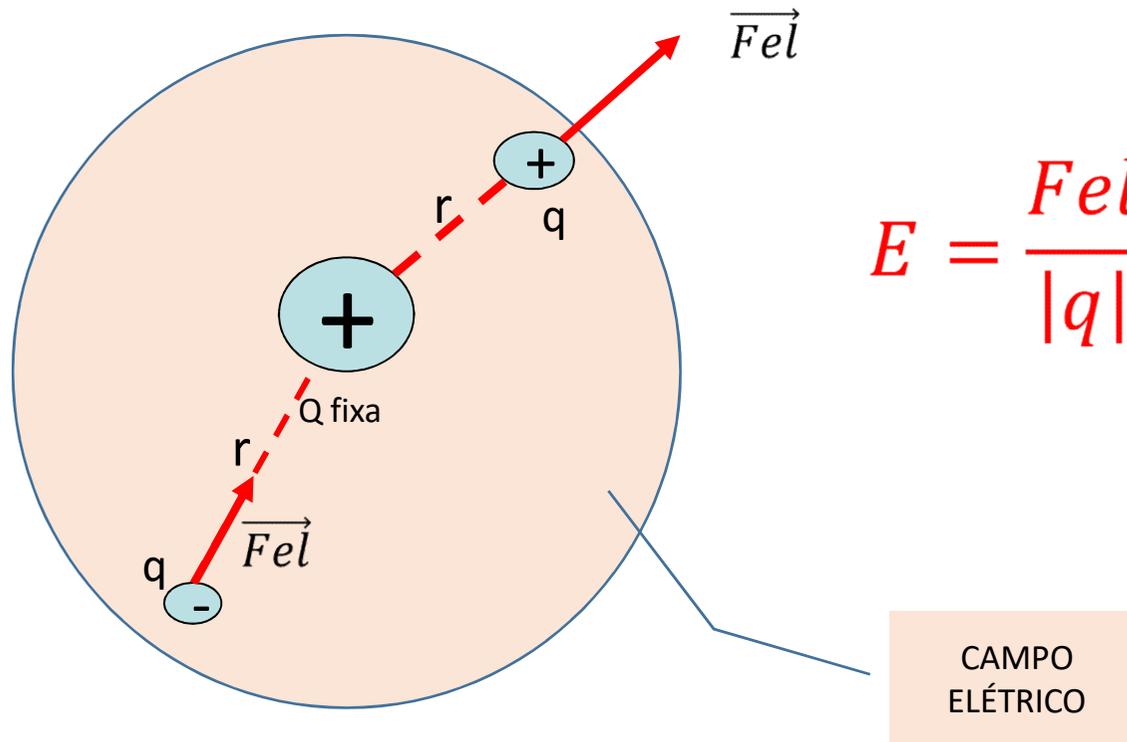
Prof. Dr. Giuliano Pierre Estevam

www.electroenge.com.br



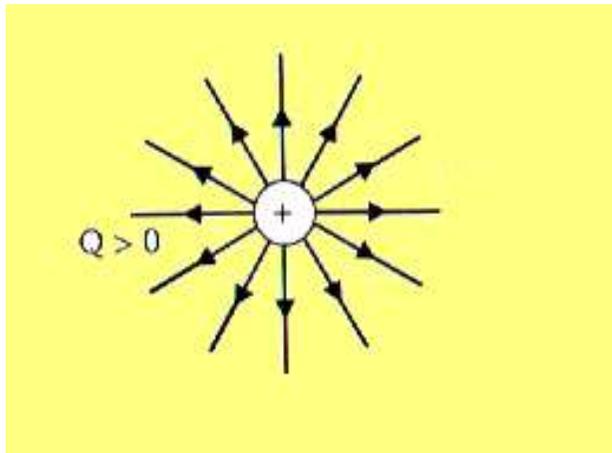
Campo elétrico

Região de atuação da força elétrica. Pode ser gerado por uma carga ou por um conjunto de cargas.

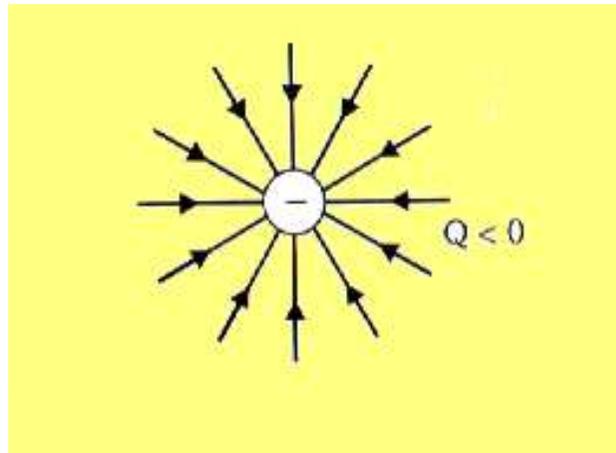


DIREÇÃO E SENTIDO DO CAMPO ELÉTRICO

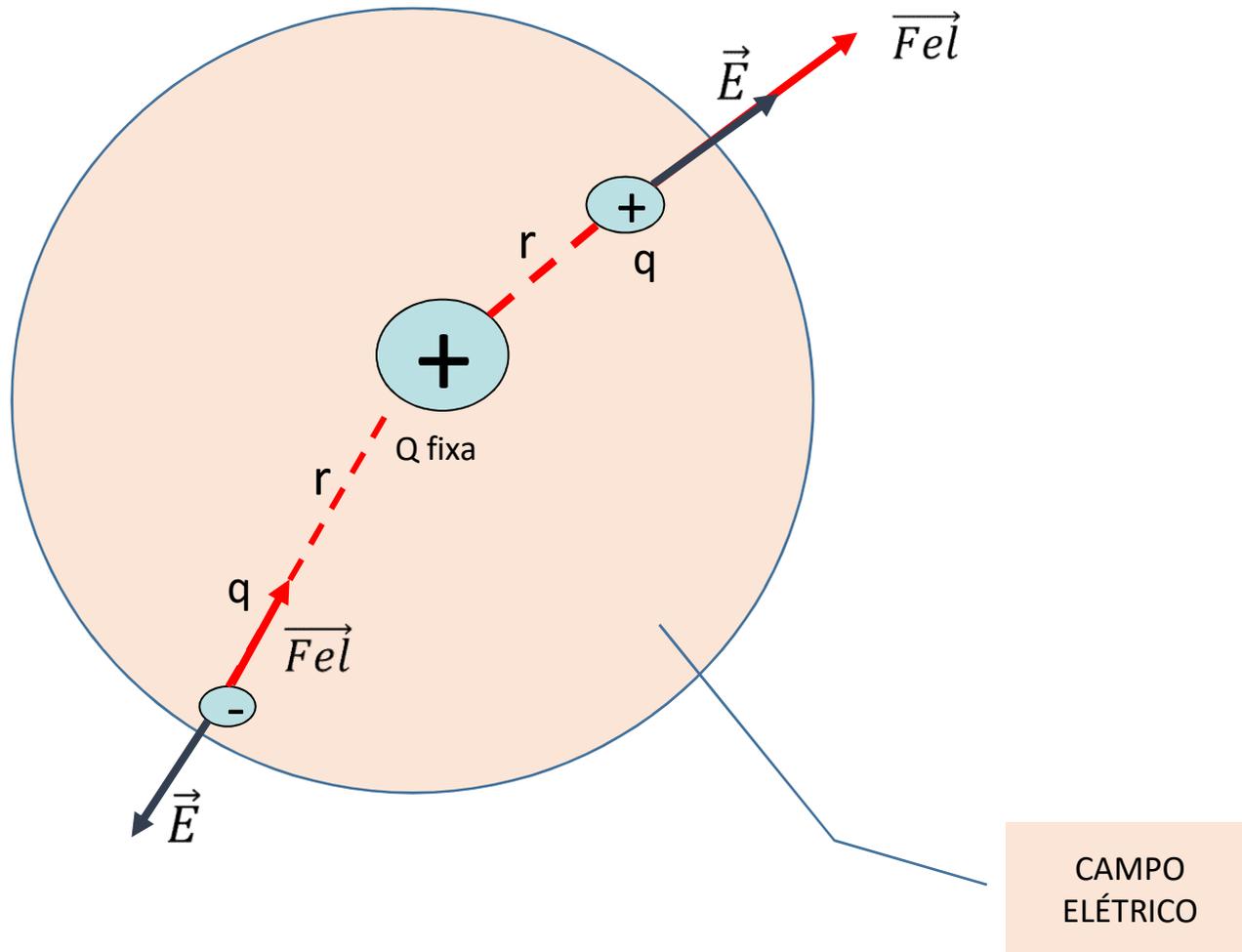
Se $Q > 0$ o vetor campo elétrico é de
AFASTAMENTO



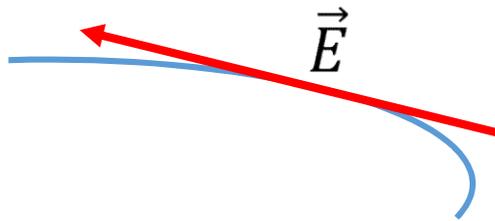
Se $Q < 0$ o vetor campo elétrico é de
APROXIMAÇÃO



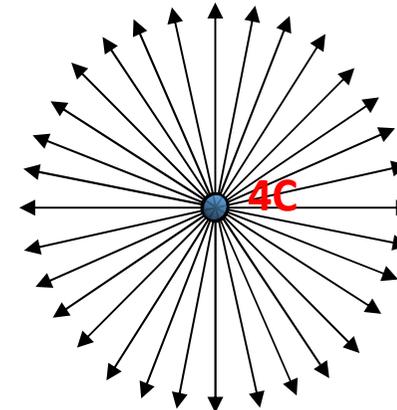
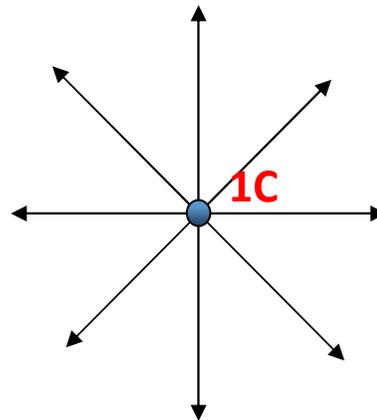
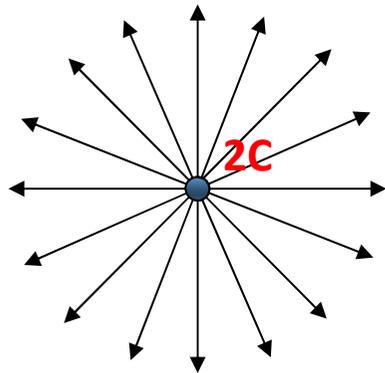
Prof. Dr. Giuliano Estevam



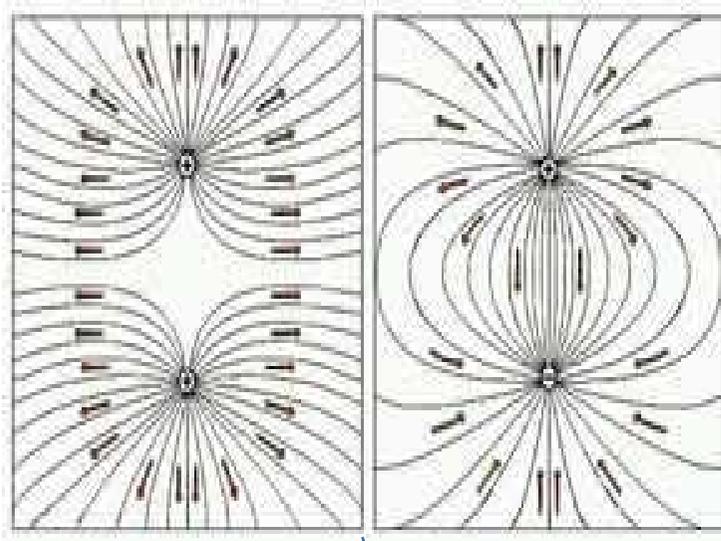
Linhas de Campo Elétrico



- Tangentes ao vetor campo elétrico;
- “Nascem” na carga positiva e “morrem” na carga negativa;
- Número proporcional a quantidade de carga;
- Nunca se cruzam

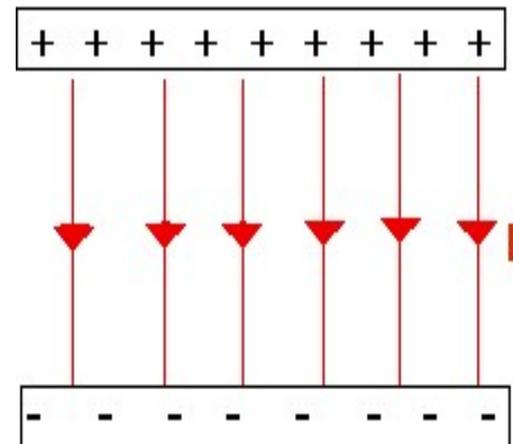


Campo elétrico



CONFIGURAÇÃO DE CAMPO ELÉTRICO GERADO POR DUAS CARGAS PUNTIFORMES

CONFIGURAÇÃO DE CAMPO ELÉTRICO GERADO ENTRE PLACAS PARALELAS
CAMPO ELÉTRICO UNIFORME



Prof. Dr. Giuliano Estevam

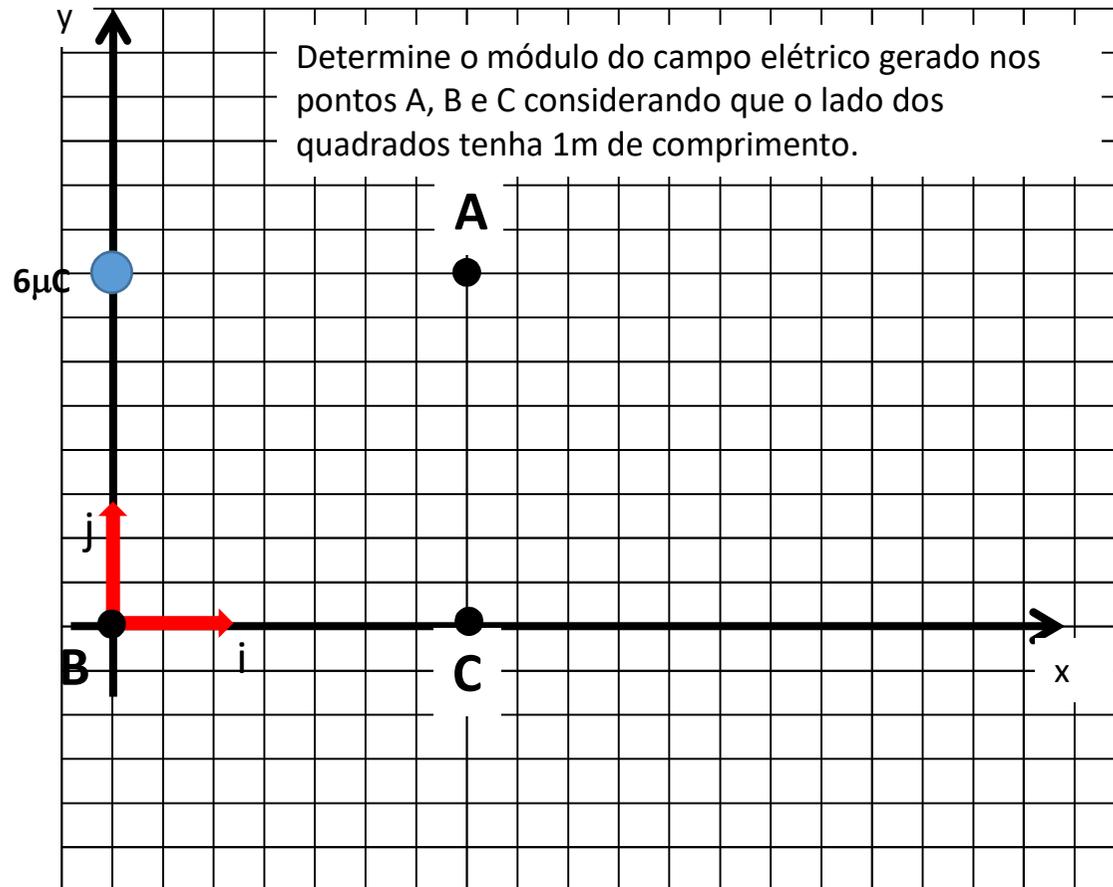
LEI DE COULOMB APLICADA AO CAMPO ELÉTRICO

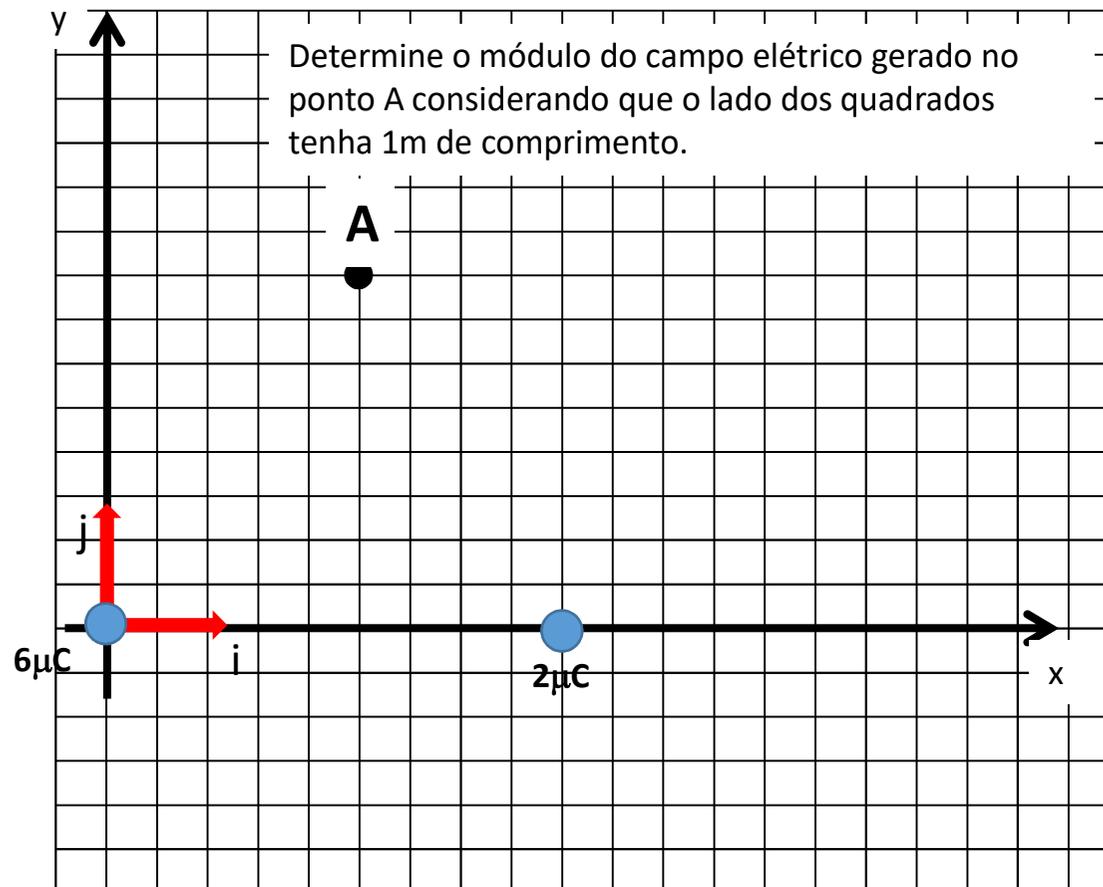
$$\overrightarrow{F_{el}} = \frac{K |Q| \cdot |q|}{r^2} \hat{r} \qquad \vec{E} = \frac{\overrightarrow{F_{el}}}{|q|}$$

$$\vec{E} \cdot \cancel{|q|} = \frac{K |Q| \cdot \cancel{|q|}}{r^2} \hat{r}$$

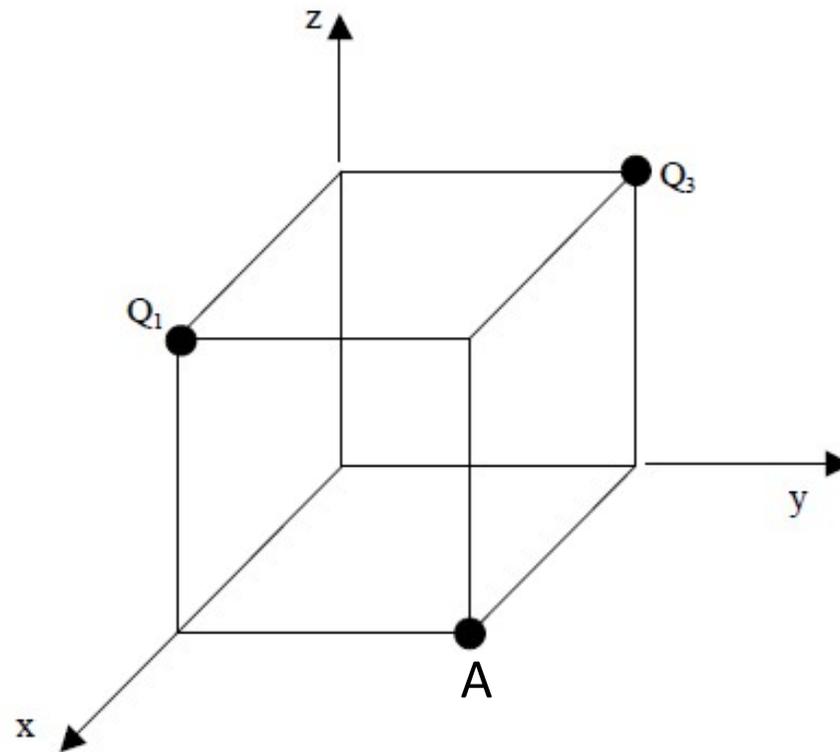
$$\boxed{\vec{E} = \frac{K |Q|}{r^2} \hat{r}}$$

A intensidade de campo elétrico não depende da existência da carga de prova.



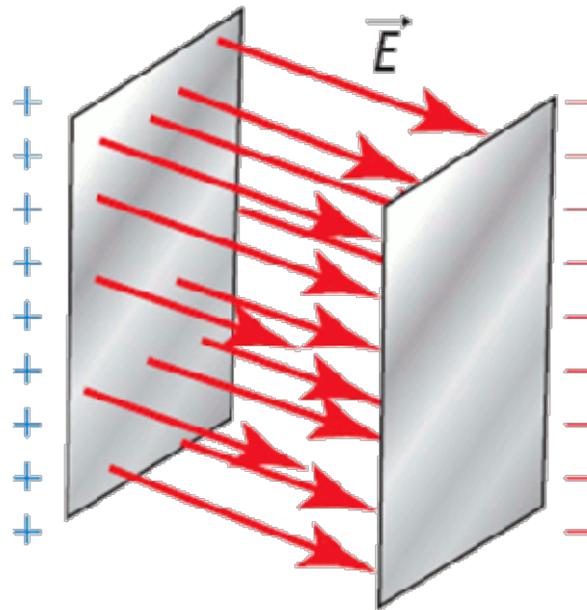


Determine o módulo do campo elétrico gerado no ponto A considerando que o lado do paralelogramo é igual a 1m.



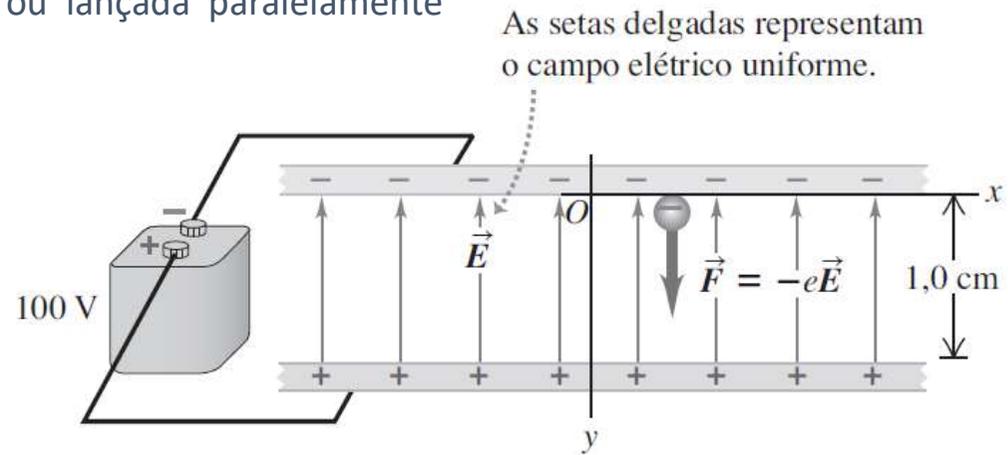
Campo elétrico uniforme

Para produzi-lo, precisa-se de duas placas paralelas, carregadas com sinais opostos e bem próximas, de modo que a distância entre elas seja muito menor que o comprimento das placas.

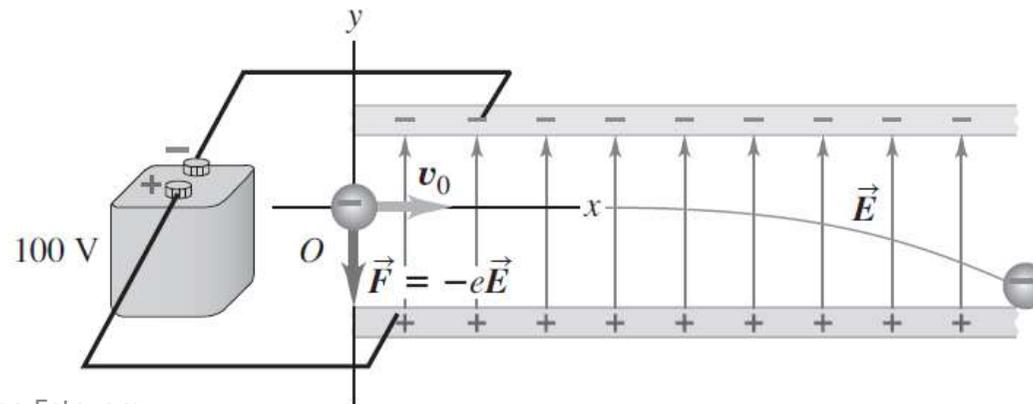


Prof. Dr. Giuliano Estevam

Carga abandonada ou lançada paralelamente ao campo elétrico

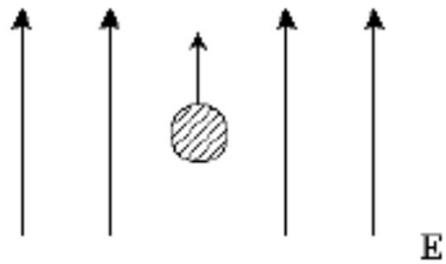


Carga lançada perpendicularmente ao campo elétrico



Prof. Dr. Giuliano Estevam

Uma gota de óleo de massa $m=1\text{mg}$ e carga $q=2 \times 10^{-7}\text{C}$, é solta em uma região de campo elétrico uniforme E , conforme mostra a figura a seguir. Mesmo sob o efeito da gravidade, a gota move-se para cima, com uma aceleração de 1m/s^2 . Determine o módulo do campo elétrico, em V/m .

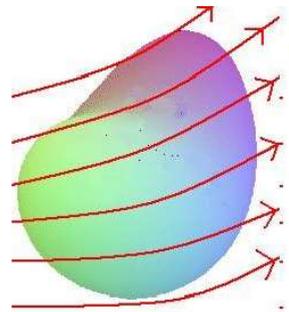


Um elétron está numa órbita circular em torno de um próton estacionário. A força centrípeta é provocada pela atração eletrostática entre o próton e o elétron. O elétron tem energia cinética de $2,18 \times 10^{-18} \text{ J}$. a) Qual a velocidade do elétron? b) Qual o raio da órbita do elétron?

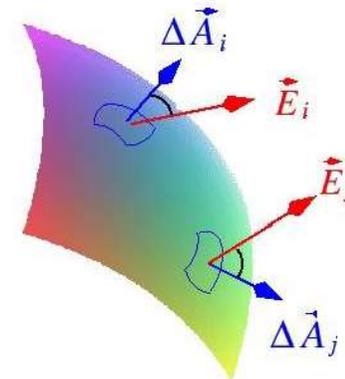
Na experiência de Millikan, uma gota de raio 1,64mm e densidade de 0,851g/cm³ fica suspensa na câmara inferior quando o elétrico aplicado tem módulo igual a 1,92x10⁵ N/C e aponta verticalmente para baixo. Determine a carga da gota em termos de e (carga elétrica elementar)

Fluxo Elétrico, Φ

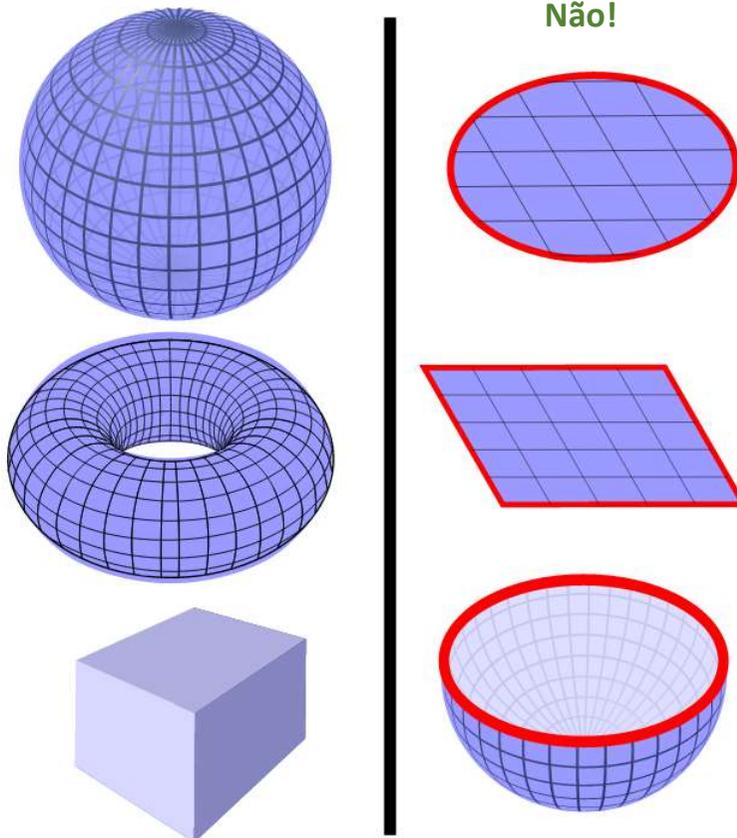
O cálculo do fluxo de campo consiste em contar a quantidade de linhas de campo que atravessam determinada área.



O fluxo de campo pode ser relacionado com a intensidade da componente do campo que atravessa a área perpendicularmente a ela.

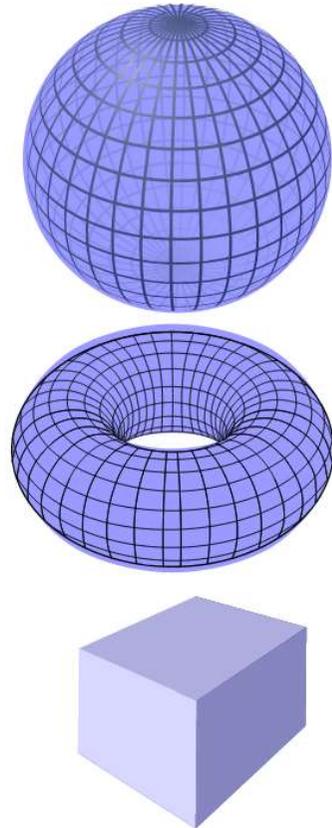


Superfícies gaussianas



Prof. Dr. Giuliano Esteves

Superfícies gaussianas

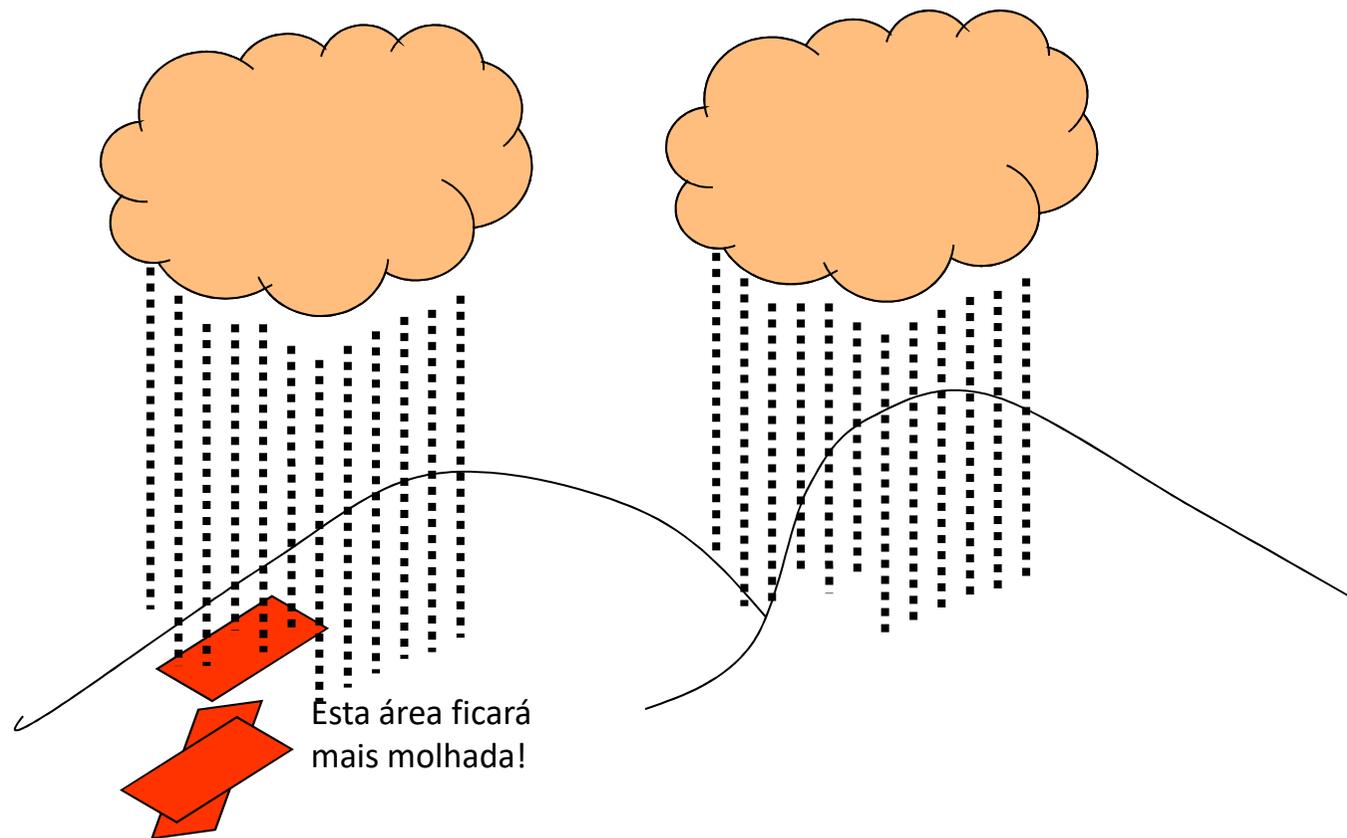


Atenção!

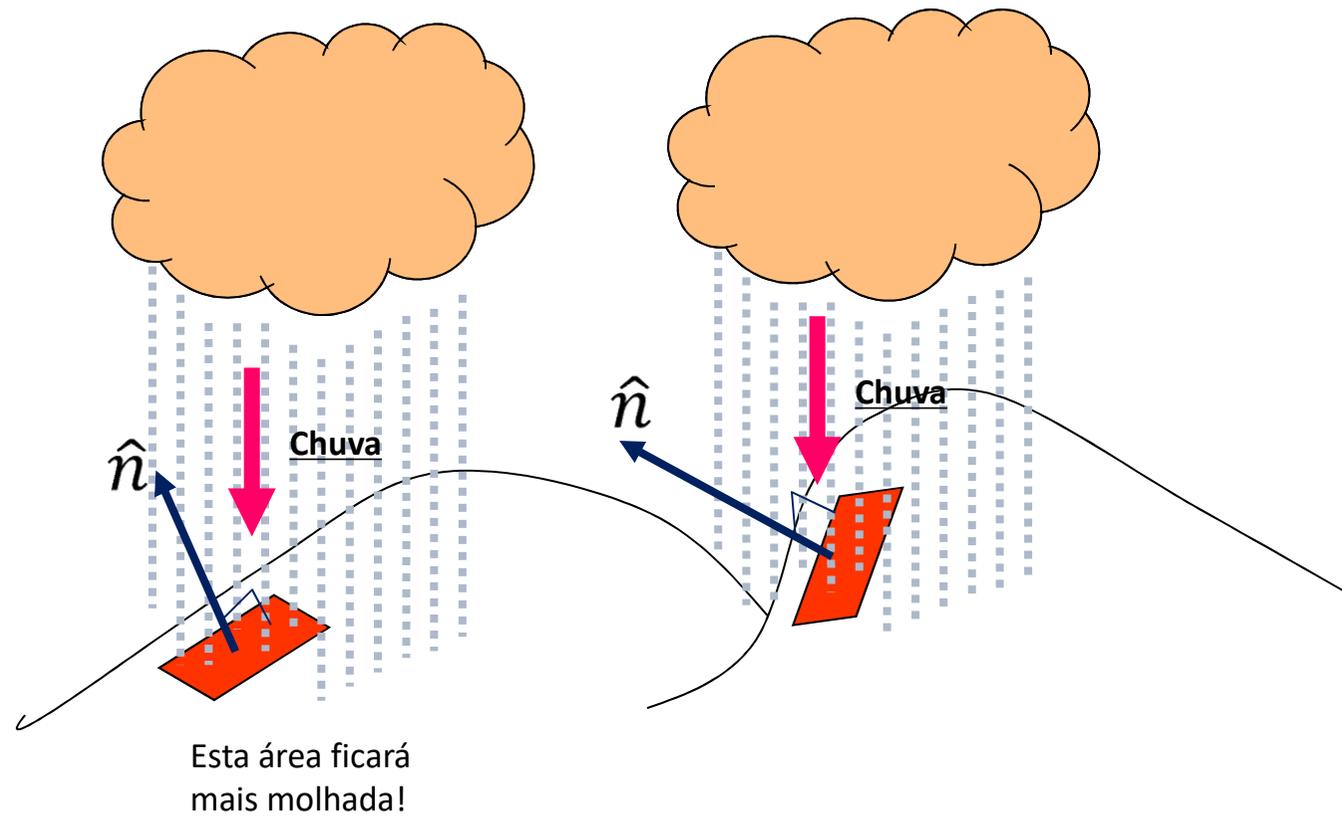
As superfícies gaussianas são imaginárias!

Não é necessário que exista um corpo sólido com o formato da superfície!

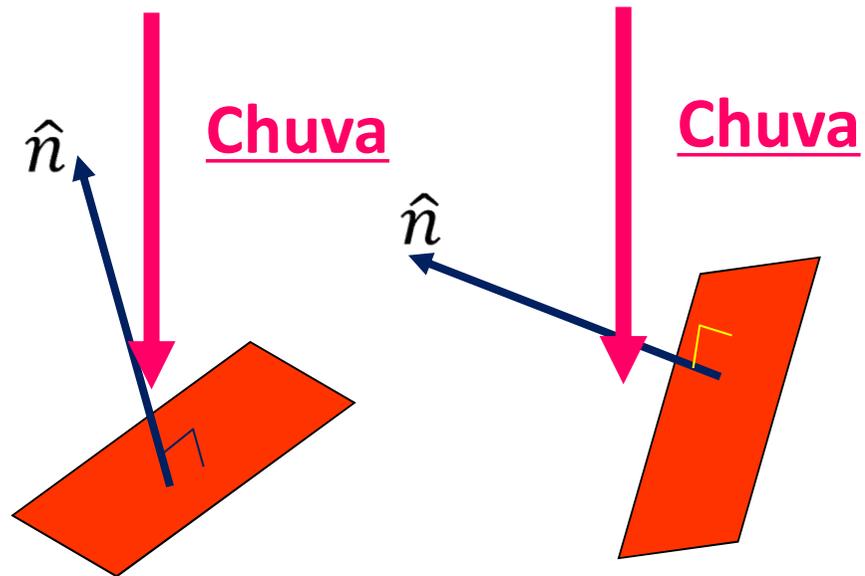
Entendendo o fluxo



Entendendo o fluxo

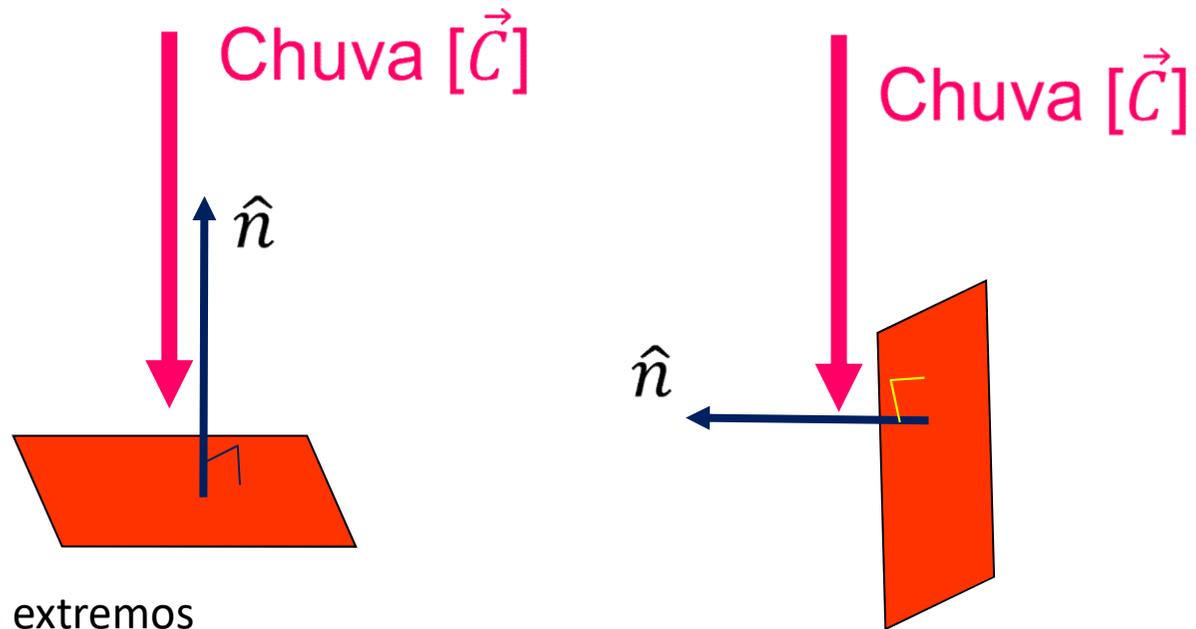


Entendendo o fluxo



Como as áreas são iguais, fica evidente que a quantidade de chuva que “molha” cada área retangular depende do ângulo entre a área e a direção de caída da chuva!

Entendendo o fluxo



Casos extremos

- Vetores \vec{C} e \hat{n} em 180° ou 0 : máximo “molhamento”
- Vetores \vec{C} e \hat{n} em 90° : a chuva não molha a superfície

Fluxo de chuva através de uma área A

- $\text{Fluxo}_{\text{chuva}} = \vec{C} \cdot \hat{n} \cdot A$ (produto escalar de dois vetores)
 - $(C \times n \times \cos \theta) \times \underline{A}$
 - $C \cdot A \cos \theta$
- $\text{Fluxo}_{\text{chuva}} = 0$ para $\theta=90^\circ \Leftarrow \cos(\theta) = 0$
- $\text{Fluxo}_{\text{chuva}} = - C \cdot dA$ para $\theta = 180^\circ \Leftarrow \cos(\theta) = -1$
 - Generalizando:
 $\text{Fluxo}_{\text{chuva}} = C \cdot A \cos \theta$

Fluxo do Campo Elétrico (Φ)

O Fluxo do Campo Elétrico pode ser calculado através do produto do campo elétrico pela área, considerando-os como *vetores*:

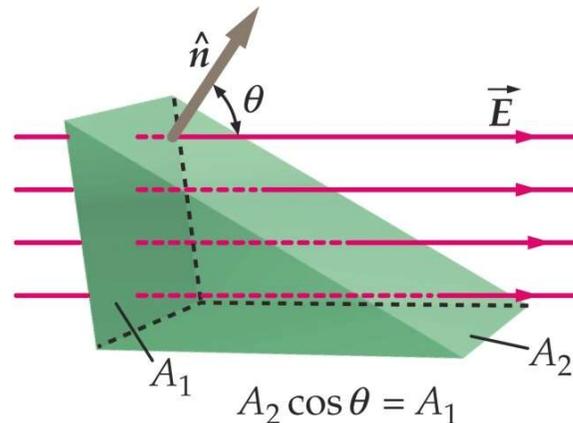
- Caso 1: Os vetores \underline{E} e \underline{A} são paralelos

$$\Phi = 0$$

- Caso 2: Se os vetores \underline{A} e \underline{E} não são paralelos, o fluxo é dado pelo produto escalar dos dois vetores:

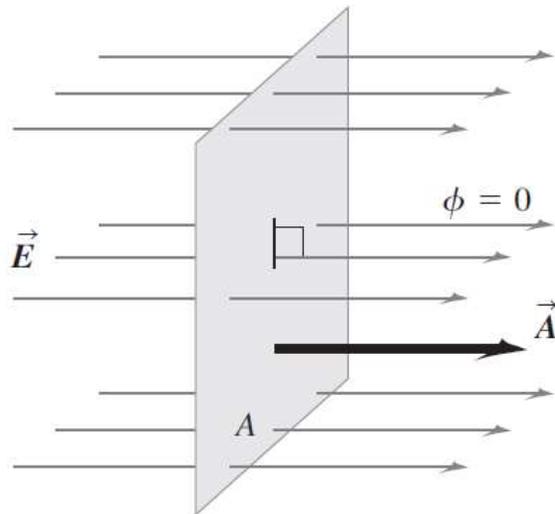
$$\Phi = \vec{E} \cdot \hat{n} \cdot A$$
$$\Phi = E \cdot A \cos \theta$$

Prof. Dr. Giuliano Estevam

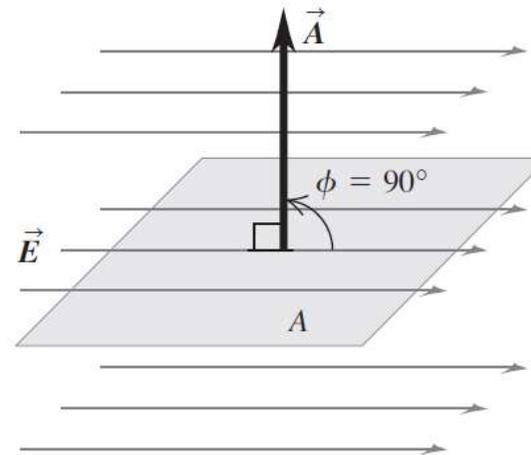


Fluxo do Campo Elétrico (Φ)

- (a) A superfície é frontal ao campo elétrico:
 \vec{E} e \vec{A} são paralelos (o ângulo entre \vec{E} e \vec{A} é $\phi = 0$).
• O fluxo $\Phi_E = \vec{E} \cdot \vec{A} = EA$.

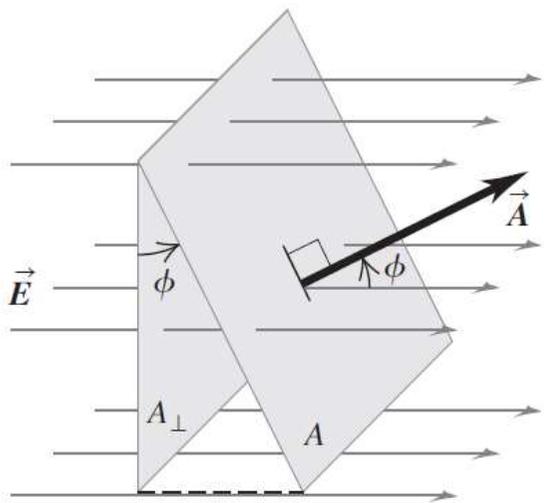


- (c) A superfície é lateral ao campo elétrico:
• \vec{E} e \vec{A} são perpendiculares (o ângulo entre \vec{E} e \vec{A} é $\phi = 90^\circ$).
• O fluxo $\Phi_E = \vec{E} \cdot \vec{A} = EA \cos 90^\circ = 0$.



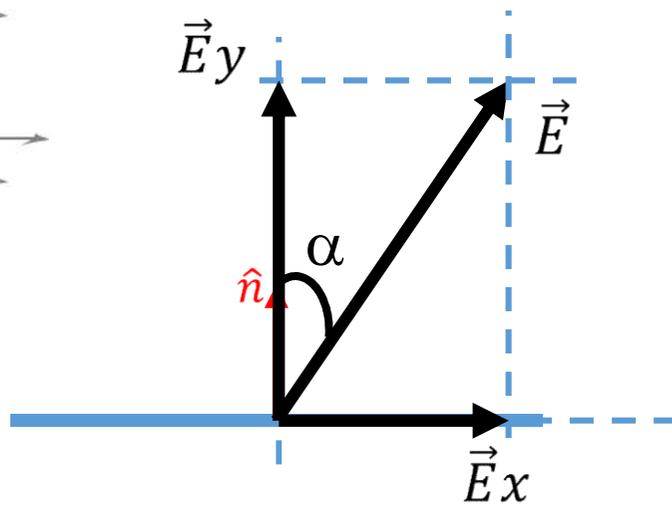
(b) A superfície está inclinada em relação a uma orientação frontal, formando um ângulo ϕ :

- O ângulo entre \vec{E} e \vec{A} é ϕ .
- O fluxo $\Phi_E = \vec{E} \cdot \vec{A} = EA \cos \phi$.



$$E_y = E \cdot \cos \alpha$$

$$E_x = E \cdot \sin \alpha$$

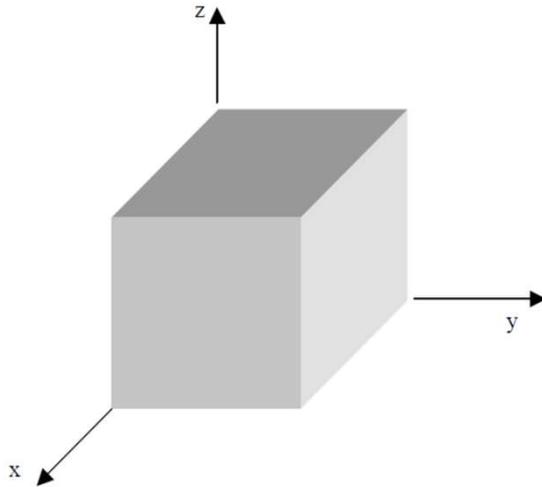


$$\Phi = E \cdot A \cdot \cos \alpha$$

$$\Phi = \vec{E} \cdot \hat{n} A$$

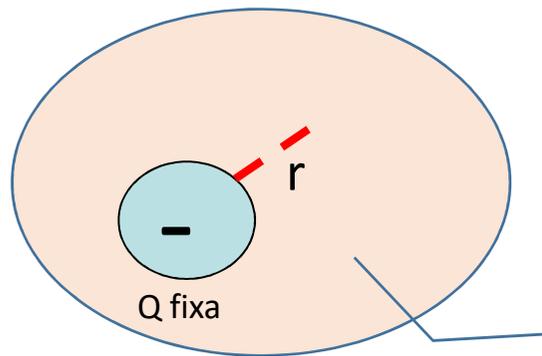
48) Consideremos um campo elétrico uniforme $\vec{E} = 2000 \text{ N/C } \hat{i}$. a) Qual o fluxo deste campo através de um quadrado de lado 10cm num plano paralelo ao plano yz? b) Qual o fluxo através do mesmo quadrado se a normal do seu plano fizer um ângulo de 30° com o eixo dos x?

52) Um cubo de aresta 1,4m está orientado de acordo com a figura, numa região de campo elétrico uniforme. Determine o fluxo elétrico através da face da direita se o campo elétrico em Newtons por Coulomb, for dado por a) $6\hat{i}$, b) $-2\hat{j}$ e c) $-3\hat{i} + 4\hat{k}$. d) Qual o fluxo total através do cubo para cada um dos campos? R: a) zero; b) $-3,92\text{wb}$; c) zero; d) zero para cada campo.



ENERGIA POTENCIAL ELÉTRICA

Toda carga dentro do campo elétrico está potencialmente em condições de adquirir movimento. Portanto essa carga armazena energia potencial elétrica.



$$E_{pot} = K \frac{Q \cdot q}{r} \text{ (J)}$$

CAMPO ELÉTRICO

infinito
○
q

POTENCIAL ELÉTRICO

Grandeza escalar associada a posição ocupada pela carga elétrica, quantifica a energia necessária para transportar 1C de carga do infinito a um ponto de um campo elétrico. É definida como a energia potencial elétrica por **unidade de carga**.

$$V = \frac{E_{pot}}{q} \text{ (J/C)}$$

Prof. Dr. Giuliano Estevam

POTENCIAL ELÉTRICO GERADO POR CARGA PUNTIFORME

$$V_A = \frac{E_{potA}}{q}$$

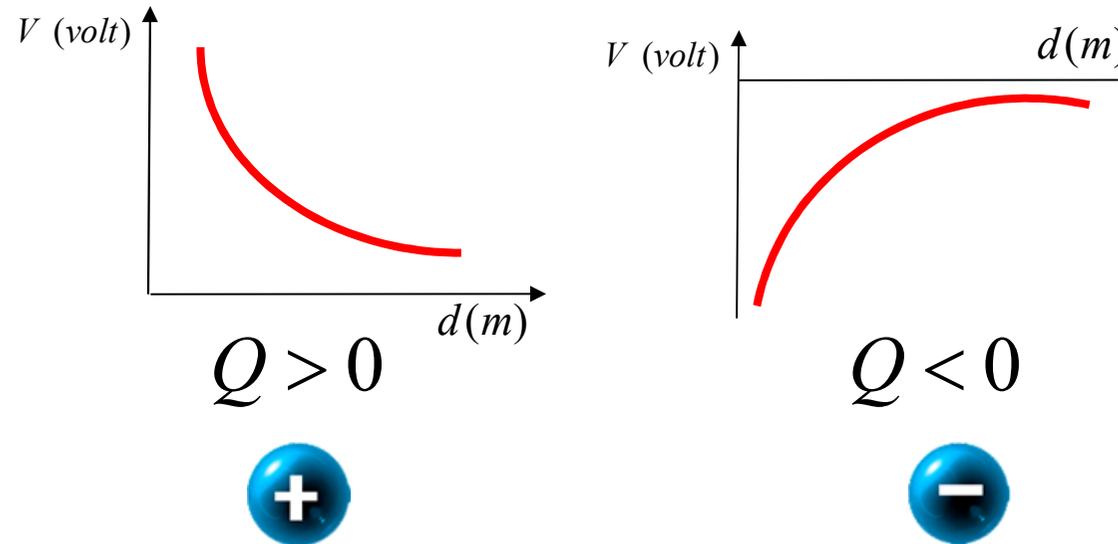
$$E_{pot A} = K \frac{Q \cdot q}{r_A}$$

$$V_A = \frac{E_{PA}}{q} = \frac{\cancel{q} \cdot K \cdot \frac{Q}{r_A}}{\cancel{q}} = \frac{K \cdot Q}{r_A}$$

$$V_A = \frac{K \cdot Q}{r_A}$$

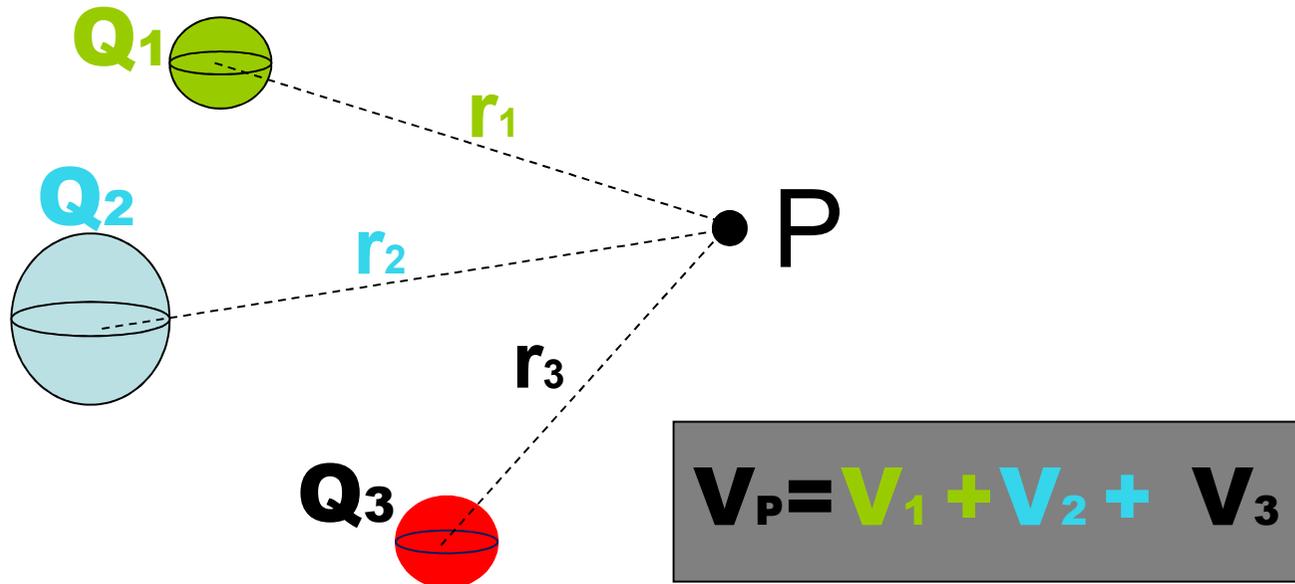
$$\frac{1 \text{ joule}}{1 \text{ coulomb}} = 1 \text{ volt} = 1V$$

GRÁFICO DO POTENCIAL ELÉTRICO



O gráfico representativo do potencial em função da distância à carga geradora é denominada hipérbole equilátera e o nível zero do potencial criado por uma carga puntiforme está no “infinito”.

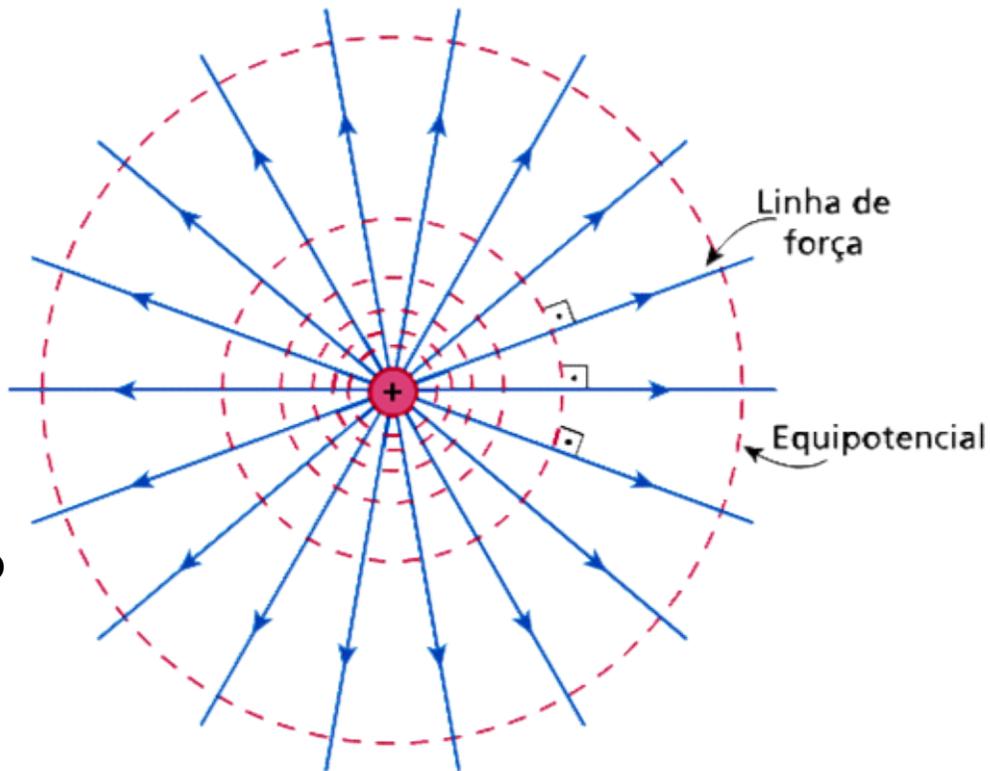
POTENCIAL DE VÁRIAS CARGAS



O POTENCIAL NUMA REGIÃO SOBRE A INFLUÊNCIA DE VÁRIOS CAMPOS É A SOMA DOS POTENCIAIS ELÉTRICOS GERADO POR ESSES CAMPOS

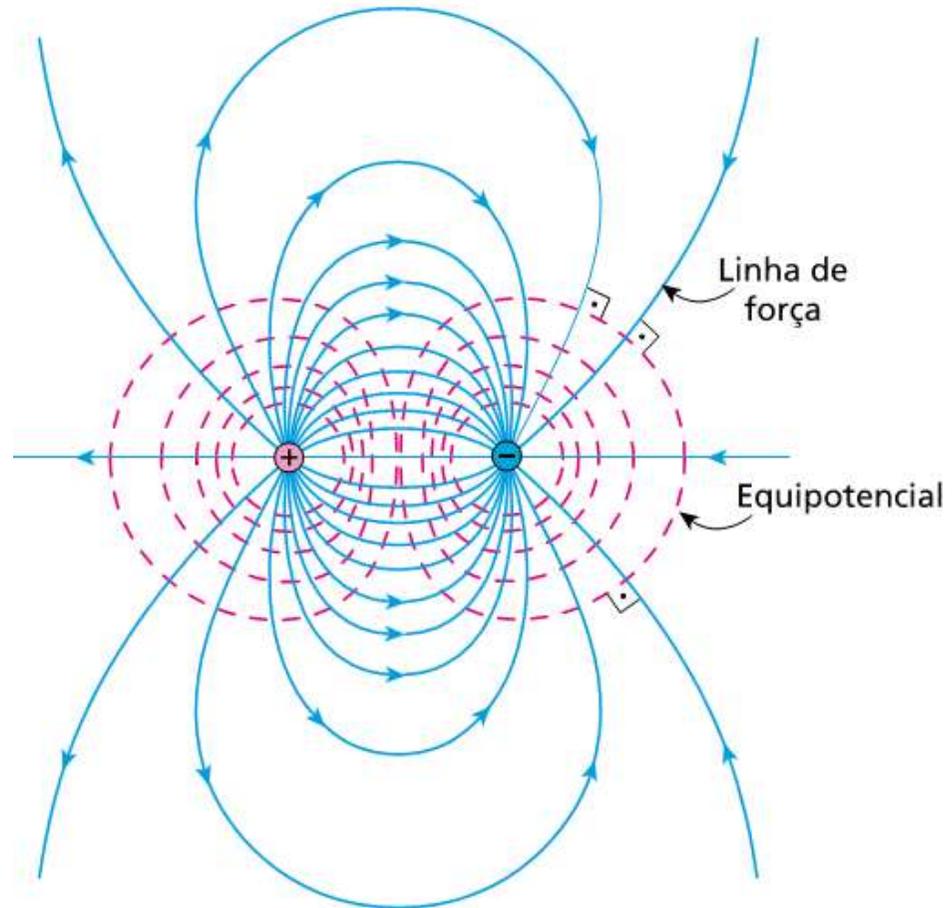
SUPERFÍCIES EQUIPOTENCIAIS

Equipotenciais são linhas (no plano) ou superfícies (no espaço) onde o potencial, em todos os pontos, assume o mesmo valor algébrico.



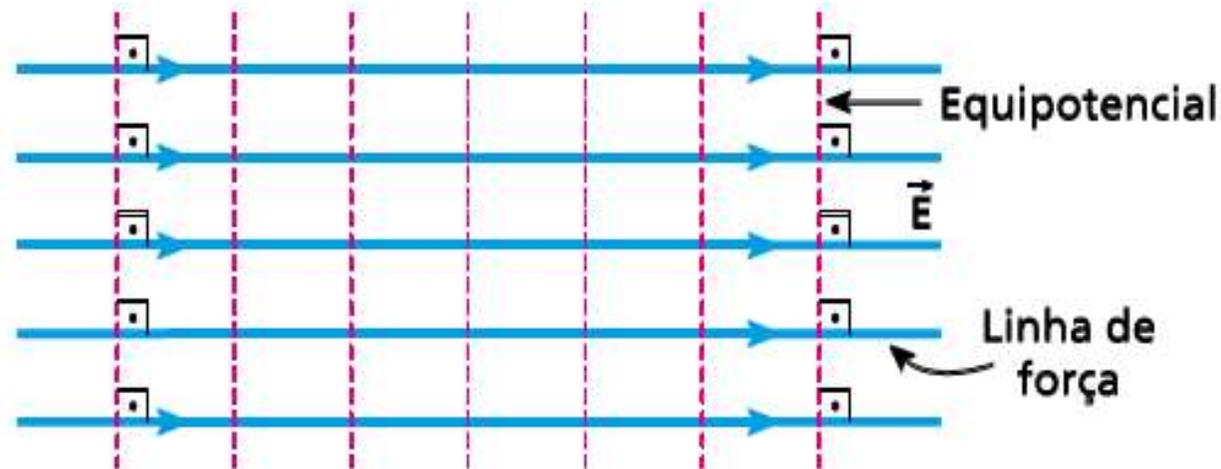
As equipotenciais são perpendiculares às linhas de força.

SUPERFÍCIES EQUIPOTENCIAIS



Prof. Dr. Giuliano Estevam

SUPERFÍCIES EQUIPOTENCIAIS EM UM CAMPO ELÉTRICO UNIFORME



Equipotenciais são linhas (no plano) ou superfícies (no espaço) onde o potencial, em todos os pontos, assume o mesmo valor algébrico.

As equipotenciais são perpendiculares às linhas de força.

Tensão de passo e toque

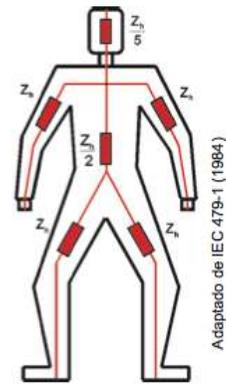


Figura 1 - Equivalente elétrico

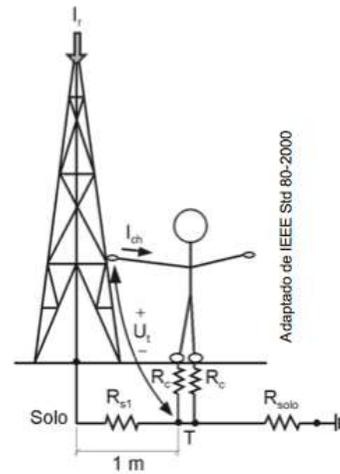


Figura 2 - Potencial de toque

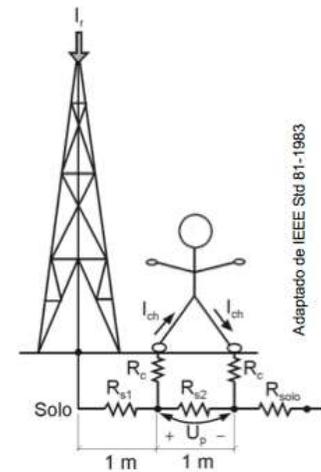
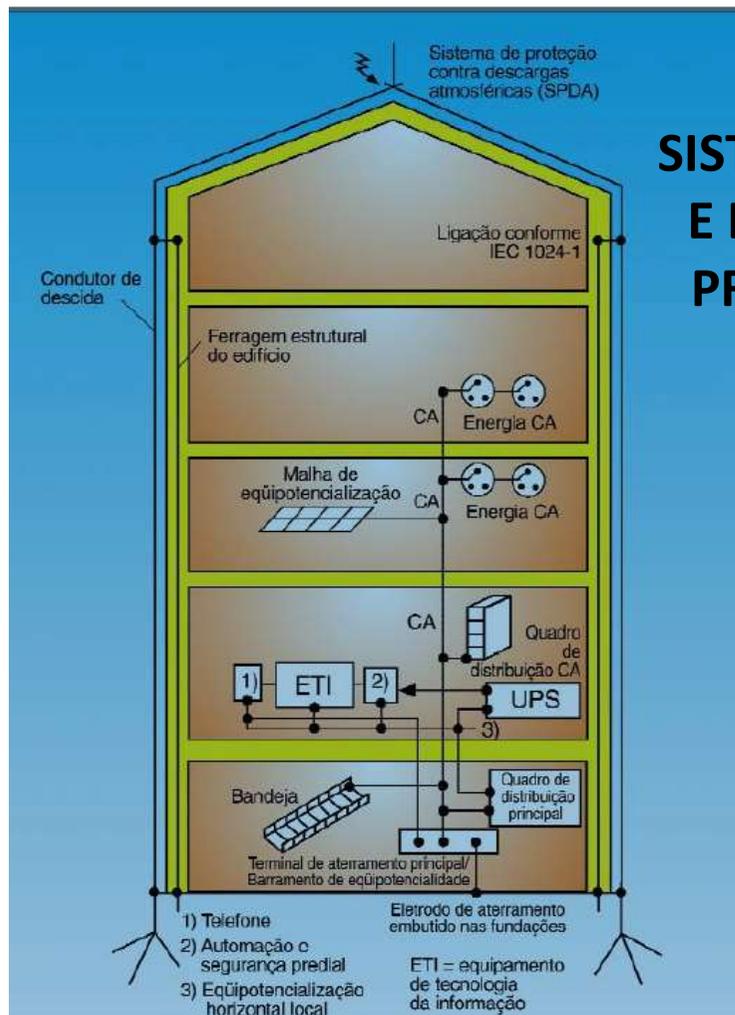


Figura 3 - Potencial de passo



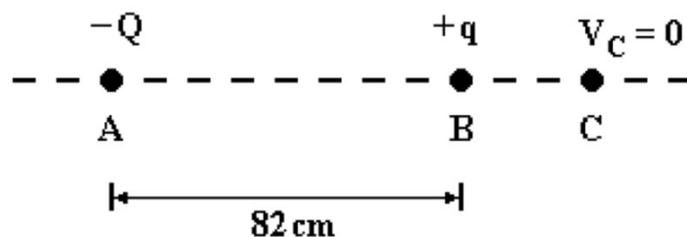
SISTEMA DE ATERRAMENTO E EQUIPOTENCIALIZAÇÃO PROPOSTO PELA NORMA 5410



Prof. Dr. Giuliano Estevam

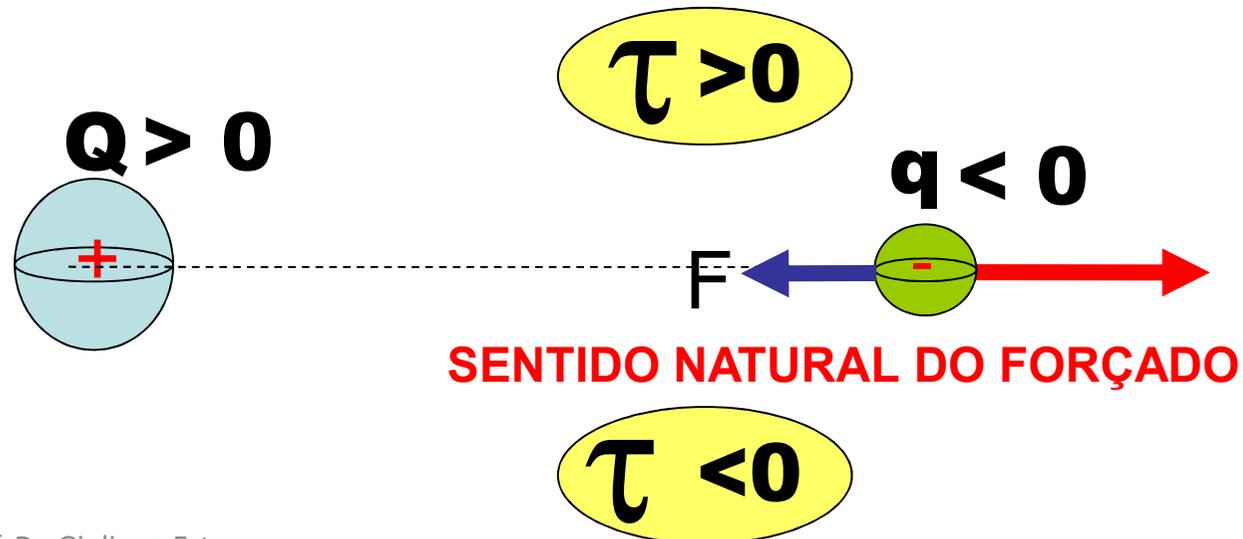


53) Duas cargas elétricas $-Q$ e $+q$ são mantidas nos pontos A e B, que distam 82cm um do outro (ver figura). Ao se medir o potencial elétrico no ponto C, à direita de B e situado sobre a reta que une as cargas, encontra-se um valor nulo. Se $|Q|=3|q|$, qual o valor em centímetros da distância BC? R: 41cm



55) Quatro cargas puntiformes de $2\mu\text{C}$ estão nos vértices de um quadrado de 4m de lado. Determinar o potencial elétrico no centro do quadrado se a) todas as cargas forem positivas; b) três cargas forem positivas e uma negativa; c) duas forem positivas e duas forem negativas.

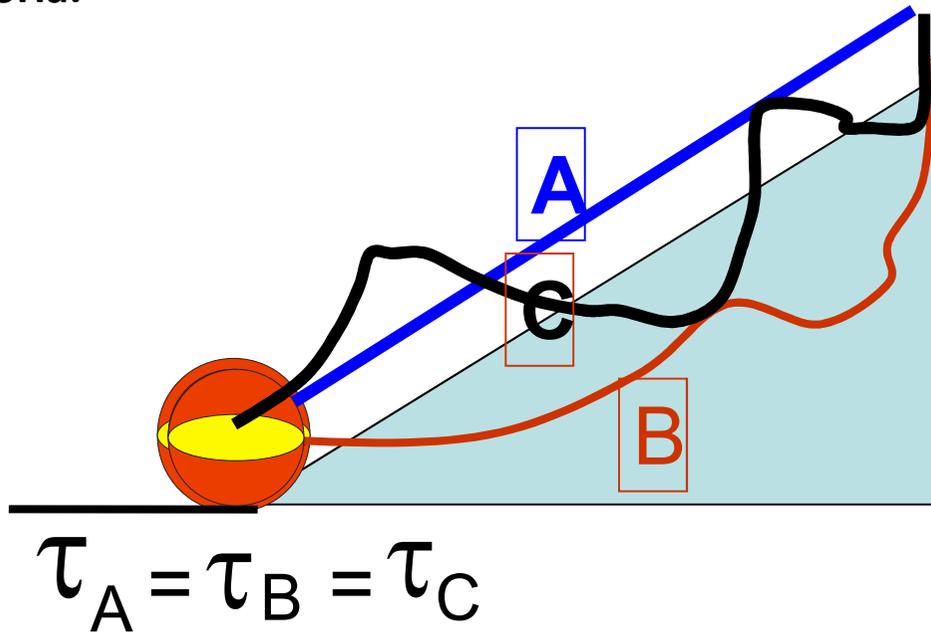
TRABALHO DA FORÇA ELÉTICA



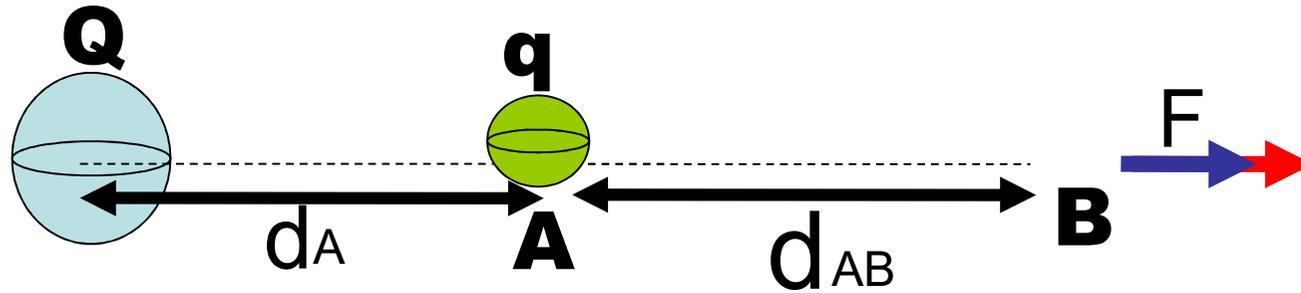
Sendo a força elétrica uma força conservativa, o trabalho realizado não depende da trajetória.

Ex.

- Peso
- Força elétrica
- Força elástica



O Trabalho não depende da trajetória.



$$\tau_{AB} = F \cdot d_{AB}$$

$$\tau_{AB} = \varepsilon_A - \varepsilon_B$$

$$\tau_{AB} = K \frac{Q q}{d_A} - K \frac{Q q}{d_B}$$

$$U_{AB} = V_A - V_B$$

$$\tau_{AB} = q \left(K \frac{Q}{d_A} - K \frac{Q}{d_B} \right)$$

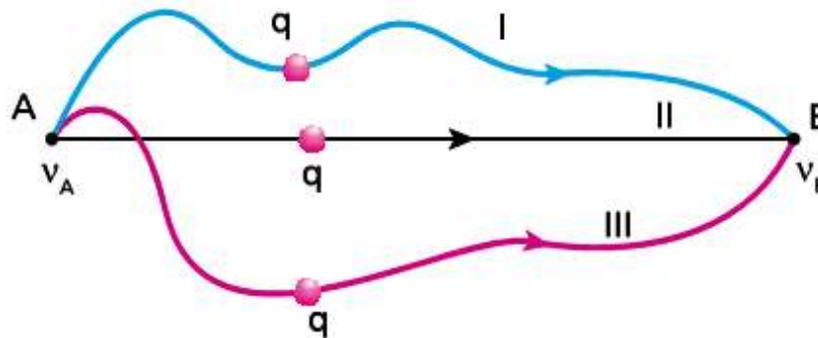
$$\tau_{AB} = q U_{AB}$$

$$\tau_{AB} = q (V_A - V_B)$$

Prof. Dr. Giuliano Estevam

TRABALHO DA FORÇA ELÉTRICA

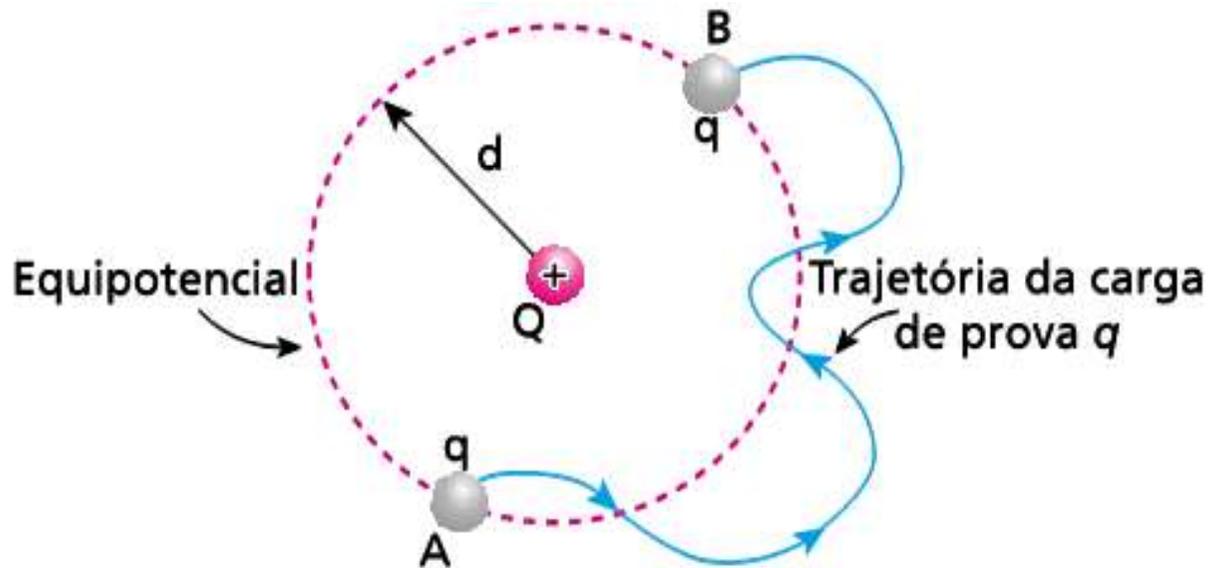
O trabalho realizado pela força elétrica sobre uma partícula eletrizada com carga q , quando esta se desloca do ponto A para o ponto B desse campo, não depende da trajetória seguida por ela, pois a força elétrica é conservativa.



$$\boxed{T_I = T_{II} = T_{III}} \quad \Rightarrow \quad \boxed{T_{A \rightarrow B} = q(V_A - V_B)}$$

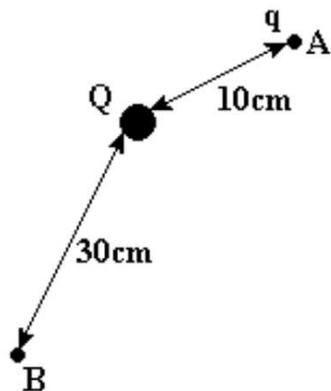
Prof. Dr. Giuliano Estevam

TRABALHO DA FORÇA ELÉTRICA



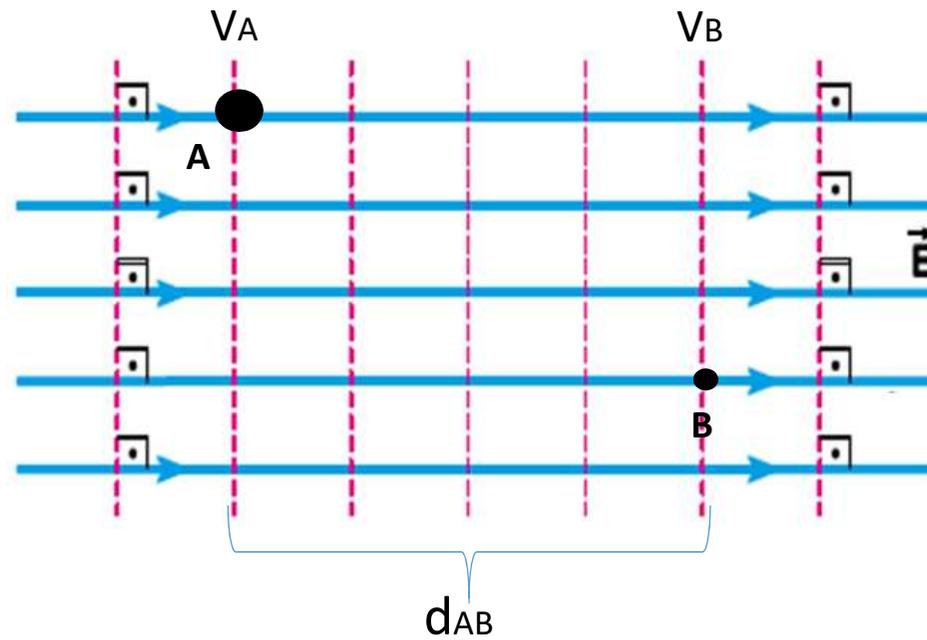
$$T_{A \rightarrow B} = 0$$

59) Na figura a seguir, $Q=20\mu\text{C}$ e $q =1,5\mu\text{C}$ são cargas puntiformes no vácuo ($k=9.10^9\text{N.m}^2/\text{C}^2$). Determine o trabalho realizado pela força elétrica em levar a carga q do ponto A para o B. R: 1,8 J



57) Os pontos A, B e C estão nos vértices de um triângulo equilátero de lado 3m. Em A e B estão cargas positivas e iguais a $2\mu\text{C}$. a) Qual o potencial elétrico no ponto C; b) Qual o trabalho necessário para trazer uma carga de $5\mu\text{C}$ do infinito até o ponto C, com as outras cargas fixas?

RELAÇÃO ENTRE CAMPO ELÉTRICO E DIFERENÇA DE POTENCIAL



$$\tau = q (V_A - V_B)$$

$$\tau = q (V_A - V_B)$$

$$F_{el} = E \cdot q$$

$$\tau = F_{el} \cdot d_{AB}$$

$$\tau = E \cdot q \cdot d_{AB}$$

$$E \cdot \cancel{q} \cdot d_{AB} = \cancel{q} (V_A - V_B)$$

$$E \cdot d_{AB} = (V_A - V_B)$$

$$E \cdot d_{AB} = U_{AB}$$

DIFERENÇA DE
POTENCIAL (DDP)
 U_{AB}

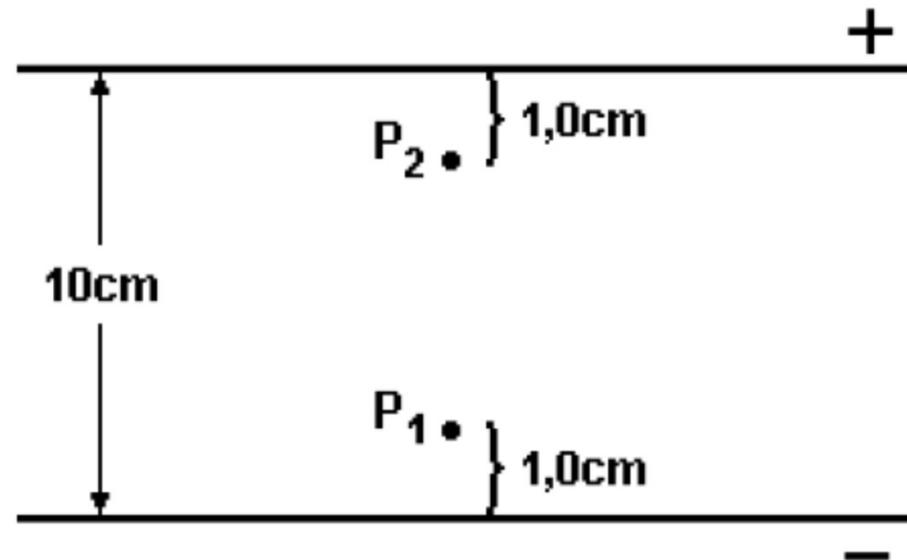
A diferença de potencial entre as duas placas condutoras paralelas indicadas no esquema é 500V.

Dado:

carga do elétron = $1,6 \times 10^{-19} \text{C}$

a) Determine o campo elétrico entre as placas

b) Determine o trabalho realizado pelo campo elétrico, em joules quando um elétron é transportado de P1 a P2.



ELETRICIDADE BÁSICA

2ª Termo

Engenharias:

**Mecânica
Computação
Elétrica
Civil**

AULA 03

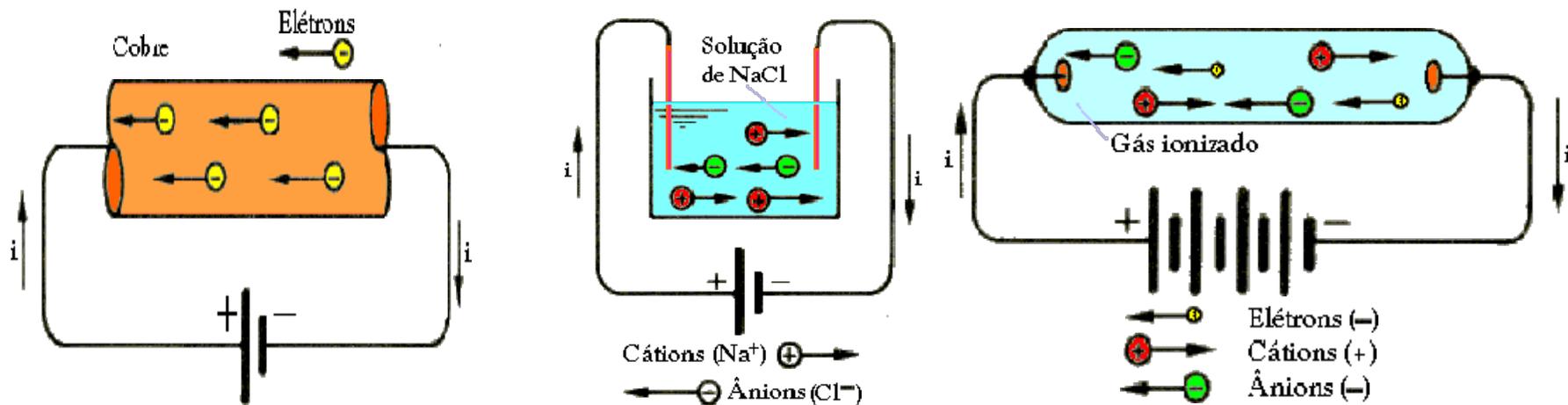
Prof. Dr. Giuliano Pierre Estevam

www.electroenge.com.br



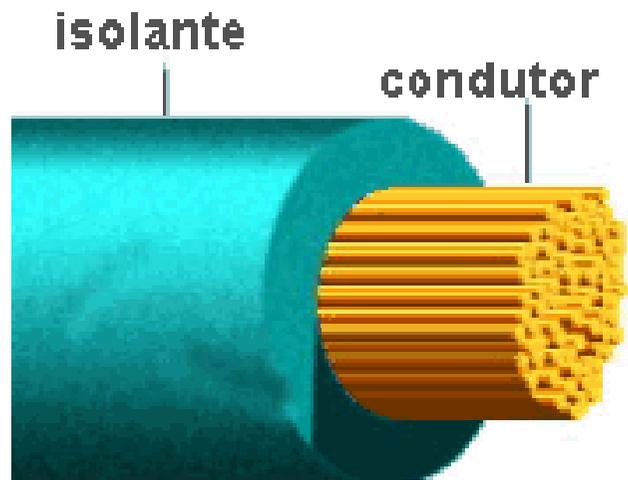
Condutores elétricos

São materiais que apresentam portadores de cargas elétricas (elétrons ou íons) quase livres, o que facilita a mobilidade dos mesmos em seu interior. São considerados bons condutores, materiais com alto número de portadores de cargas elétricas livres e que apresentam alta mobilidade desses portadores de cargas elétricas.



Isolantes ou dielétricos

Os materiais isolantes se caracterizam por não apresentar portadores de cargas elétricas livres para movimentação. Nesses materiais, a mobilidade dos portadores de cargas elétricas é praticamente nula, ficando os mesmos praticamente fixos no seu interior.



Exemplos: borracha, madeira, água pura, etc

Corrente elétrica

Movimento ordenado de portadores de carga elétrica ao longo de um condutor, isto é, é o movimento que ocorre numa direção e num sentido definido.

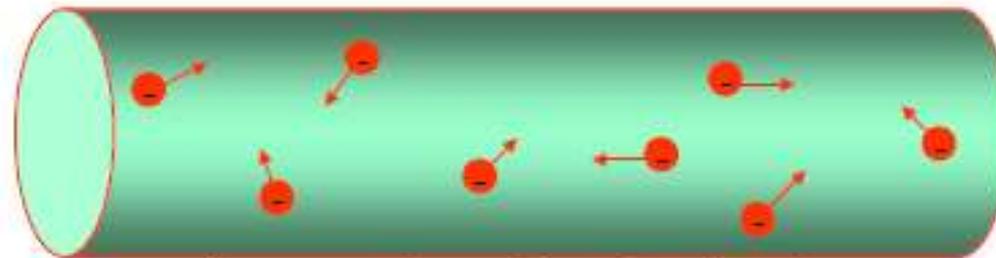
CAUSAS DA CORRENTE ELÉTRICA

ddp (diferença de potencial) ou tensão elétrica entre os terminais do condutor

Circuito fechado

Corrente elétrica

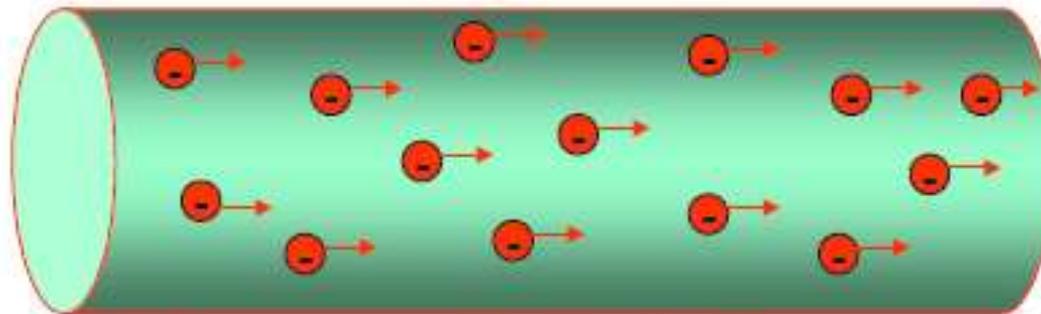
Nos metais, os elétrons das últimas camadas são fracamente ligados a seu núcleo atômico, podendo facilmente locomover-se pelo material. Geralmente, este movimento é aleatório, ou seja, **desordenado, não seguindo uma direção privilegiada.**



Movimento desordenado de elétrons
(elétrons livres num condutor
metálico)

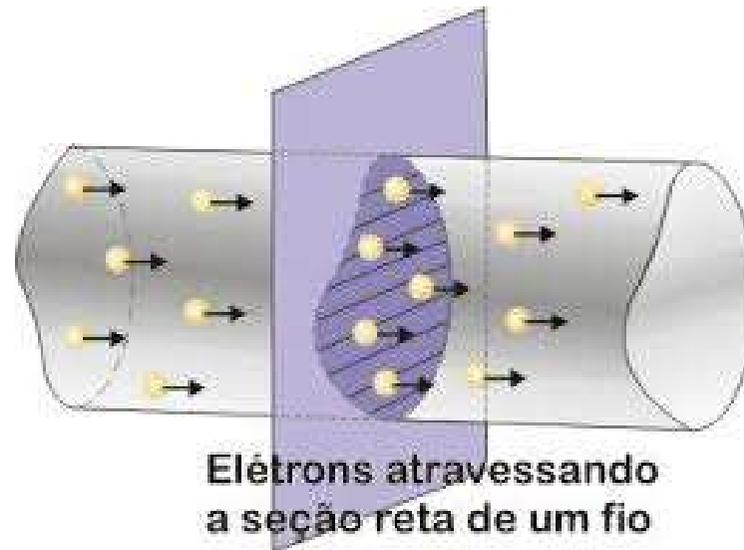
Corrente elétrica

Quando o metal é submetido a uma diferença de potencial elétrico (**ddp**), como quando ligado aos dois pólos de uma pilha ou bateria, os elétrons livres do metal adquirem um **movimento ordenado**.



Movimento ordenado de elétrons.

Intensidade de Corrente elétrica



A intensidade de corrente elétrica é dada por:

$$i = \frac{\Delta q}{\Delta t} \text{ (A)}$$

Medido em segundos

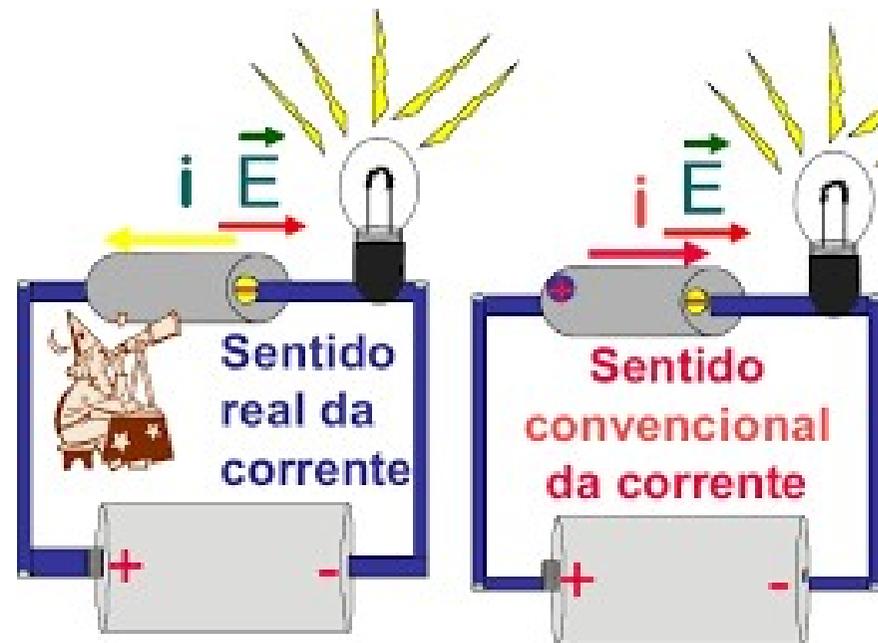
Sendo :

Δq é a quantidade de carga que atravessa a secção reta do condutor num determinado intervalo de tempo (Δt).

SENTIDO DA CORRENTE ELÉTRICA

Inicialmente, nos **condutores sólidos**, pensava-se que a **corrente elétrica** era consequência do movimento de **cargas positivas**. Dessa forma, o sentido da corrente seria do potencial maior(+) para o potencial menor(-). Esse sentido chamou-se de **CONVENCIONAL**.

Sabemos então que o sentido **REAL** da **corrente elétrica(elétrons)** é do potencial menor(-) para o maior potencial(+), isto é, contrário ao sentido do campo elétrico estabelecido no interior do condutor.



TIPOS DE CORRENTE ELÉTRICA

CORRENTE CONTÍNUA (CC OU DC)

Quando a **intensidade da corrente elétrica** e o **sentido do deslocamento** permanecem constantes, chamamos essa corrente de **CORRENTE CONTÍNUA CONSTANTE**. Essa corrente é gerada por pilhas e baterias.

Quando o sentido permanece constante, mas a intensidade passa por variações, então ela será chamada de **CORRENTE CONTÍNUA PULSANTE**.

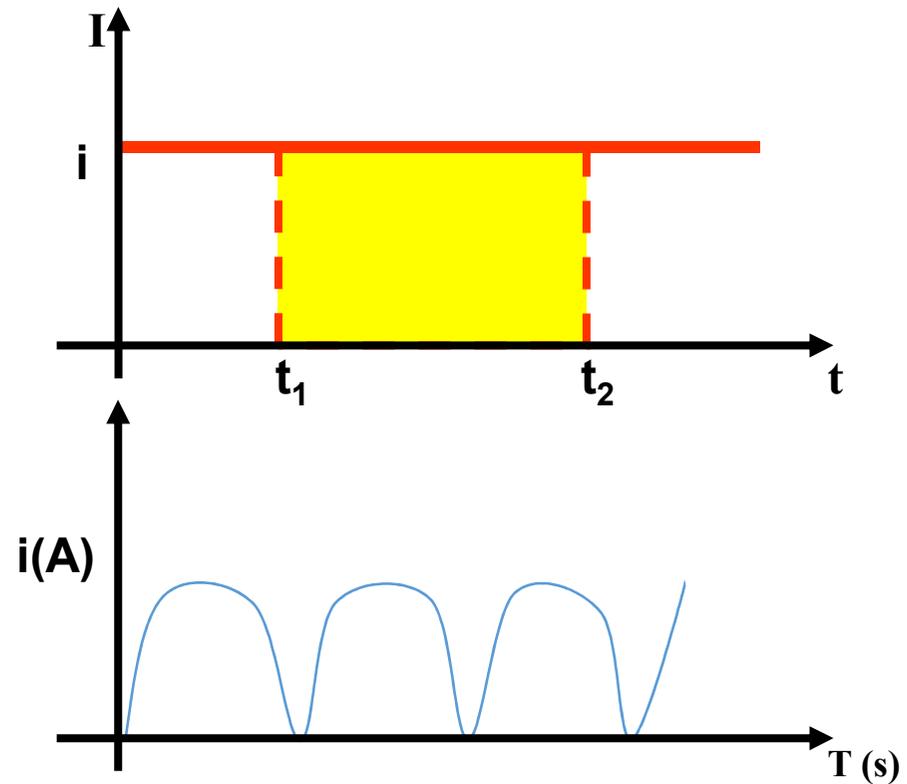
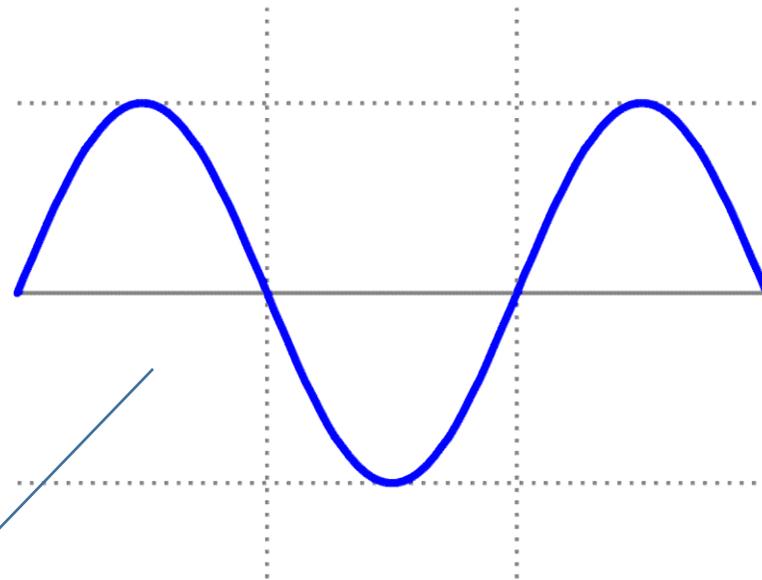


Fig. 5 – Gráfico da corrente contínua pulsante

TIPOS DE CORRENTE ELÉTRICA

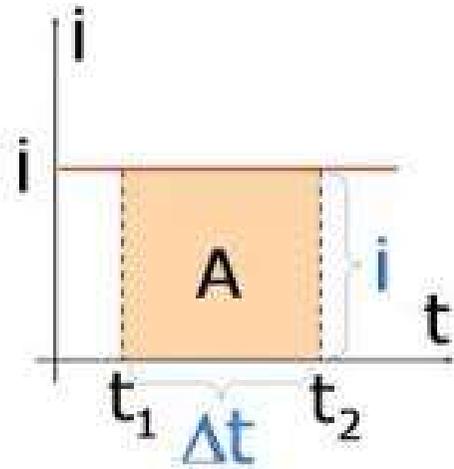
CORRENTE ALTERNADA (CA OU AC)

Quando o sentido da corrente alterna e a intensidade varia entre um máximo e um mínimo, então ela será chamada de **CORRENTE ALTERNADA (AC)**. É gerada pelas hidroelétricas.



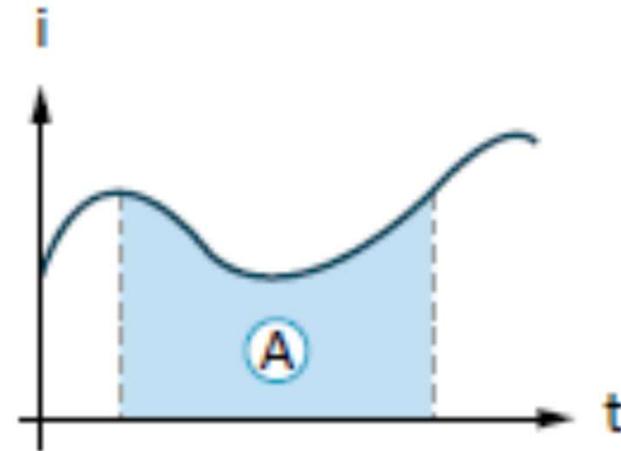
$$v(t) = V \text{sen}(\omega t + \varphi)$$

GRÁFICO $i \times t$



$$A^N = \Delta t i$$
$$A^N = \Delta t \cdot \frac{Q}{\Delta t}$$

$$A^N = Q$$



VÁLIDA PARA
CORRENTE
VÁRIÁVEL

EXERCÍCIOS

78) Uma corrente de 5A percorre um resistor de 10Ω durante 4 min. Quantos (a) coulombs e (b) elétrons passam através da seção transversal do resistor nesse intervalo de tempo?

R: a) 1200C , b) $7,5 \times 10^{21}$

79) A corrente num feixe de elétrons de um terminal de vídeo é de $200\mu\text{A}$. Quantos elétrons golpeiam a tela a cada segundo?

81) Pela seção reta de um condutor de eletricidade passam 12,0C a cada minuto. Nesse condutor, determine a intensidade da corrente elétrica, em ampéres. R: 0,20

82) Uma lâmpada permanece acesa durante 5 minutos por efeito de uma corrente de 2A, fornecida por uma bateria. Determine, nesse intervalo de tempo, a carga total (em C) liberada pela bateria. R: 600.

Efeitos da corrente elétrica

EFEITO TÉRMICO – EFEITO JOULE

Quando os **elétrons livres** são acelerados no interior dos condutores, eles **colidem** com os átomos do material. Essas colisões transferem energia fazendo com que esses átomos aumentem sua **VIBRAÇÃO**. Essa situação, macroscopicamente é evidenciada pelo **aumento da temperatura do condutor** gerando o **CALOR**. Esse efeito também é conhecido por **EFEITO JOULE**.

- # CHUVEIROS ELÉTRICOS
- # FERROS ELÉTRICOS
- # FUSÍVEIS
- # SECADOR DE CABELO
- # CHAPINHA
- # LÂMPADA INCANDESCENTE

Efeitos da corrente elétrica

EFEITO QUÍMICO

Quando uma **corrente elétrica** atravessa uma solução de ácido sulfúrico, por exemplo, observamos a formação dos gases **oxigênio e hidrogênio** no cátodo e ânodo. A corrente produz uma ação nos elementos da substância.

EFEITO MAGNÉTICO

Quando a **corrente elétrica** percorre um condutor, ela produz em torno desse condutor um **campo magnético**.

Efeitos da corrente elétrica

EFEITO LUMINOSO

O efeito luminoso é uma consequência do efeito Joule. Após o condutor ser aquecido, ele então emite ondas eletromagnéticas dentro do espectro da luz visível.



EFEITO FISIOLÓGICO

Por que ocorre o choque?

A corrente elétrica, quando percorre o corpo humano, interfere junto às correntes internas carregadas pelos nervos, dando-nos a sensação de formigamento. Para que o choque ocorra, deve haver uma diferença de potencial entre dois pontos distintos do corpo humano, ou seja, quanto maior for a diferença de potencial, maior será a corrente elétrica, como consequência, o choque também será maior. Geralmente, um desses pontos são os pés, que estão em contato com o solo, e o outro ponto é o que de fato entra em contato com algum aparelho elétrico ou fio elétrico.

Efeitos da corrente elétrica

EFEITO FISIOLÓGICO

Valores aproximados de corrente e os danos que causam:

1 mA a 10 mA – apenas formigamento;

10 mA a 20 mA – dor e forte formigamento;

20 mA a 100 mA – convulsões e parada respiratória;

100 mA a 200 mA – fibrilação;

acima de 200 mA – queimaduras e parada cardíaca.

Fonte: <http://www.brasilecola.com/fisica/choques-eletricos.htm>

EXERCÍCIOS

78) Uma corrente de 5A percorre um resistor de 10Ω durante 4 min. Quantos (a) coulombs e (b) elétrons passam através da seção transversal do resistor nesse intervalo de tempo?

R: a) 1200C , b) $7,5 \times 10^{21}$

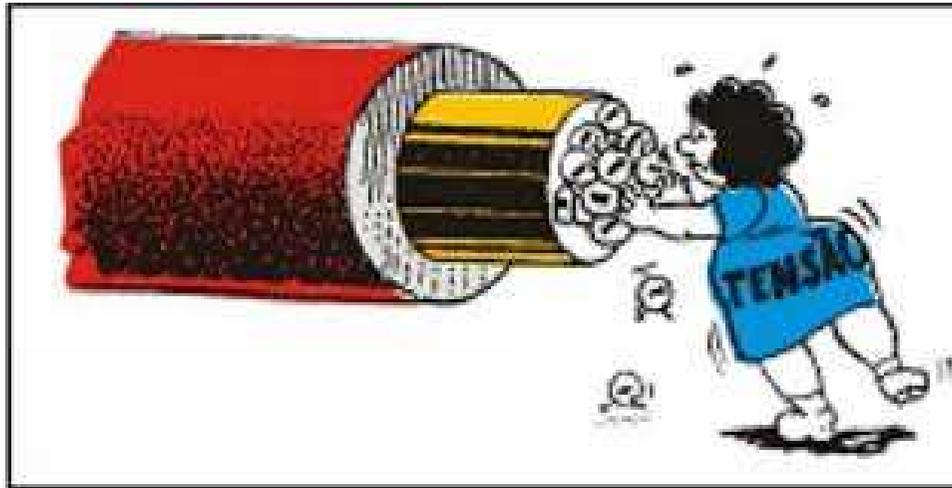
79) A corrente num feixe de elétrons de um terminal de vídeo é de $200\mu\text{A}$. Quantos elétrons golpeiam a tela a cada segundo?

81) Pela seção reta de um condutor de eletricidade passam 12,0C a cada minuto. Nesse condutor, determine a intensidade da corrente elétrica, em ampéres. R: 0,20

82) Uma lâmpada permanece acesa durante 5 minutos por efeito de uma corrente de 2A, fornecida por uma bateria. Determine, nesse intervalo de tempo, a carga total (em C) liberada pela bateria. R: 600.

Tensão elétrica

Representa o trabalho realizado por unidade de carga elétrica para transportá-la entre dois pontos do condutor elétrico.



$$U = \frac{\mathcal{E}}{q_0} \quad \text{Unidade (SI): } \frac{\text{J}}{\text{C}} = \text{V (volts)}$$

$\mathcal{E} \Rightarrow$ trabalho

$q_0 \Rightarrow$ unidade de carga elétrica

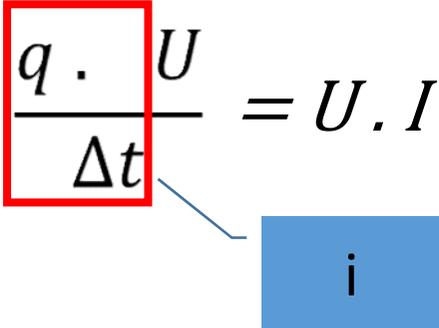
Potência elétrica

Você já esteve em contato com conceito de POTÊNCIA quando estudou o conceito de **ENERGIA** na **MECÂNICA**. Em eletricidade, a **potência da corrente elétrica** tem o mesmo significado. Observe a animação.

A carga elétrica recebe uma certa quantidade de energia potencial elétrica “armazenada” no campo elétrico estabelecido no interior do condutor. Quando a carga elétrica começa a circular pelo condutor (**corrente elétrica**) ao passar na lâmpada, devido ao efeito Joule, a energia potencial elétrica é transformada em Calor num determinado intervalo de tempo.

Potência elétrica

Representa a taxa de transformação de energia no decorrer do tempo.

$$P = \frac{\tau}{\Delta t} = \frac{q \cdot U}{\Delta t} = U \cdot I \text{ (W)}$$


1 kW (quilowatt) = 10^3 W
1 MW (megawatt) = 10^6 W
1 GW (gigawatt) = 10^9 W
1 TW (terawatt) = 10^{12} W

Disjuntores

Dispositivo eletromecânico, que funciona como um interruptor automático, destinado a proteger uma determinada instalação elétrica contra possíveis danos causados por curto-circuitos e sobrecargas elétricas. A sua função básica é a de detectar picos de corrente que ultrapassem o adequado para o circuito, interrompendo-a imediatamente antes que os seus efeitos térmicos e mecânicos possam causar danos à instalação elétrica protegida.



Fusíveis

Dispositivo de proteção contra sobrecorrente em circuitos. Consiste de um filamento ou lâmina de um metal ou liga metálica de baixo ponto de fusão que se intercala em um ponto de uma instalação elétrica, para que se funda, por efeito Joule, quando a intensidade de corrente elétrica que o percorre superar um determinado valor, devido a um curto-circuito ou sobrecarga, o que poderia danificar a integridade dos condutores, com o risco de incêndio ou destruição de outros elementos do circuito.



VALORES NOMINAIS

Em eletricidade a **potência elétrica** passou a ser uma grandeza muito útil porque permite medir o **consumo de energia potencial elétrica** de qualquer aparelho elétrico. Assim os fabricantes de lâmpadas, ferros elétricos, chuveiros elétricos etc., passaram a especificar em seus produtos pelo menos dois valores, chamados de **valores nominais** que são:

- ❖ Tensão nominal ou ddp (U) – *tensão da rede para a qual o produto foi fabricado;*
- ❖ Potência nominal (P) – *potência consumida pelo aparelho.*

‡ *Ao colocarmos um aparelho em funcionamento devemos observar que:*

1) Se a rede elétrica, na qual o aparelho vai ser ligado, apresentar uma ddp menor que a ddp nominal do aparelho, este funcionará em condições abaixo do normal. O aparelho funcionará desenvolvendo uma potência abaixo da potência nominal, ou seja, o funcionamento do aparelho é abaixo do normal.

Consumo de energia

2) Sendo a ddp da rede elétrica igual à ddp nominal do aparelho, este funciona em condições normais.

3) Finalmente, se a ddp da rede elétrica for maior que a ddp nominal do aparelho elétrico, este sofrerá superaquecimento, podendo, em função do tempo de funcionamento, fundir, o que significa queima do aparelho.



LUCALÉ		EC 400W (PFC)		MODEL: 300XXV ₂		S/N: X9046793			
AC INPUT	230V AC 6,3A 50Hz						ATX12V (P4)		
DC OUTPUT	+3,3V	+5V	+12V ₁	+12V ₂	-5V	-12V	+5V SB		
	22A	25A	12A	15A	0,5A	0,5A	2A		
	130W	240W	390W max		8,5W	10W			
CAUTION! HAZARDOUS AREA VORSICHT! GEFAHRENZONE VAROVANI!		Do not remove this cover. Trained service personnel only. No user serviceable components inside. Gehäuse unter keinen Umständen öffnen. Reparaturen nur durch Fachpersonal. Nedemontujte kryt zdroje. Nebezpečí úrazu elektrickým proudem. Opravu přenechte odbornému servisu.						THERMO CONTROL	
						TYPE APPROVED			
						CB			
						PC			
						B			
						CE			
						ME28			
						RoHS			
						WEEE			



Consumo de energia

CÁLCULO DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA



Como a potência dos aparelhos já é conhecida, então podemos calcular o consumo de energia pela expressão

$$\tau = P \cdot \Delta t$$

Embora o joule seja a unidade de energia do S.I., ela não é adequada para medir o consumo de energia das residências e indústrias. Assim teremos:

- P em KW (quilowatt)
- Δt em h (hora)
- τ em KWh (quilowatt – hora)

$$1KWh = 3,6 \cdot 10^6 J$$

Resistores



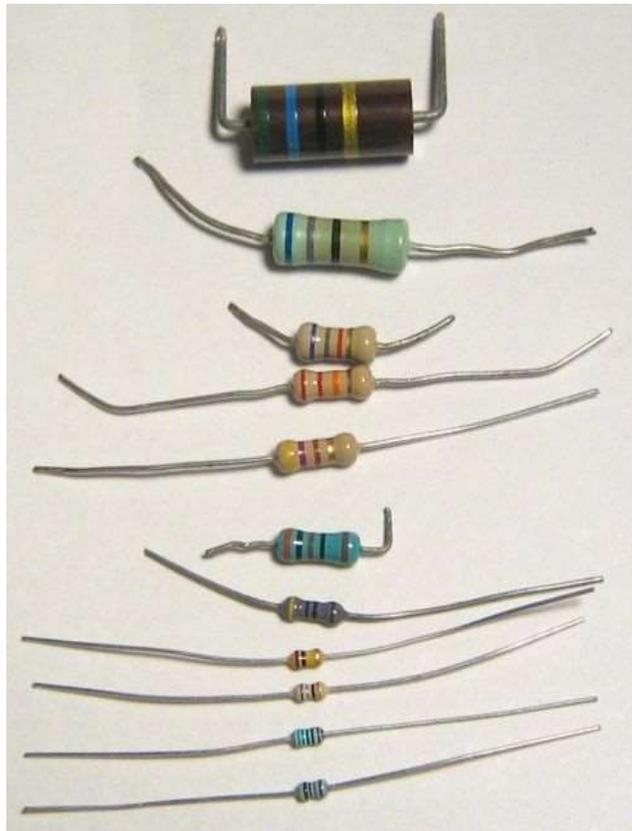
[Georg Simon-Ohm](#)

*Vimos anteriormente que a corrente elétrica quando percorre um condutor provoca colisões entre os portadores de carga elétrica (elétrons) e os átomos da rede do condutor. Então os átomos da rede funcionam como verdadeiros obstáculos à passagem da corrente elétrica. Isso gera então o **EFEITO JOULE**.*

*Ohm estabeleceu a noção de **Resistência Elétrica** e publicou suas observações em 1827 no seu trabalho Die galvanische Kette mathematisch bearbeitet (1827; Estudo matemático da corrente galvânica). Nesse trabalho ele apresentou os fundamentos das futuras teorias dos circuitos elétricos.*

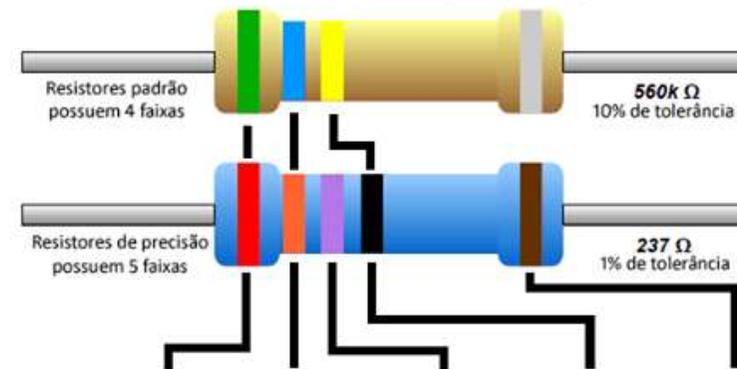
Resistores

Resistores – utilizados nos aparelhos eletrônicos



Código de Cores

A extremidade com mais faixas deve apontar para a esquerda



Cor	1ª Faixa	2ª Faixa	3ª Faixa	Multiplicador	Tolerância
Preto	0	0	0	x 1 Ω	
Marrom	1	1	1	x 10 Ω	+/- 1%
Vermelho	2	2	2	x 100 Ω	+/- 2%
Laranja	3	3	3	x 1K Ω	
Amarelo	4	4	4	x 10K Ω	
Verde	5	5	5	x 100K Ω	+/- 5%
Azul	6	6	6	x 1M Ω	+/- 25%
Violeta	7	7	7	x 10M Ω	+/- .1%
Cinza	8	8	8		+/- .05%
Branco	9	9	9		
Dourado				x .1 Ω	+/- 5%
Prateado				x .01 Ω	+/- 10%

Resistores

Resistores utilizados nos aparelhos aquecedores



Resistores

Em um condutor ôhmico mantido à temperatura constante, a intensidade de corrente elétrica é proporcional à diferença de potencial aplicada entre seus terminais. Essa constante recebe o nome de **RESISTÊNCIA ELÉTRICA**. Observe que quanto maior a resistência menor é a corrente estabelecida no condutor e vice-versa.

U	i
U_1	i_1
U_2	i_2
U_3	i_3
U_4	i_4

1ª lei de Ohm

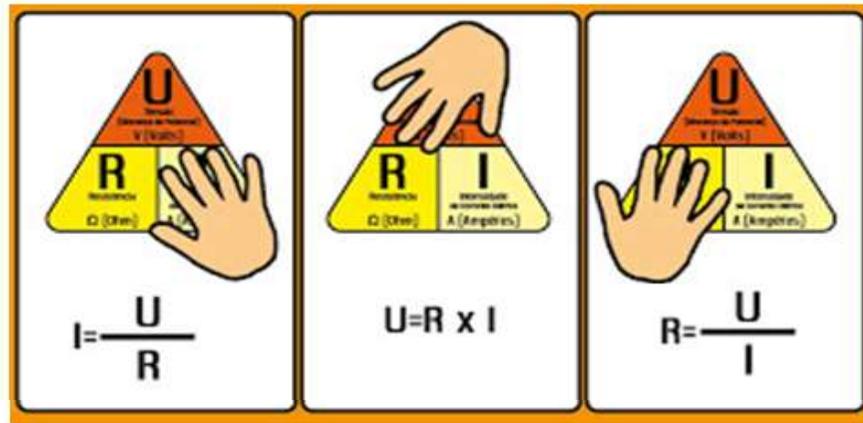
$$\frac{U_1}{i_1} = \frac{U_2}{i_2} = \frac{U_3}{i_3} = \frac{U_4}{i_4} = R$$

$$U = R \cdot i$$

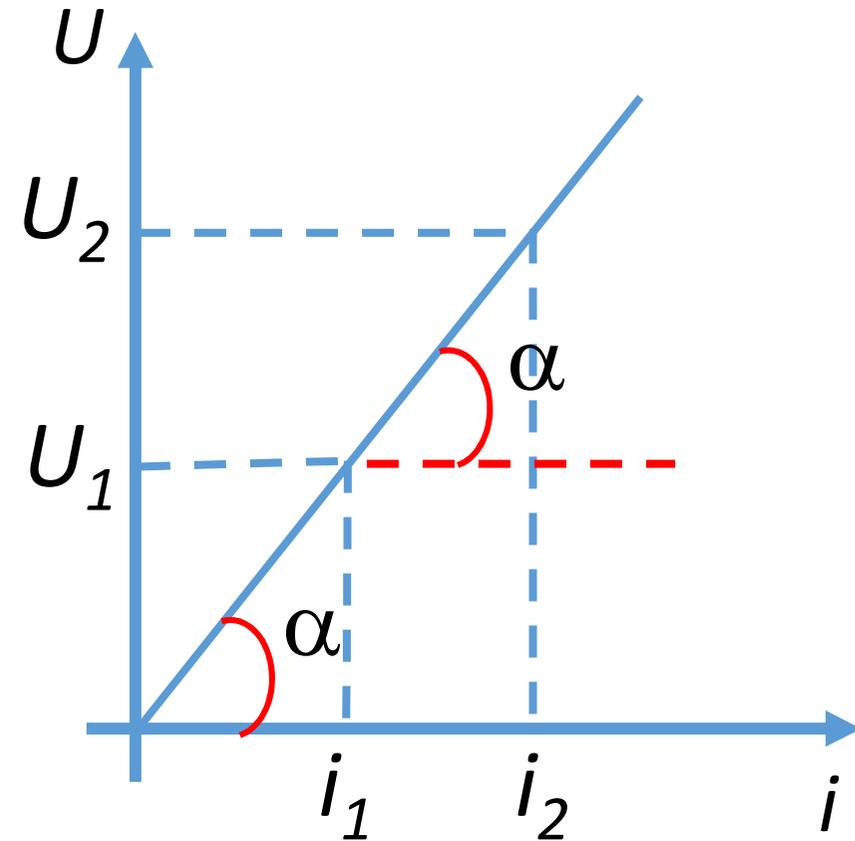
Resistores

1ª lei de Ohm

$$U = R \cdot i$$

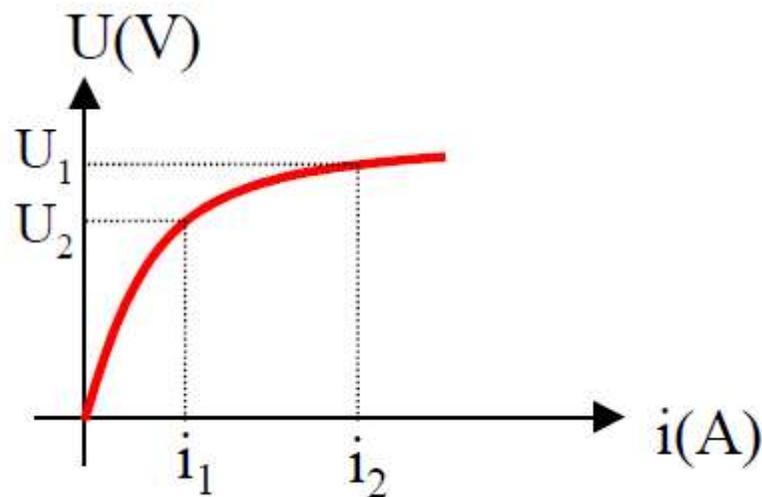


$$R = \operatorname{tg} \alpha$$



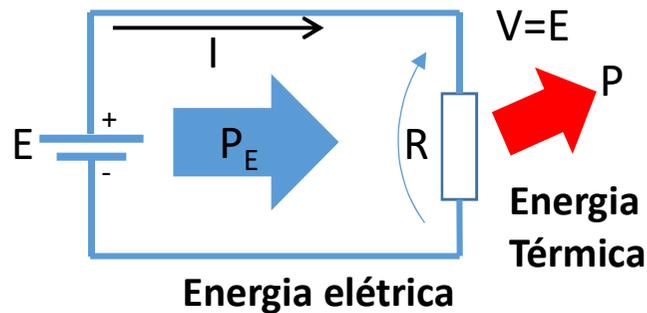
Resistores não ôhmicos

Observa-se, em uma grande família de condutores que, alterando-se a ddp (V) nas extremidades destes materiais altera-se a intensidade da corrente elétrica i , mas a duas grandezas não variam proporcionalmente, isto é, o gráfico de V versus i não é uma reta e portanto eles não obedecem a lei de Ôhm, veja gráfico abaixo. Estes resistores são denominados de *resistores não ôhmicos*.



$$R_1 = \frac{U_1}{i_1} \quad \text{e} \quad R_2 = \frac{U_2}{i_2}$$

Potência dissipada nos resistores



- A fonte E fornece ao resistor R uma corrente I , portanto $P_E=EI$.
- Em R a tensão é a mesma da fonte: $V=E$.
- Então a potência dissipada no resistor é: $P=VI$.

Consequentemente, toda potência fornecida pela fonte foi dissipada no resistor em forma de calor (efeito Joule): $P_E=P$

Considerando que R é um resistor ôhmico:

$$V = R.I$$

$$\boxed{P = V.I} \quad \text{Substituindo } V: \quad P = R.I.I \therefore \quad \boxed{P = R.I^2}$$

$$\text{Como: } I = \frac{V}{R} \quad P = R \cdot \frac{V^2}{R^2} \therefore \quad \boxed{P = \frac{V^2}{R}}$$

EXERCÍCIOS

93) Qual a potência dissipada num resistor de 10Ω , se a queda de potencial no resistor for de $50V$? R: $250W$

94) Achar a potência dissipada num resistor ligado a uma fonte de diferença de potencial constante $120V$, sendo a sua resistência igual a a) 5Ω e b) 10Ω .

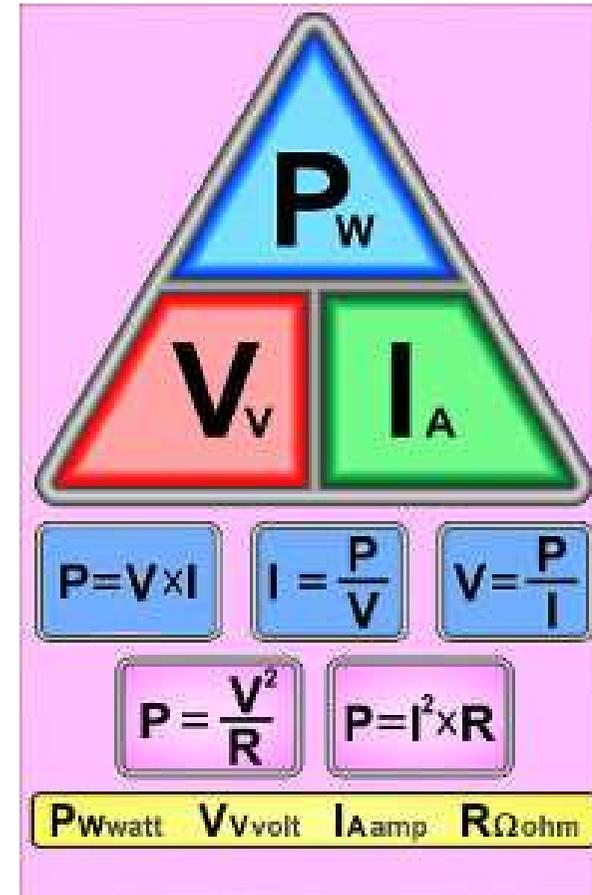
95) Um calefator de $1kW$ está projetado para operar a $240V$. a) Qual a sua resistência e qual a corrente de operação? b) Qual a potência dissipada nesse resistor se ele operara $120V$? Admitir que a resistência seja constante.

96) Se o custo de energia for de 9 centavos por kWh a) qual o custo da operação de uma torneira elétrica, durante 4 min, sabendo que a resistência é 11Ω e que ele opera a $120V$? b) Qual o custo da operação de um calefator de 5Ω ligado em $120V$, durante 8h?

97) Um calefator de $1200W$ fica constantemente ligado para aquecer um aposento. Se o custo da energia for 9 centavos por kWh, qual o custo do aquecimento num mês de 30 dias?

98) Um elemento calefator é feito mantendo-se um fio de Nicromo, com seção transversal de $2,6 \times 10^{-6} m^2$ e resistividade de $5 \times 10^{-7} \Omega m$, sob uma diferença de potencial de $75V$. . a) Sabendo-se que o elemento dissipa $5000W$, qual é o seu comprimento? b) Para obtermos a mesma potência usando uma diferença de potencial de $100V$, qual deveria ser o comprimento do fio?

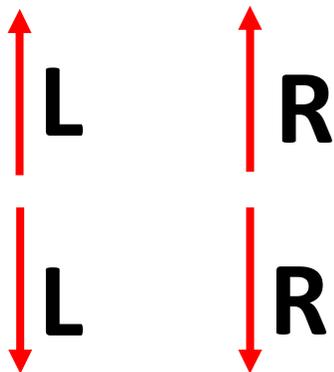
Potência dissipada nos resistores



Resistores

2ª lei de Ohm

Qual dos fios os **elétrons** encontram uma certa **dificuldade** para se deslocar?

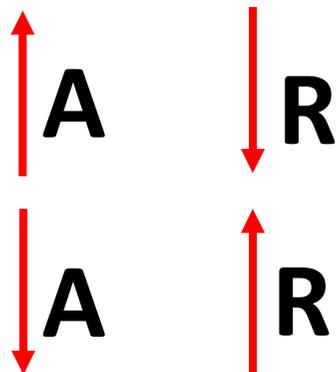


RESISTÊNCIA DIRETAMENTE
PROPORCIONAL AO COMPRIMENTO

Resistores

2ª lei de Ohm

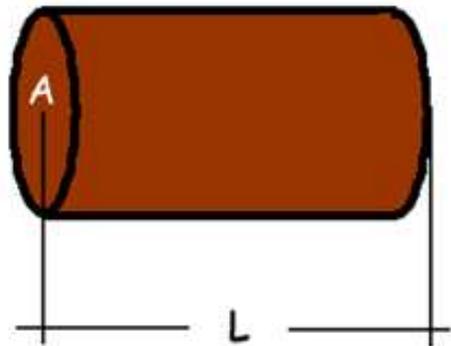
Qual dos fios os **elétrons** encontram uma certa **dificuldade** para se deslocar?



RESISTÊNCIA INVERSAMENTE
PROPORCIONAL A ÁREA

Resistores

2ª lei de Ohm



$$R = \rho \frac{L}{A}$$

onde: R é a resistência do fio
 ρ é a resistividade do material
 l é o comprimento do fio
 A é a área da secção transversal

Material	Resistividade (Ωm)
Prata	$1,68 \times 10^{-8}$
Cobre	$1,69 \times 10^{-8}$
Alumínio	$2,75 \times 10^{-8}$
Tungstênio	$5,25 \times 10^{-8}$
Ferro	$9,68 \times 10^{-8}$
Platina	$10,6 \times 10^{-8}$
Manganina	$48,2 \times 10^{-8}$
Silício Puro	$2,5 \times 10^3$
Vidro	$10^{10} - 10^{14}$

EXERCÍCIOS

85) A área da seção transversal do trilho de um bonde elétrico é de 56cm^2 . Qual é a resistência elétrica de 10km de trilho? A resistividade do aço é $3 \times 10^{-7} \Omega\text{m}$.

85) Um fio condutor tem um diâmetro de 1mm, um comprimento de 2m e uma resistência de $50\text{m}\Omega$. Qual é a resistividade do material? R: $2 \times 10^{-8} \Omega\text{m}$

86) Uma barra de alumínio de 1,3m de comprimento tem uma seção reta quadrada de 5,2mm de lado. a) Qual é a resistência entre as suas extremidades? b) Qual deve ser o diâmetro de uma barra de cobre de mesmo comprimento e seção circular, para que sua resistência seja igual à barra de alumínio?

87) Uma lâmpada incandescente (100W, 120V) tem um filamento de tungstênio de comprimento igual a 31,4cm e diâmetro $4,0 \times 10^{-2}\text{mm}$. A resistividade do tungstênio à temperatura ambiente é de $5,6 \times 10^{-8} \text{ohm} \times \text{m}$.

a) Qual a resistência do filamento quando ele está à temperatura ambiente?

b) Qual a resistência do filamento com a lâmpada acesa?

R: a) 14Ω , b) 144Ω

EFEITOS DA TEMPERATURA

- ✓ A resistividade dos materiais depende da temperatura.
- ✓ Assim, uma outra característica dos materiais é o coeficiente de temperatura, que mostra de que forma a resistividade e, conseqüentemente, a resistência variam com a temperatura.
- ✓ O coeficiente de temperatura é simbolizado pela letra grega α (alfa), cuja unidade de medida é $[^{\circ}\text{C}^{-1}]$.

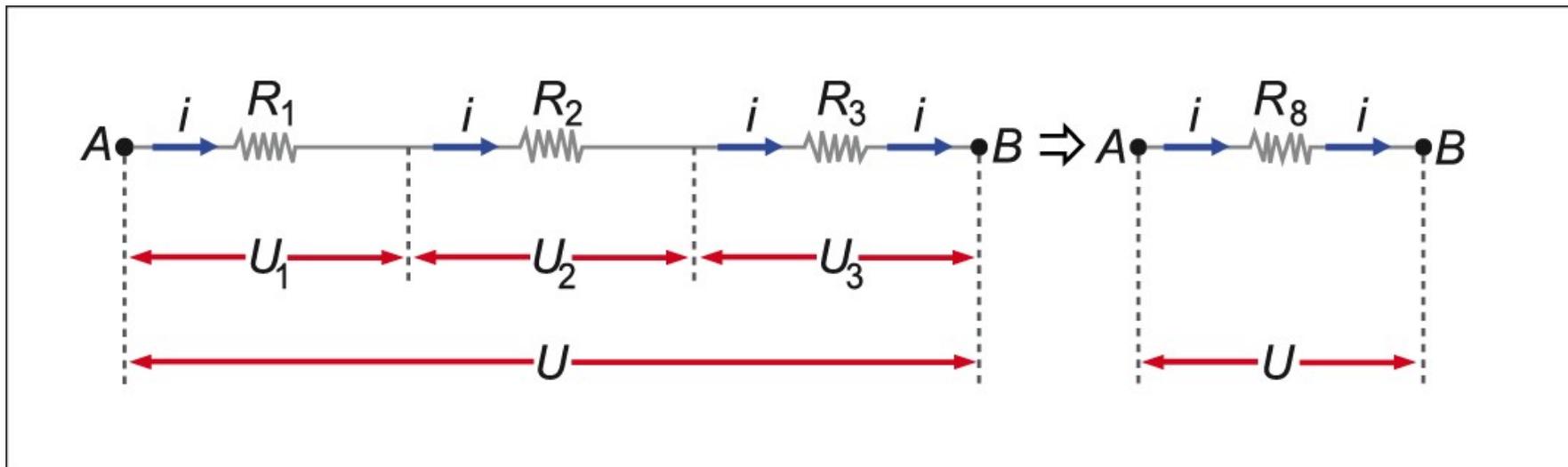
A expressão para calcular a variação da resistividade com a temperatura é:

$$\rho = \rho_0 \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta t)$$

ASSOCIAÇÃO DE RESISTORES - SÉRIE

Associação em série (divisor de tensão)

Vários resistores estão associados em série, quando são ligados um em seguida do outro.



Na associação em série...

- Todos os resistores são percorridos pela mesma corrente elétrica.
- As potências elétricas dissipadas são diretamente proporcionais às respectivas resistências.

ASSOCIAÇÃO DE RESISTORES - SÉRIE

- A resistência equivalente é igual à soma das resistências associadas:

$$R_s = R_1 + R_2 + R_3$$

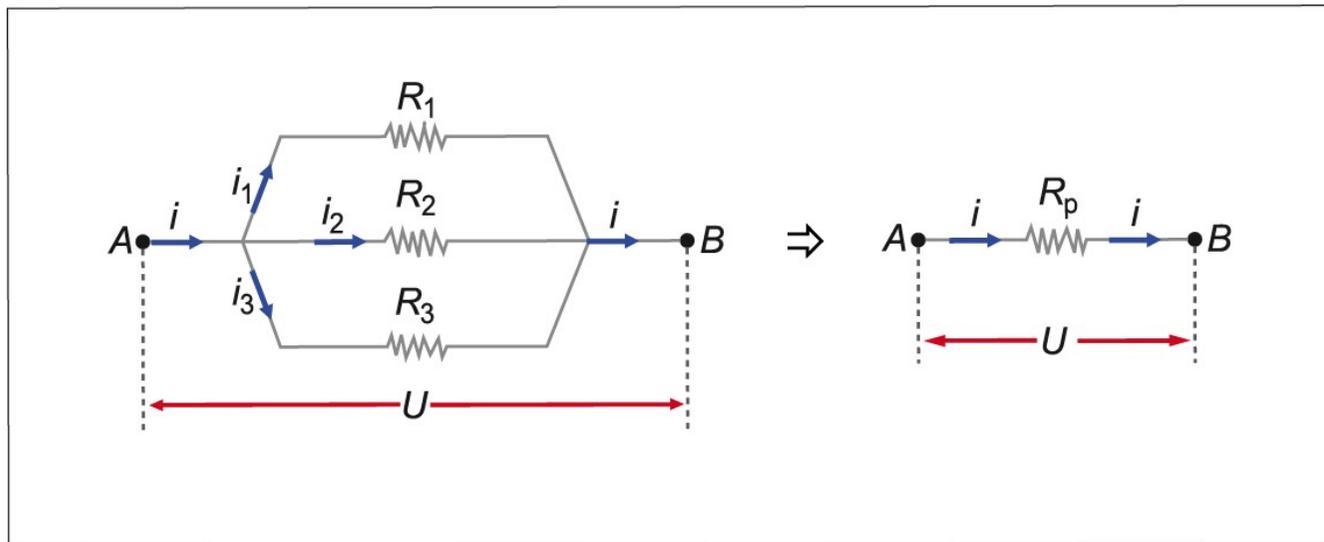
- A ddp total é a soma das ddps parciais:

$$U = U_1 + U_2 + U_3$$

ASSOCIAÇÃO DE RESISTORES - PARALELO

Associação em paralelo (divisor de corrente)

Vários resistores estão associados em paralelo, quando são ligados pelos terminais.



ASSOCIAÇÃO DE RESISTORES - PARALELO

- Todos os resistores estão submetidos à mesma ddp.
- A intensidade de corrente total é igual à soma das intensidades de correntes nos resistores associados:

$$i = i_1 + i_2 + i_3$$

- O inverso da resistência equivalente é igual à soma dos inversos das resistências associadas:

$$\frac{1}{R_p} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

- As potências elétricas dissipadas são inversamente proporcionais às respectivas resistências.

ASSOCIAÇÃO DE RESISTORES - PARALELO

CASOS PARTICULARES

Para n resistores iguais associados em paralelo, pode-se utilizar a seguinte expressão:

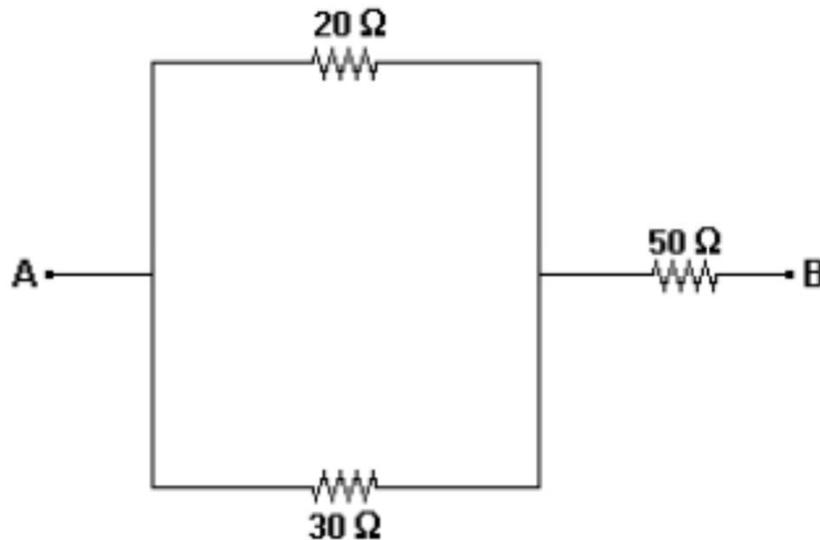
$$R_p = \frac{R}{n}$$

Para a associação de dois resistores em paralelo, pode-se utilizar a seguinte expressão:

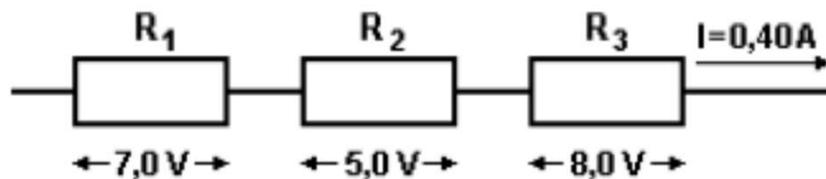
$$R_p = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

EXERCÍCIOS

101) Qual é a resistência equivalente entre os pontos A e B da associação a seguir? R: 62Ω



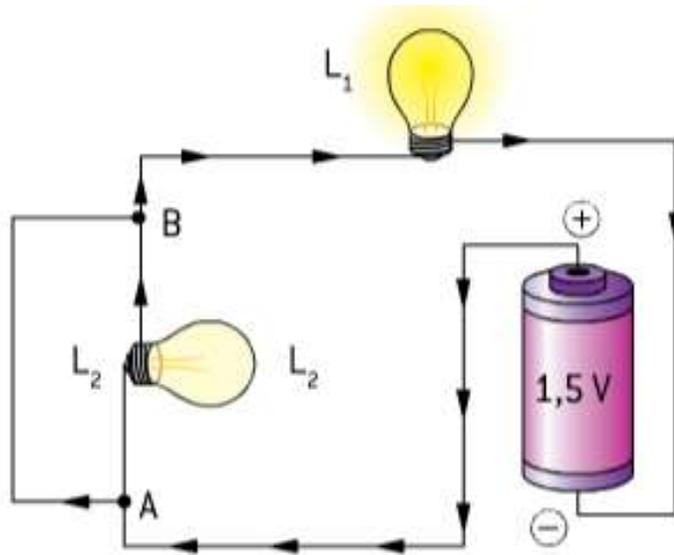
106) Considere os valores indicados no esquema a seguir que representa uma associação de resistores.



O resistor equivalente dessa associação, em ohms, vale: R: 50

CURTO CIRCUITO

Provoca-se um curto-circuito entre dois pontos de um circuito, quando esses pontos são ligados por um condutor de resistência elétrica desprezível.



O ELEMENTO CURTO CIRCUITADO FICA SUBMETIDO A UMA TENSÃO NULA.

$$U_{AB} = 0$$

MEDIDAS ELÉTRICAS

- **Medir é estabelecer uma relação numérica entre uma grandeza e outra, de mesma espécie, tomada como unidade.**
- **No processo de medida, a grandeza que serve de comparação é denominada de grandeza unitária ou padrão unitário.**
- **Medidas elétricas só podem ser realizadas com a utilização de instrumentos medidores, que permitem a quantificação de grandezas cujo valor não poderia ser determinado através dos sentidos humanos.**

APARELHOS DE MEDIDAS ELÉTRICAS

CLASSIFICAÇÃO DAS GRANDEZAS

Grandezas Fundamentais			
Grandeza	Unidade	Símbolo	Representação
Comprimento	metro	m	L
Massa	quilograma	kg	M
Tempo	segundo	s	T
Intensidade de corrente	ampère	A	I
Quantidade de matéria	mole	mol	N
Temperatura termodinâmica	kelvin	K	θ
Intensidade luminosa	candela	cd	J

APARELHOS DE MEDIDAS ELÉTRICAS

CLASSIFICAÇÃO DAS GRANDEZAS

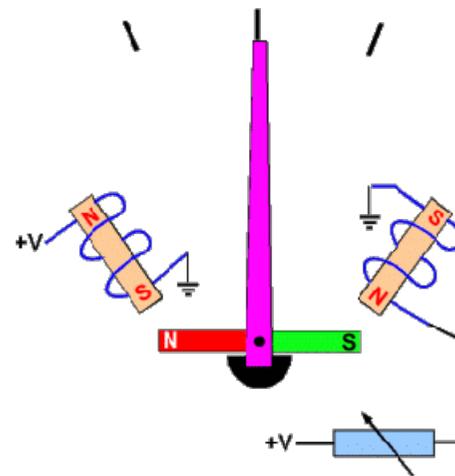
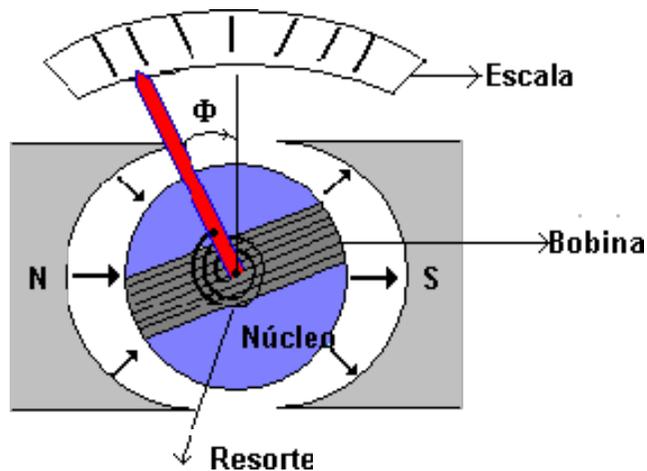
Grandezas Elétricas Derivadas			
Grandeza Derivada	Unidade	Dimensão	Símbolo
Carga	coulomb	$A \cdot s$	C
Energia	joule	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2}$	J
Potência	watt	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3}$	W
Tensão	volt	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-1}$	V
Resistência	ohm	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-2}$	Ω

APARELHOS DE MEDIDAS ELÉTRICAS

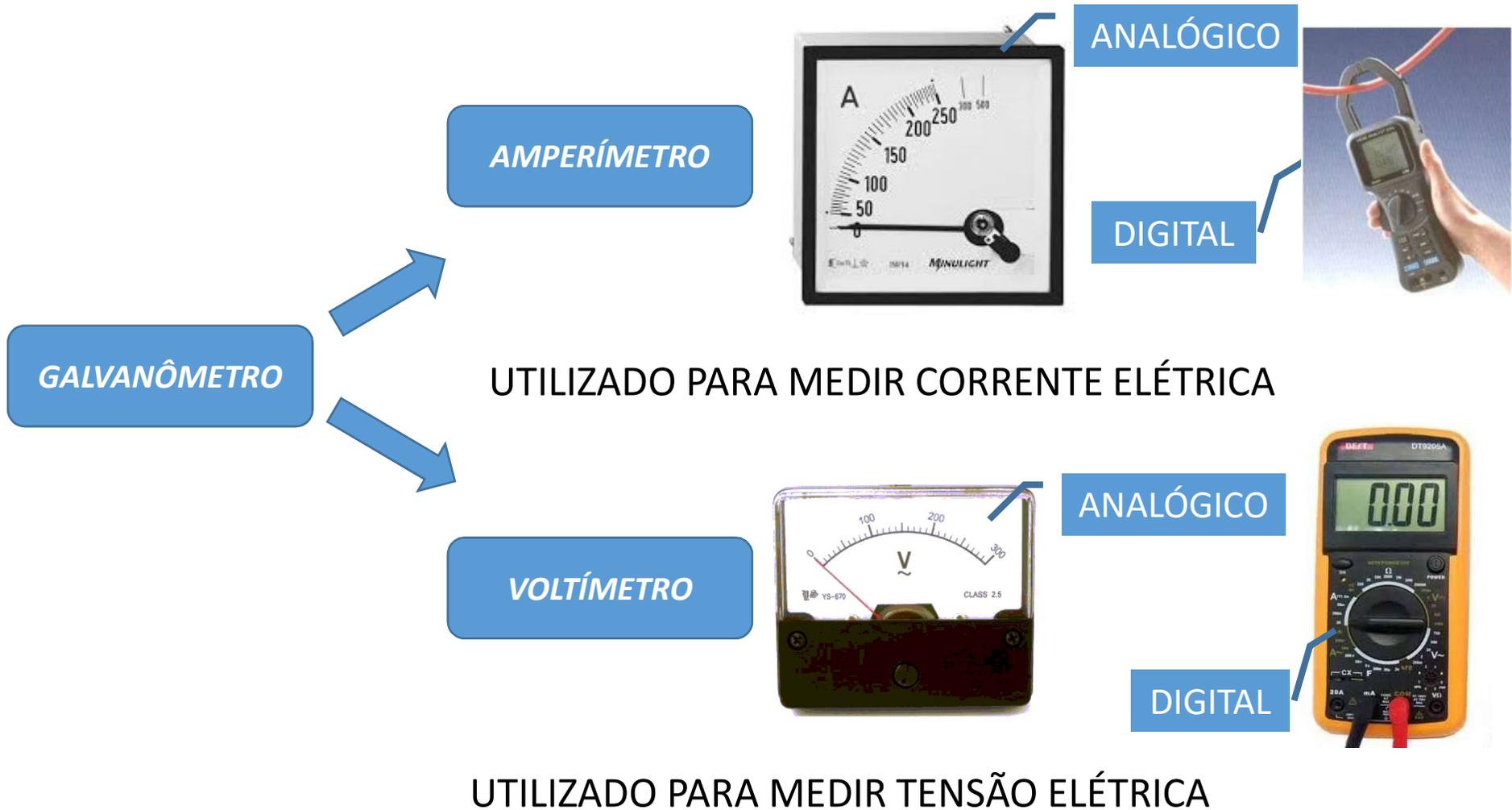
Galvanômetro



O galvanômetro é um instrumento muito sensível utilizado para indicar correntes de baixa intensidade, como por exemplo, correntes da ordem miliampére. O galvanômetro nada mais é do que um amperímetro muito sensível, com o ponteiro no meio da escala, podendo assim indicar correntes nos dois sentidos do circuito elétrico.

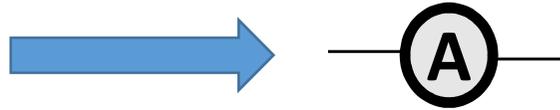


APARELHOS DE MEDIDAS ELÉTRICAS

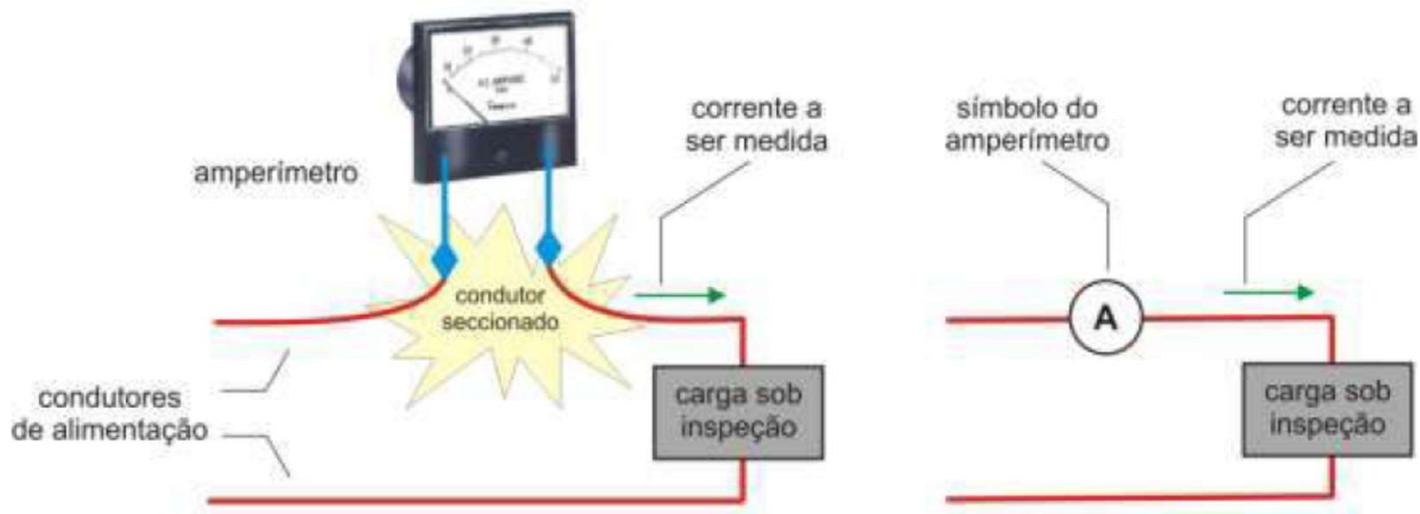


APARELHOS DE MEDIDAS ELÉTRICAS

AMPERÍMETRO



Utilizado para medir correntes, sempre é ligado em série com elemento cuja corrente deseja-se medir; isto significa que um condutor deverá ser “aberto” no ponto de inserção do instrumento

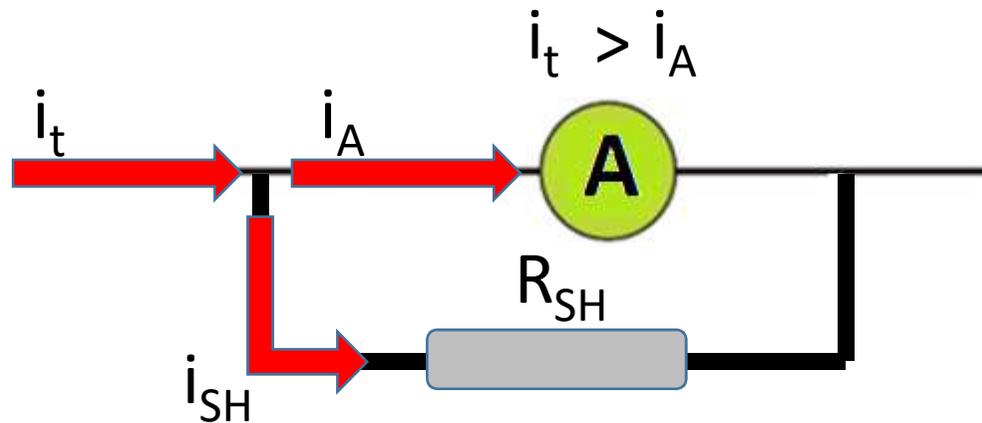


AMPERÍMETRO IDEAL POSSUI RESISTÊNCIA INTERNA NULA.

APARELHOS DE MEDIDAS ELÉTRICAS

AMPERÍMETRO

RESISTÊNCIA SHUNT



RESISTÊNCIA PARALELO UTILIZADA PARA DESVIAR O EXCESSO DE CORRENTE NO AMPERÍMETRO

$$U_A = U_{R_{SH}}$$
$$i_A \cdot r_A = i_{SH} \cdot R_{SH}$$

$$R_{SH} = r_A \cdot \frac{i_A}{i_{SH}}$$

$$i_{SH} = i_t - i_A$$

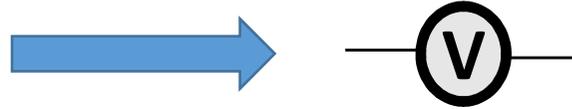
Corrente de fundo de escala (corrente máxima)

$$r_{AMP} = \frac{r_A \cdot R_{SH}}{r_A + R_{SH}}$$

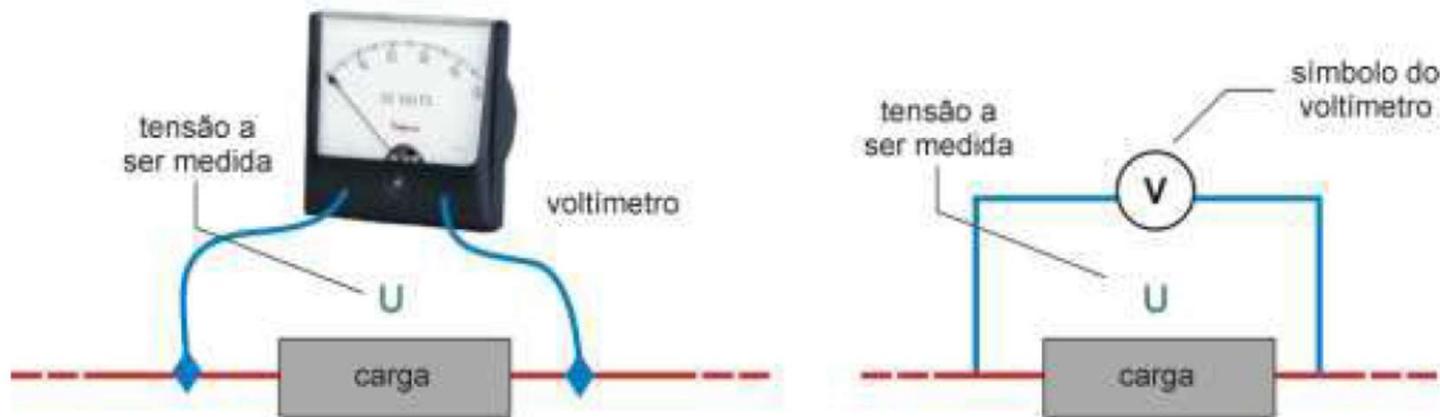
RESISTÊNCIA DO APARELHO

APARELHOS DE MEDIDAS ELÉTRICAS

VOLTÍMETRO

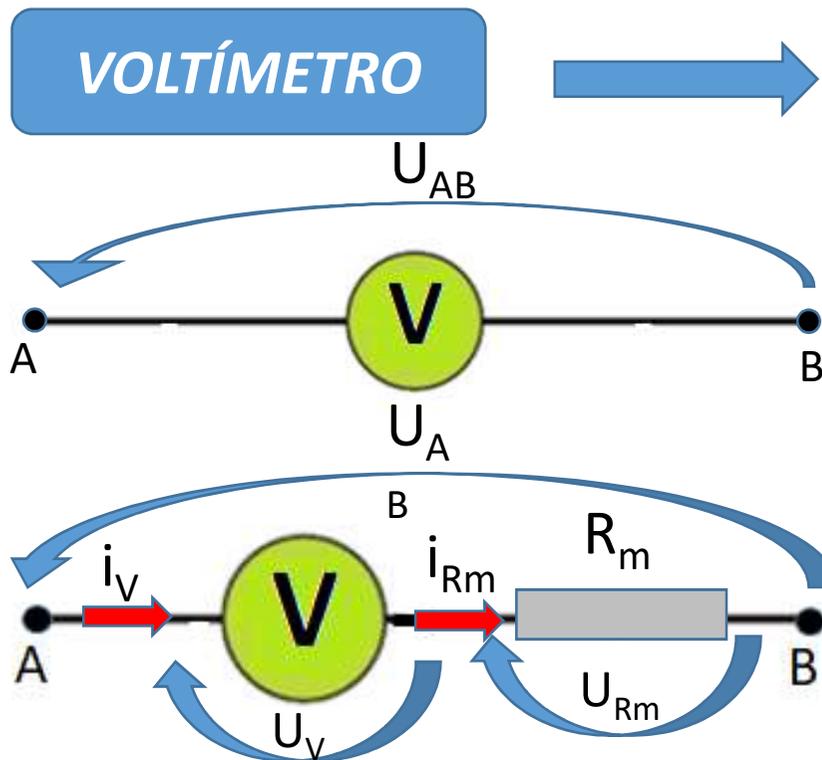


Instrumento destinado à medida de tensões, o voltímetro deve ser ligado em paralelo com o elemento cuja tensão deseja-se determinar.



VOLTÍMETRO IDEAL POSSUI RESISTÊNCIA INTERNA INFINITA.

APARELHOS DE MEDIDAS ELÉTRICAS



VOLTÍMETRO

RESISTÊNCIA MULTIPLICADORA

$$U_{AB} > U_V$$

Tensão de fundo de escala
(tensão máxima)

RESISTÊNCIA
SÉRIE UTILIZADA
PARA DIVIDIR
A TENSÃO QUE
EXCEDE A
TENSÃO NO
VOLTÍMETRO

$$i_v = i_{R_m}$$

$$U_V / r_v = U_{R_m} / R_m$$

$$R_m = r_v \cdot \frac{U_{R_m}}{U_V}$$

$$U_{R_m} = U_{AB} - U_V$$

$$r_{volt} = R_m + r_v$$

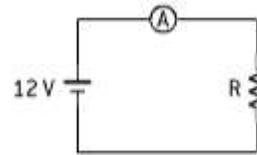
RESISTÊNCIA DO
APARELHO

EXERCÍCIOS

110) Um galvanômetro tem resistência de 140Ω . A sua deflexão máxima ocorre com a corrente de $1,2\text{mA}$. a) Qual a resistência que deve ser ligada em paralelo com o galvanômetro para que se tenha um amperímetro com deflexão máxima para corrente de 2A ? b) Qual a resistência que deve ser ligada em série como o galvanômetro para se ter um voltímetro com deflexão máxima com uma diferença de potencial de 5V ? R: a) $0,0841\Omega$, b) 4027Ω .

112) Um galvanômetro sensível tem resistência de 120Ω em tem a deflexão máxima com uma corrente de $1,4\mu\text{A}$ a) Achar o shunt necessário para construir um amperímetro com deflexão máxima numa corrente de 1mA . b) Qual a resistência do amperímetro c) Qual a resistência necessária para construir um voltímetro com a deflexão máxima com uma diferença de potencial de 3V ? R: a) $0,168\Omega$, b) $0,168\Omega$ e) $2,14 \times 10^6\Omega$.

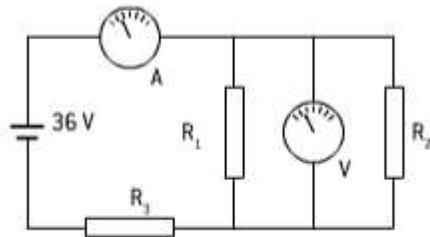
A figura a seguir mostra um circuito elétrico constituído por uma bateria de 12 V, um resistor R de $6\ \Omega$ e um amperímetro A. Todos os componentes são ideais.



Com base nessas informações, assinale a alternativa que apresenta o valor da corrente lida no amperímetro.

- a. 0,5 A
- b. 2 A
- c. 6 A
- d. 12 A

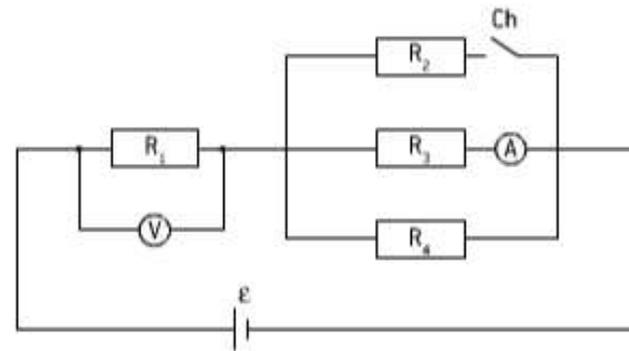
No circuito representado no esquema a seguir, os resistores R_1 , R_2 e R_3 têm valores iguais a 12 ohms.



De acordo com o esquema, a leitura do amperímetro A, em ampères, e a leitura do voltímetro V, em volts, são, respectivamente,

- a. 1 e 12
- b. 1 e 36
- c. 2 e 12
- d. 2 e 24
- e. 4 e 12

Considere o circuito a seguir:



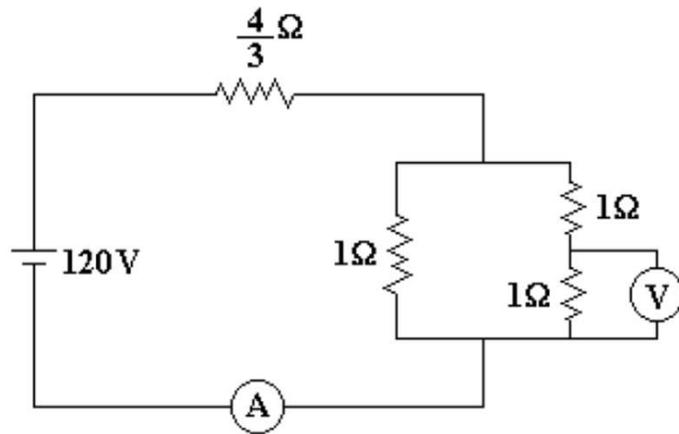
e os seguintes valores:

- $R_1 = 15\ \Omega$
- $R_2 = R_3 = R_4 = 30\ \Omega$
- $\varepsilon = 75\ \text{V}$
- V: voltímetro ideal
- A: amperímetro ideal
- Ch: chave liga/desliga

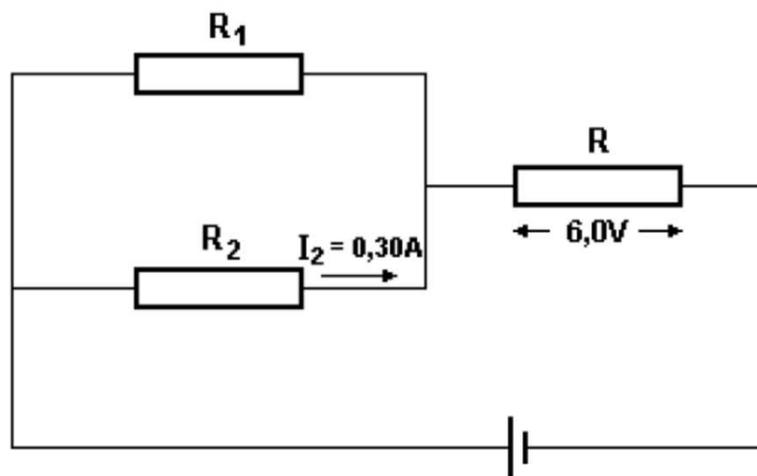
Os fios que ligam os componentes podem ser considerados sem nenhuma resistência elétrica e o gerador, como ideal. Marque a alternativa que representa a indicação do amperímetro com a chave aberta e a do voltímetro com a chave fechada.

- a. 2,5 A e 45 V
- b. 1,25 A e 20 V
- c. 2,5 A e 20 V
- d. 5 A e 45 V
- e. 1,25 A e 45 V

105) Considere o circuito a seguir. Qual é a soma das leituras no amperímetro, em A, e no voltímetro, em V, considerando ideais ambos os instrumentos de medida? R: 80

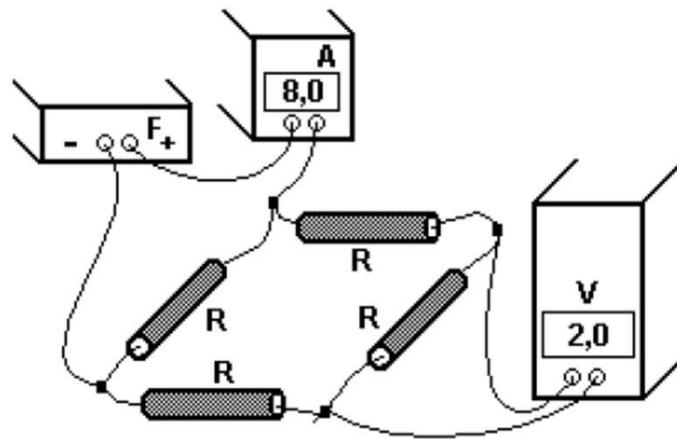


107) No circuito representado no esquema a seguir, a resistência de R, é igual ao triplo da resistência R_1 .



Determine o valor do resistor R, em ohms. R: 5,0

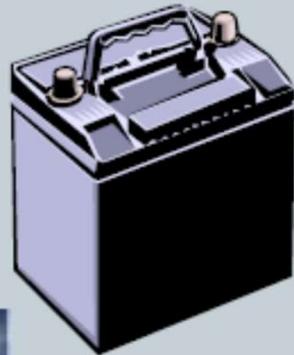
109) Considere a montagem adiante, composta por 4 resistores iguais R , uma fonte de tensão F , um medidor de corrente A , um medidor de tensão V e fios de ligação.



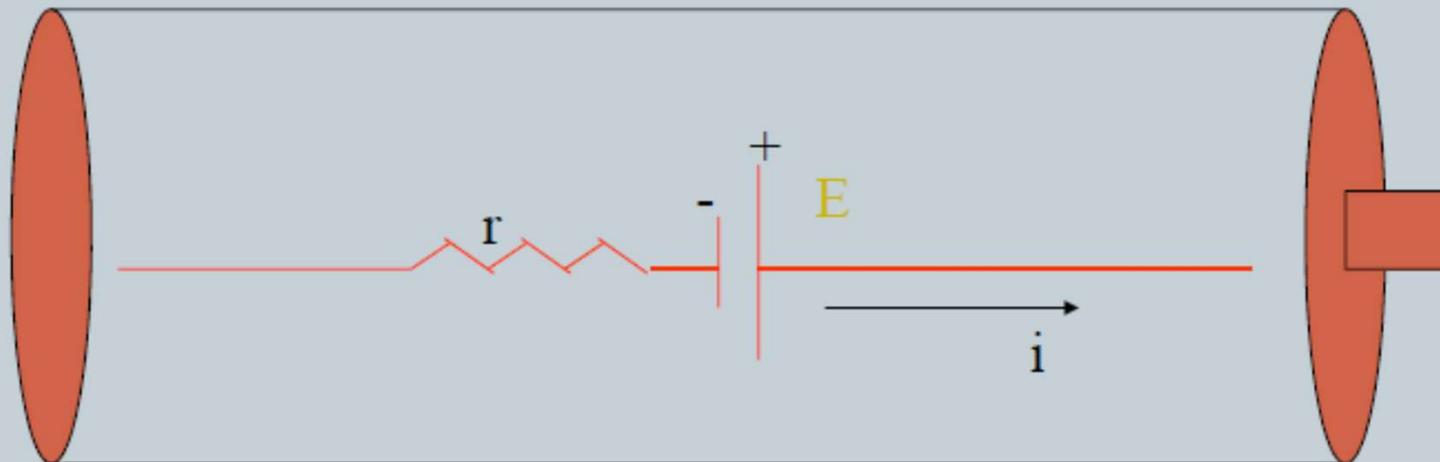
O medidor de corrente indica $8,0\text{A}$ e o de tensão $2,0\text{ V}$. Determine a potência total dissipada nos 4 resistores. R: 48 W

GERADORES

São equipamentos que transformam qualquer tipo de energia em energia elétrica. Pilhas, baterias e geradores rotativos CC.



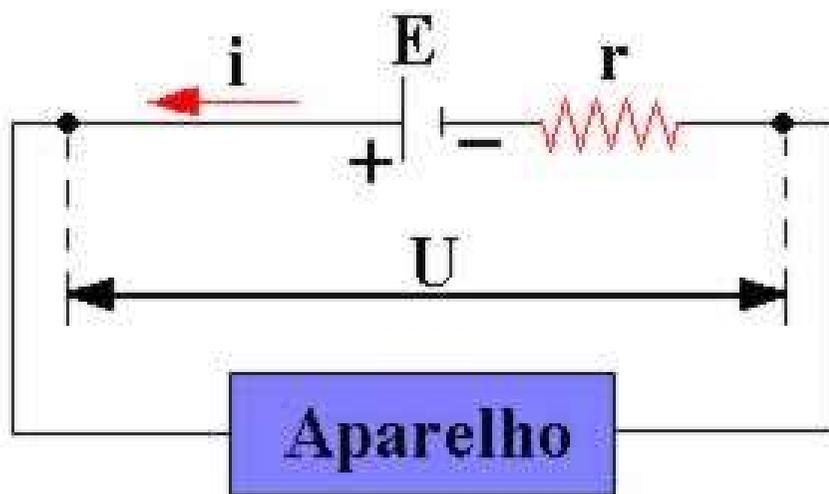
SÍMBOLO DO GERADOR



O gerador pega a corrente no seu potencial mais baixo (-) e passa para o potencial mais alto (+).

GERADORES

Representa a energia fornecida a cada unidade de carga da corrente elétrica, ou seja, **é a ddp total do gerador.**



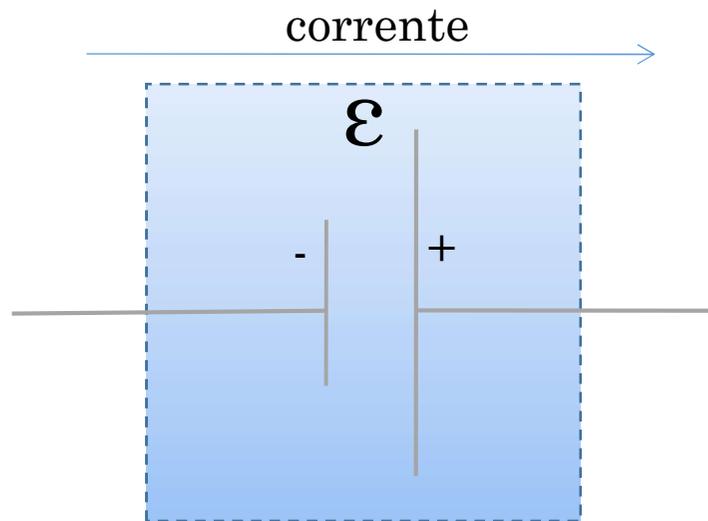
E : força eletromotriz (V)

r : resistência interna (Ω)

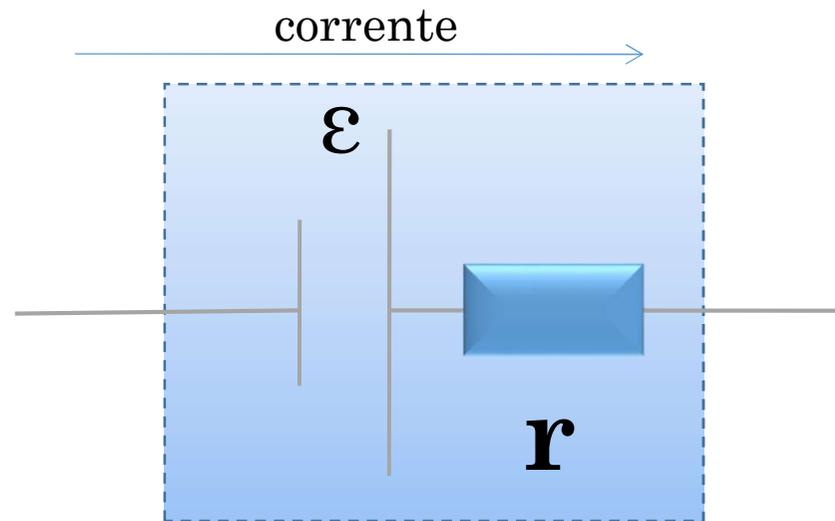
U : ddp nos terminais do gerador (V)

GERADORES

Fonte **IDEAL**

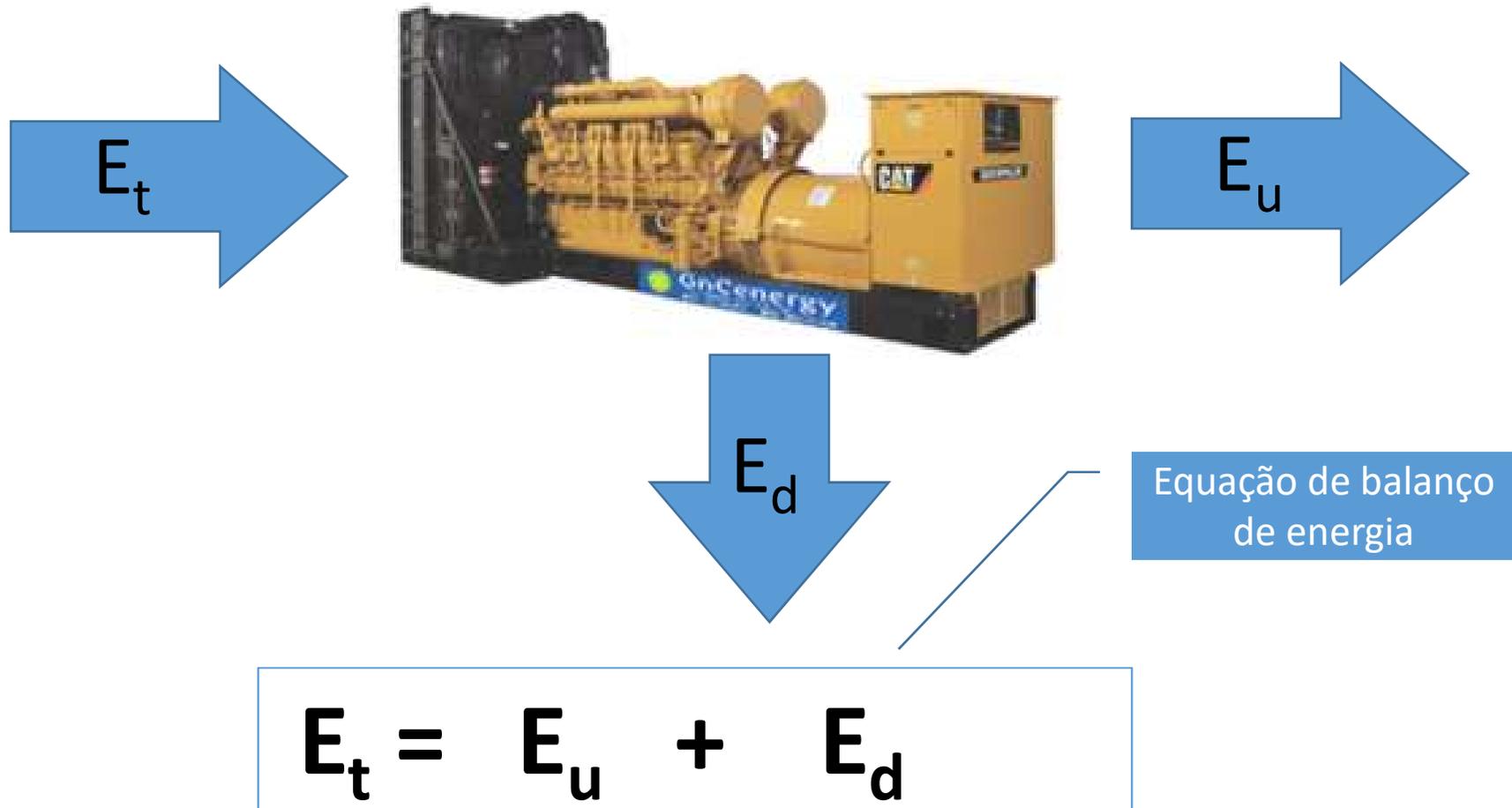


Fonte **REAL**



f.e.m.: força eletromotriz

GERADORES



GERADORES

$$\frac{E_t}{\Delta t} = \frac{E_u}{\Delta t} + \frac{E_d}{\Delta t}$$



$$P_t = P_u + P_d$$



$$E \cdot i = U \cdot i + r \cdot i^2$$

GERADORES

$$E \cdot i = U \cdot i + r \cdot i^2$$

$$\cancel{E \cdot i} = \cancel{i} \cdot (U + r \cdot i)$$

$$E = (U + r \cdot i)$$

$$U = E - r \cdot i$$

Constantes do gerador

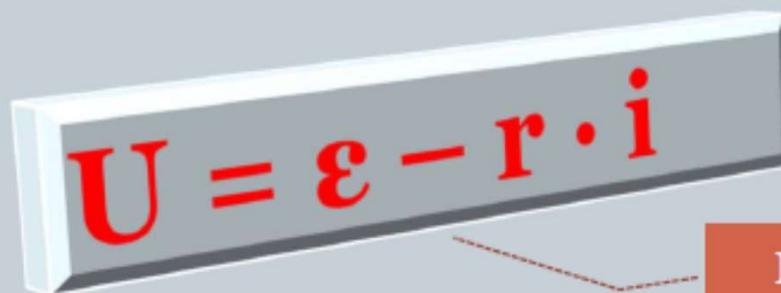
GERADORES

- Há energia dissipada dentro da própria pilha!
Calor!

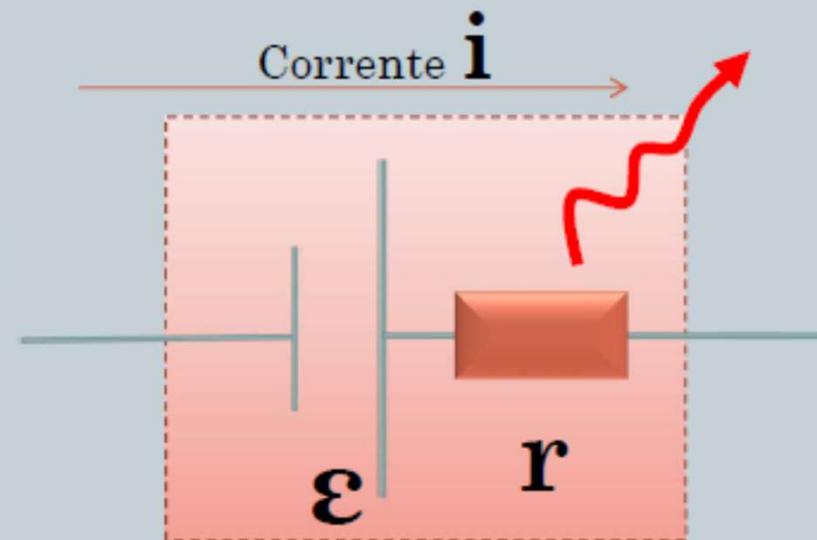
- Voltagem dissipada em r :

$$U_{\text{DISS}} = r \cdot i$$

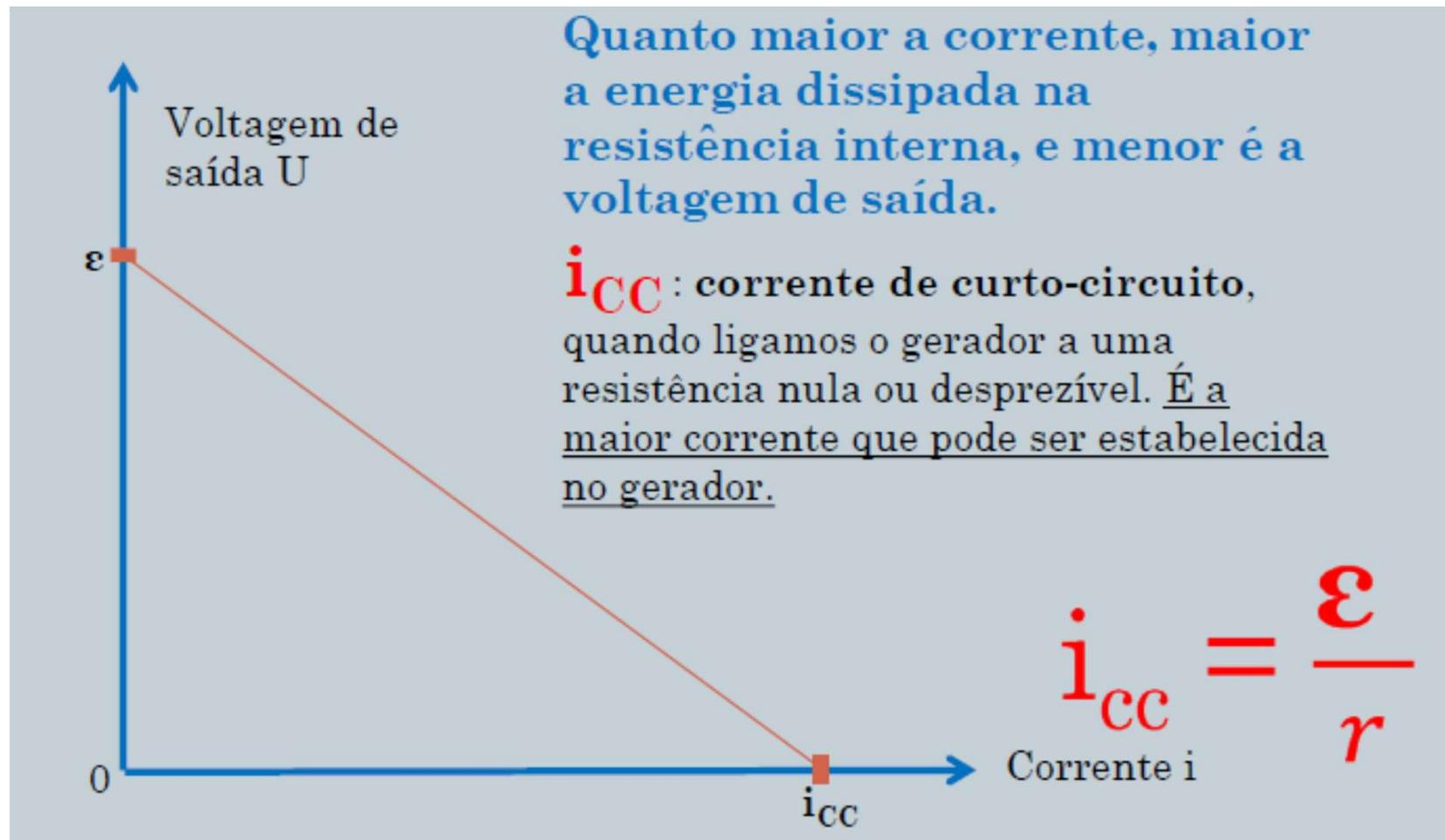
- Voltagem útil da pilha (é a energia que “sai” dela):


$$U = \varepsilon - r \cdot i$$

Equação do gerador



GERADORES



GERADORES

$$\text{rendimento (\%)} = \frac{\text{Energia Útil}}{\text{Energia Total}}$$

$$\eta = \frac{P_{\text{ÚTIL}}}{P_{\text{TOTAL}}}$$

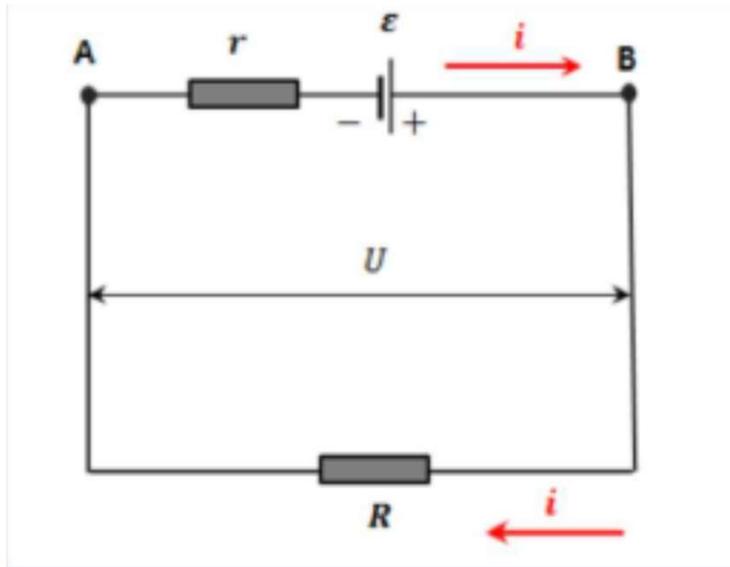
ou

$$\eta = \frac{U}{E}$$

○ Potências:

- Dissipada: $P_{\text{DISS}} = r.i^2$
- Total: $P_{\text{TOTAL}} = \mathcal{E}.i$
- Útil: $P_{\text{ÚTIL}} = U_{\text{ÚTIL}}.i$
 $= (\mathcal{E} - r.i).i$
 $= \mathcal{E}.i - r.i^2$
 $= P_{\text{TOTAL}} - P_{\text{DISS}}$

CIRCUITO GERADOR - RESISTOR

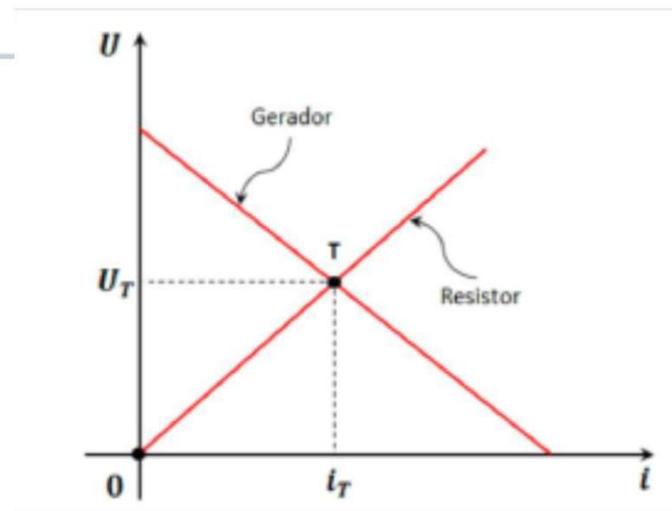


Para o gerador: $U = \epsilon - ri$

Para o resistor: $U = Ri$

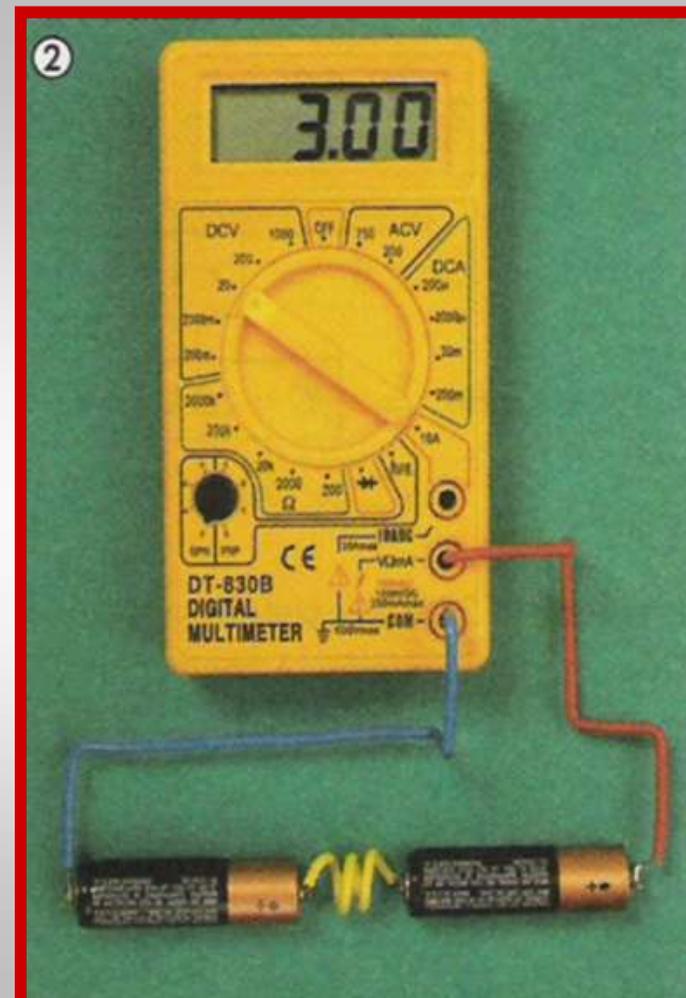
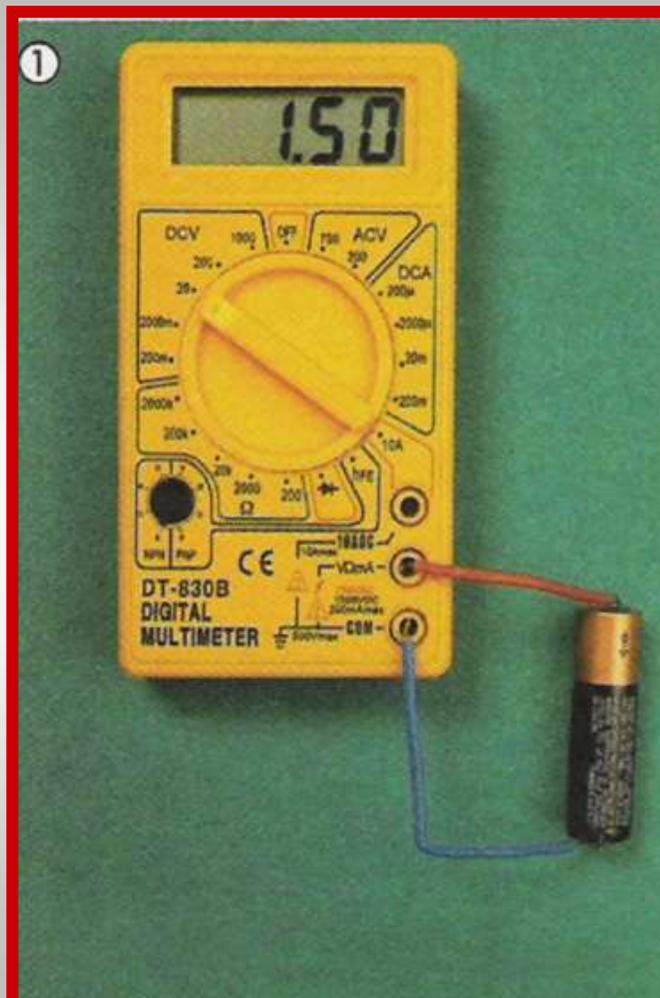
Igualando ambas as equações:

$$U = \epsilon - ri = Ri \rightarrow i = \frac{\epsilon}{r + R}$$

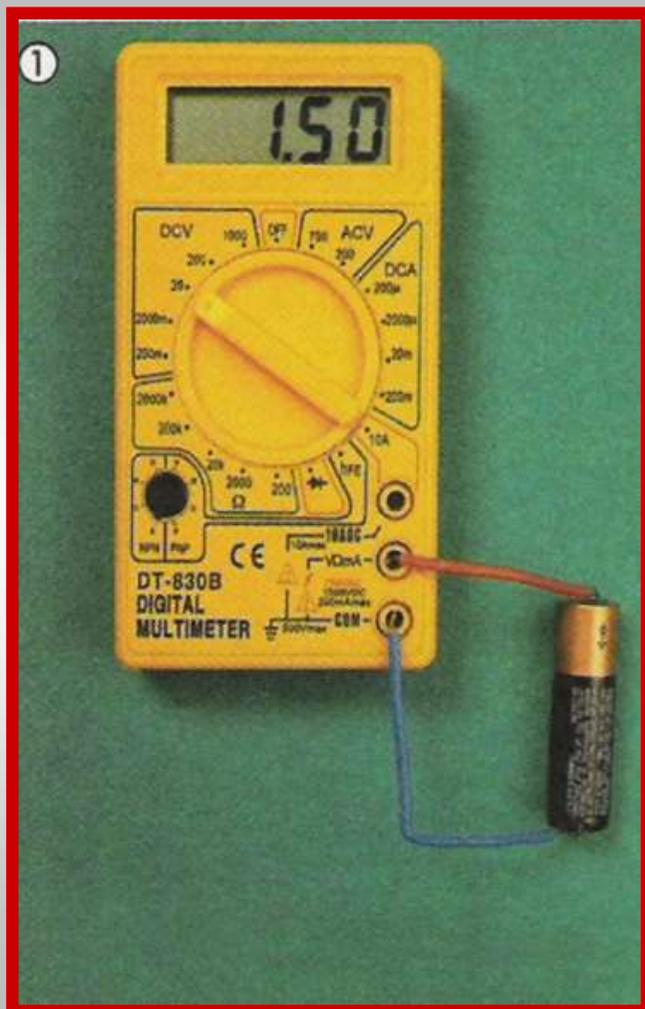


GERADORES

Associação de Geradores - SÉRIE

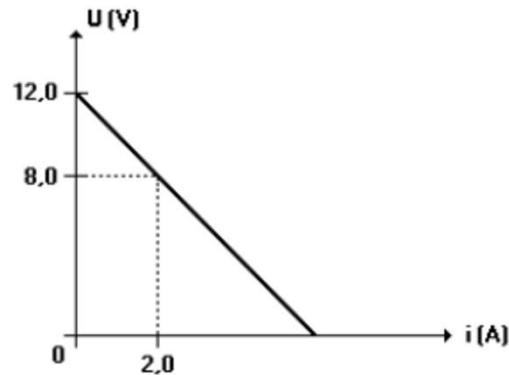


Associação de Geradores - PARALELO



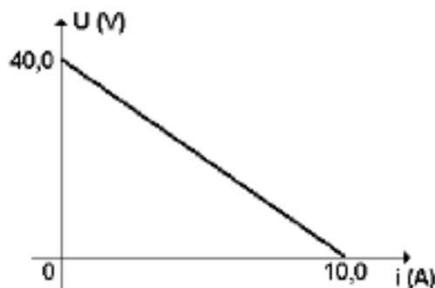
EXERCÍCIOS

119) O gráfico a seguir, representa a ddp U em função da corrente i para um determinado elemento do circuito.



A partir do gráfico determine o elemento do circuito e a corrente elétrica quando a diferença de potencial entre os terminais do elemento for nula.

120) O gráfico a seguir representa a curva característica de um gerador, isto é, a ddp nos seus terminais em função da corrente elétrica que o percorre.



Determine

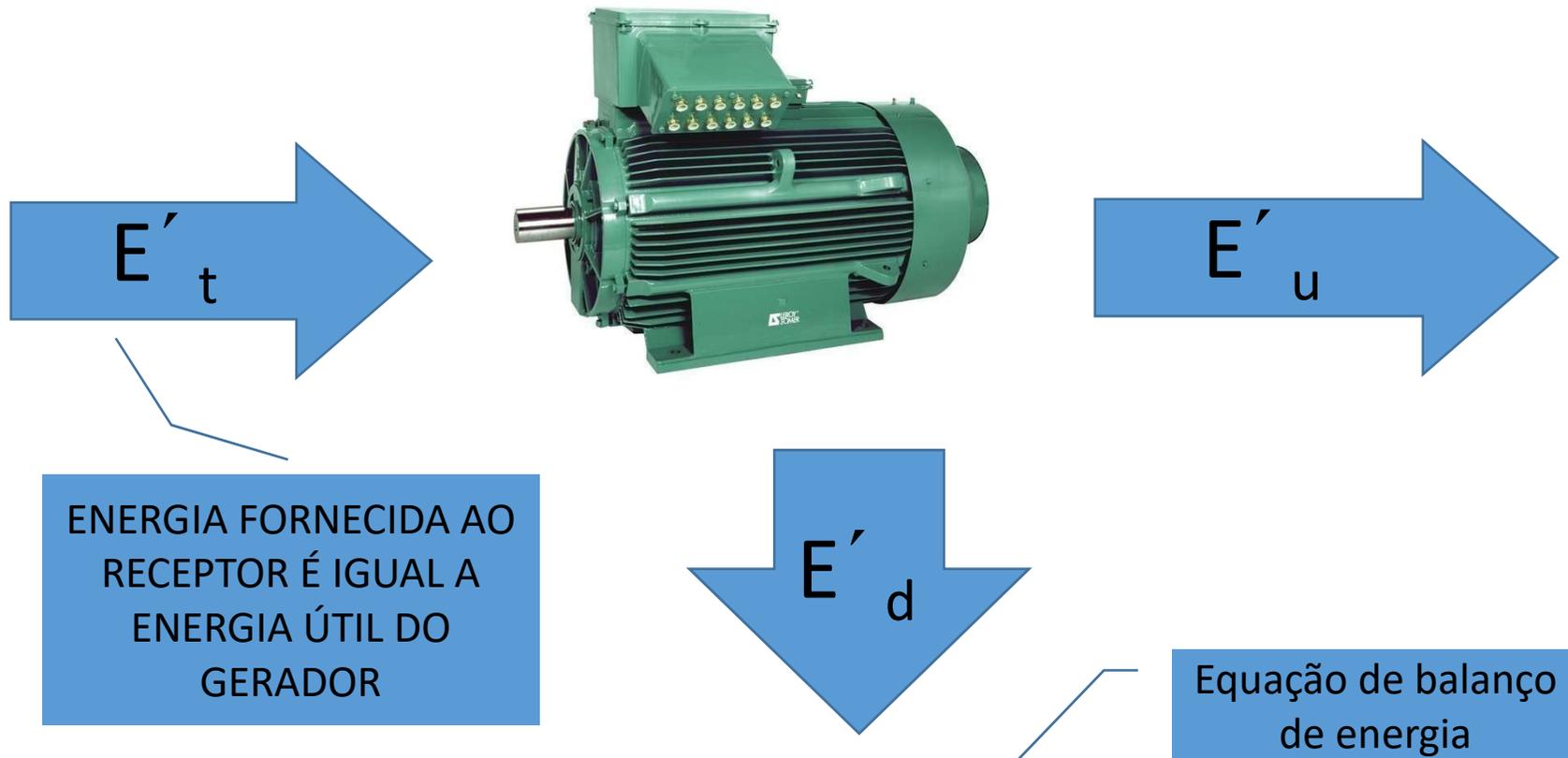
- a resistência interna do gerador;
- a equação do gerador;
- potência total, útil e dissipada para $i=3$ A.
- rendimento para $i=5$ A.

RECEPTORES

São aparelhos elétricos que transformam energia elétrica em outras formas de energia, que não exclusivamente calor.



RECEPTORES



$$E'_t = E'_u + E'_d$$

RECEPTORES

$$\frac{E'_t}{\Delta t} = \frac{E'_u}{\Delta t} + \frac{E'_d}{\Delta t}$$

POTÊNCIA
ÚTIL DO
GERADOR

$$P'_t = P'_u + P'_d$$

$$U \cdot i = E' \cdot i + r' \cdot i^2$$

RECEPTORES

$$U \cdot i = E' \cdot i + r' \cdot i^2$$

$$\cancel{U \cdot i} = \cancel{i} \cdot (E' + r' \cdot i)$$

$$U = (E' + r' \cdot i)$$

$$U = E' + r' \cdot i$$

Constantes do receptor

RECEPTORES

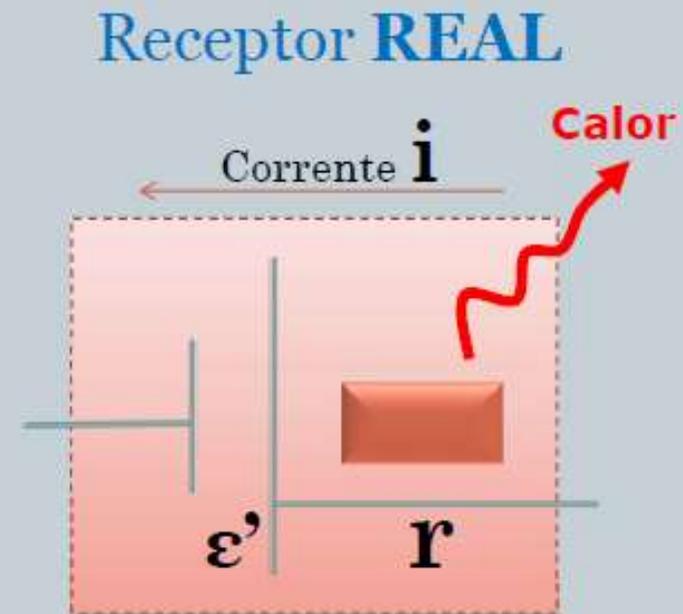
- Além do trabalho, há dissipação de energia por causa da resistência interna! **Calor!**

- Voltagem dissipada em r :

$$U_{\text{DISS}} = r \cdot i$$

- Voltagem total gasta pelo aparelho (que “entra” nele):

$$U = \varepsilon' + r \cdot i$$



RECEPTORES

$$\text{rendimento (\%)} = \frac{\text{Energia Útil}}{\text{Energia Total}}$$

$$\eta = \frac{\epsilon'}{U}$$

ou

$$\eta = \frac{P_{\text{ÚTIL}}}{P_{\text{TOTAL}}}$$

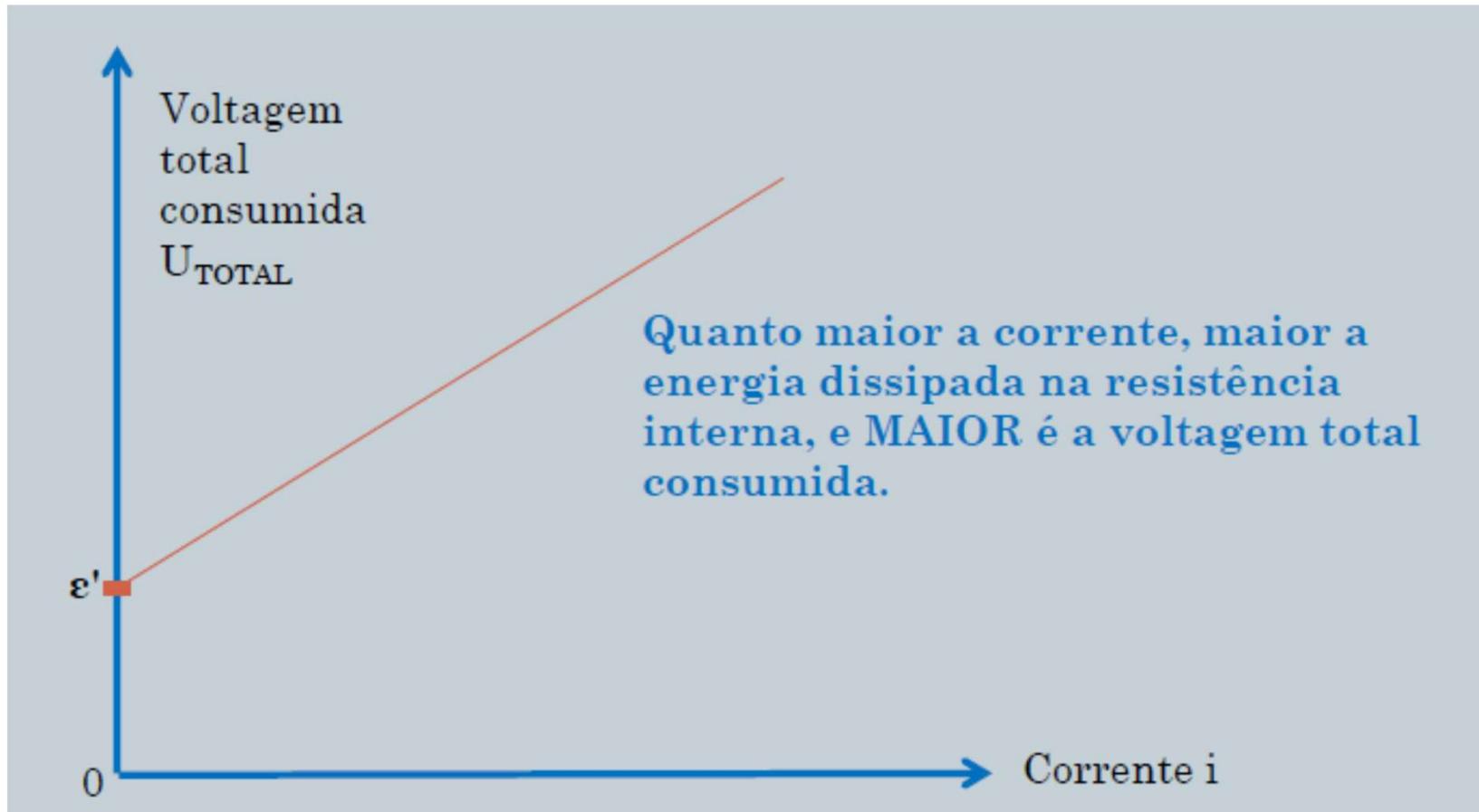
○ Potências:

- Dissipada: $P_{\text{DISS}} = r.i^2$

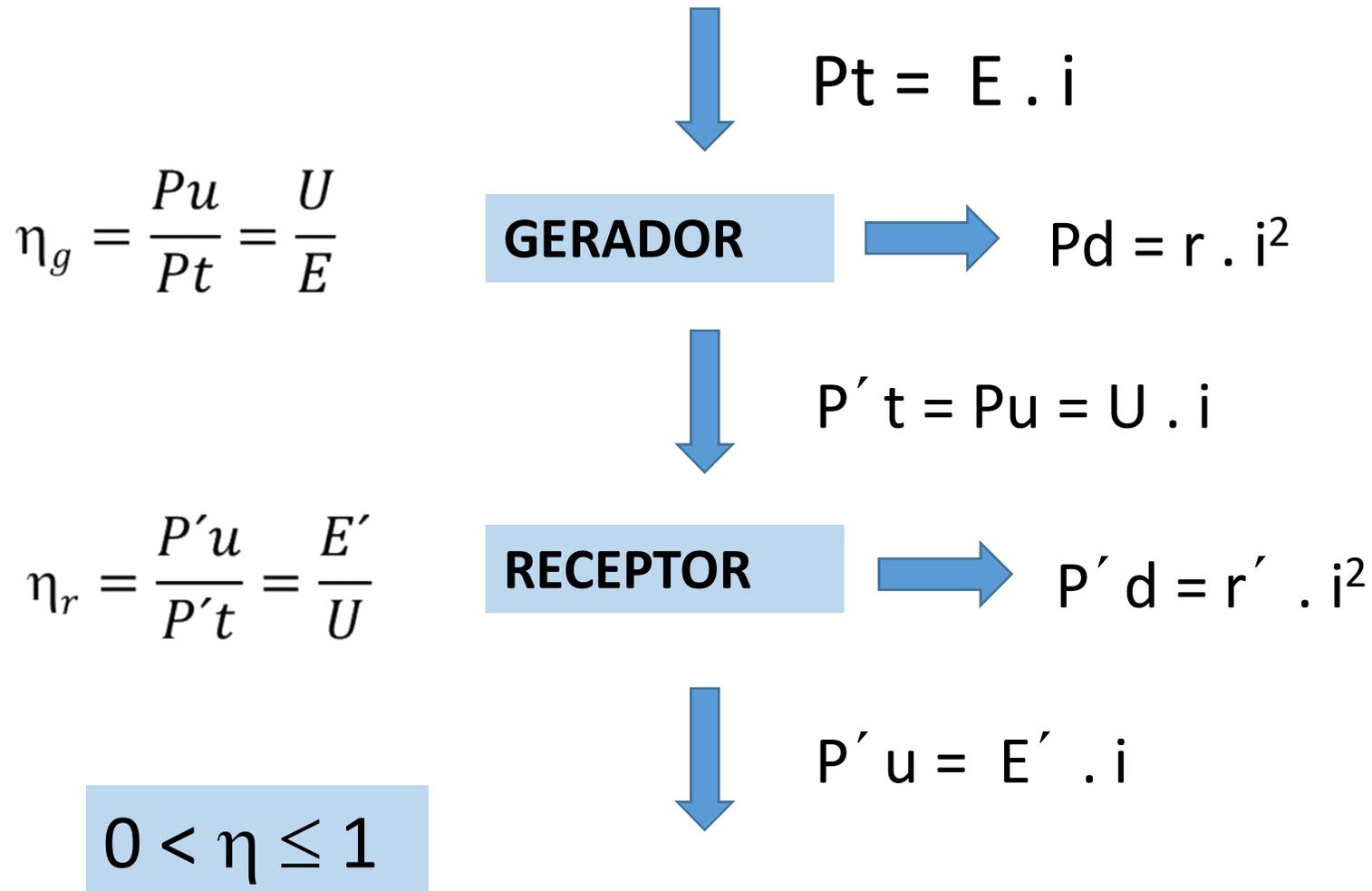
- Útil: $P_{\text{ÚTIL}} = \epsilon'.i$

- **Total** : $P_{\text{TOTAL}} = U_{\text{TOTAL}}.i$
 $= (\epsilon' + r.i).i$
 $= \epsilon'.i + r.i^2$
 $= P_{\text{ÚTIL}} + P_{\text{DISS}}$

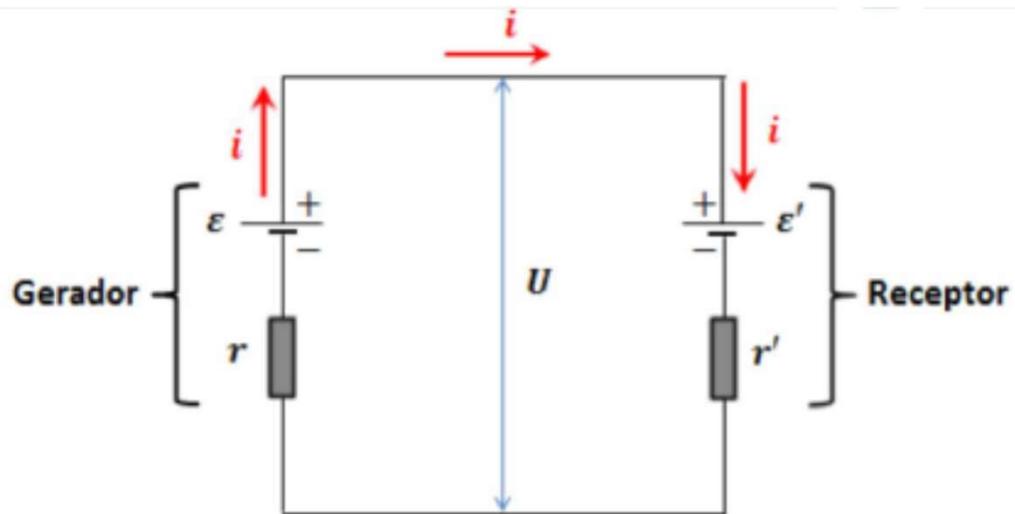
RECEPTORES



CIRCUITO GERADOR - RECEPTORES



CIRCUITO GERADOR - RECEPTORES

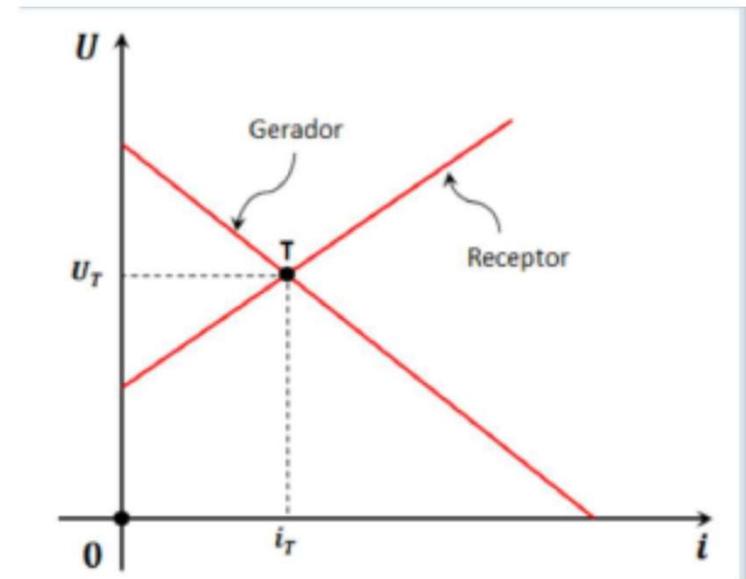


Para o gerador: $U = \varepsilon - ri$

Para o receptor: $U = \varepsilon' + r'i$

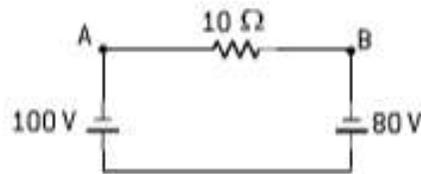
Igualando ambas as equações:

$$U = \varepsilon - ri = \varepsilon' + r'i \rightarrow \boxed{i = \frac{\varepsilon - \varepsilon'}{r + r'}}$$



EXERCÍCIOS

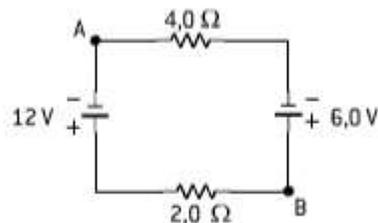
A figura a seguir mostra um circuito elétrico no qual um gerador ideal, um receptor ideal e um resistor são ligados em série.



A intensidade da corrente elétrica no resistor $R = 10 \Omega$ e a ddp entre os pontos A e B valem, respectivamente,

- | | |
|------------------|-----------------|
| a. 2 A e 80 V. | d. 18 A e 20 V. |
| b. 18 A e 180 V. | e. 2 A e 180 V. |
| c. 2 A e 20 V. | |

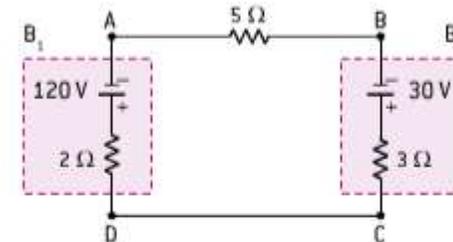
Um gerador de 12 V e resistência interna de $2,0 \Omega$ é ligado a um receptor de 6,0 V e resistência interna de $4,0 \Omega$, conforme mostra a figura.



Determine

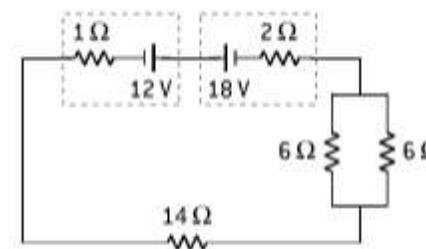
- a intensidade da corrente elétrica no circuito e o seu sentido;
- a ddp entre os pontos B e A.

Duas baterias, B_1 e B_2 , estão ligadas de tal forma que uma está recarregando a outra, como mostra o esquema a seguir.



- Determine a intensidade da corrente elétrica estabelecida no circuito e qual das baterias, B_1 ou B_2 , está sendo recarregada.
- Determine a ddp nos terminais da bateria que está sendo recarregada.

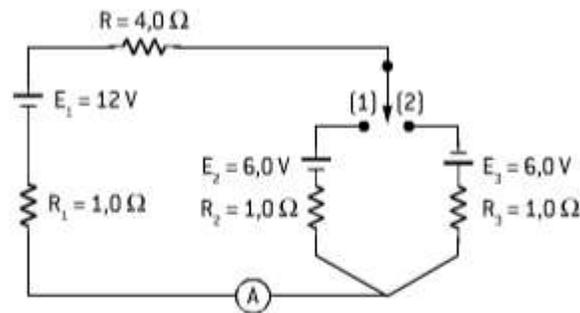
O valor da intensidade da corrente elétrica (em A) no circuito a seguir é



- | | |
|---------|---------|
| a. 1,5 | d. 0,50 |
| b. 0,62 | e. 0,30 |
| c. 1,03 | |

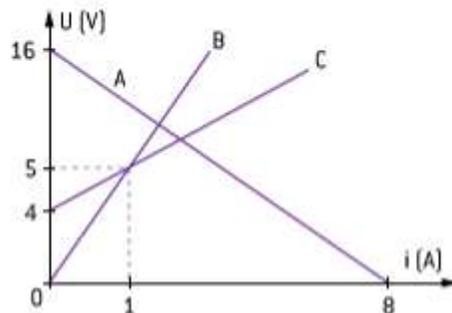
EXERCÍCIOS

Considere o circuito esquematizado a seguir, constituído por três baterias, um resistor ôhmico e uma chave comutadora. Os valores característicos de cada elemento estão indicados no esquema.



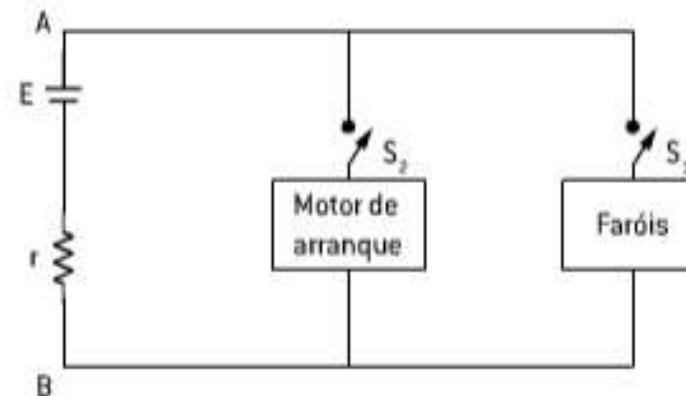
- A corrente que percorre o circuito quando a chave estiver ligada em (1) ou em (2) será, em ampères, respectivamente,
- 1,0 e 1,0.
 - 1,0 e 3,0.
 - 2,0 e 2,0.
 - 3,0 e 1,0.
 - 3,0 e 3,0.

Um circuito é constituído por três elementos, A, B e C, em série, cujas curvas características estão representadas no gráfico a seguir. A intensidade da corrente nesse circuito vale



A figura a seguir representa um esquema simplificado do circuito elétrico que acende/apaga os faróis de um carro e liga/desliga seu motor de arranque. \mathcal{E} , a força eletromotriz da bateria e r , sua resistência interna.

Dado: $\mathcal{E} = 12,0 \text{ V}$



Considerando apenas a chave S_1 fechada, a diferença de potencial entre os pontos A e B é de 11,5 V e a intensidade da corrente que percorre a bateria é de 10 A. Quando a chave S_2 também é fechada, a intensidade da corrente nos faróis diminui para 8,0 A.

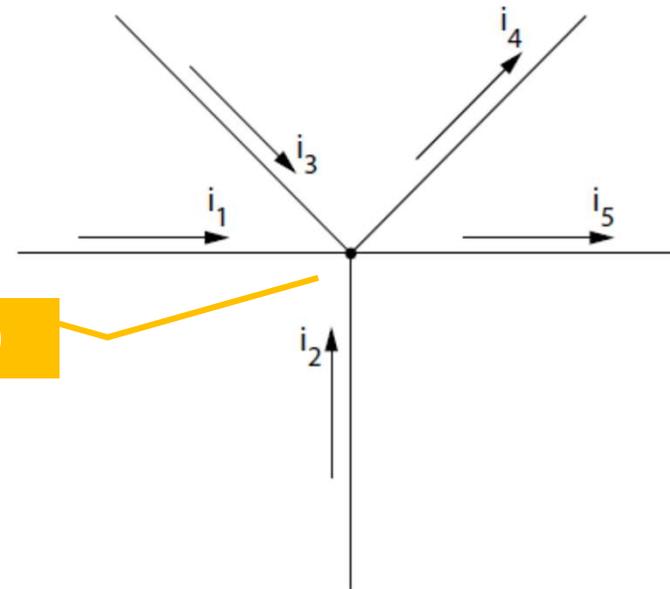
- Calcule a resistência interna r da bateria.
- Calcule a intensidade de corrente no motor de arranque, quando S_2 é fechada e os faróis estão acesos.

LEIS DE KIRCHHOFF

LEI DOS NÓS

$$\sum_{m=1}^M I_{\text{NÓ}} = 0$$

NÓ : PONTO DE INTERLIGAÇÃO ENTRE MAIS DOIS RAMOS



$$I_1 + I_2 - I_3 - I_4 - I_5 = 0$$

CONVENÇÃO



**CHEGANDO NO NÓ : POSITIVO
SAINDO DO NÓ: NEGATIVO**

LEIS DE KIRCHHOFF

LEI DAS MALHAS

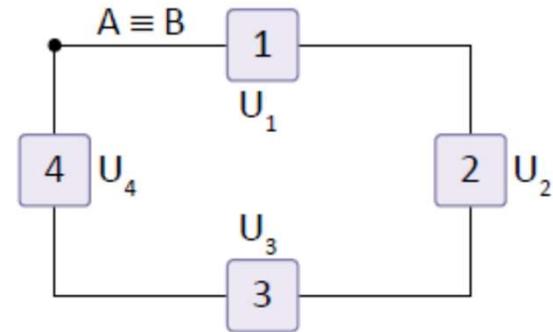
$$\sum_{m=1}^M V_{\text{MALHA}} = 0$$

PASSOS PARA OBTER A EQUAÇÃO DAS MALHAS

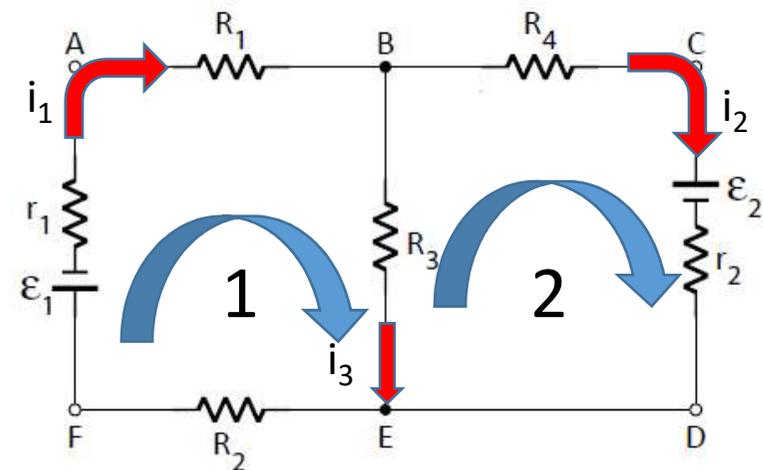
- ADOTAR UM SENTIDO PARA PERCORRER AS MALHAS

OBS. O SENTIDO ADOTADO PODE COINCIDIR COM O SENTIDO DA CORRENTE, QUANDO DADO

MALHA : CIRCUITO FECHADO



$$U_{AB} = U_1 + U_2 + U_3 + U_4 = 0$$



LEIS DE KIRCHHOFF

LEI DAS MALHAS

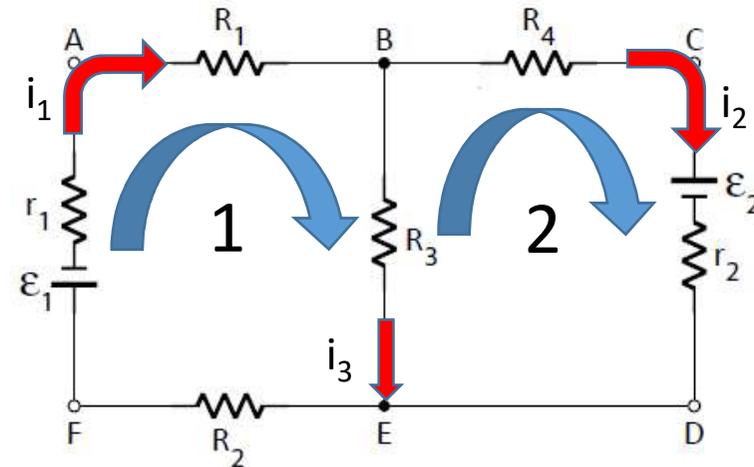
$$\sum_{m=1}^M V_{\text{MALHA}} = 0$$

Malha 01

$$+\varepsilon_1 + r_1 \cdot i_1 + R_1 \cdot i_1 + R_3 \cdot i_3 = 0$$

Malha 02

$$+\varepsilon_2 + r_2 \cdot i_2 - R_3 \cdot i_3 + R_4 \cdot i_2 = 0$$



LEI DOS NÓS

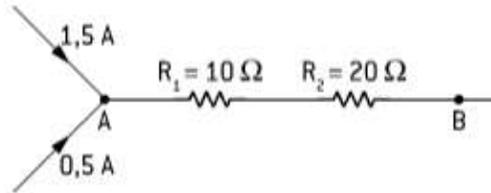
$$\sum_{m=1}^M I_{\text{NÓ}} = 0$$

Nó B

$$i_1 - i_2 - i_3 = 0$$

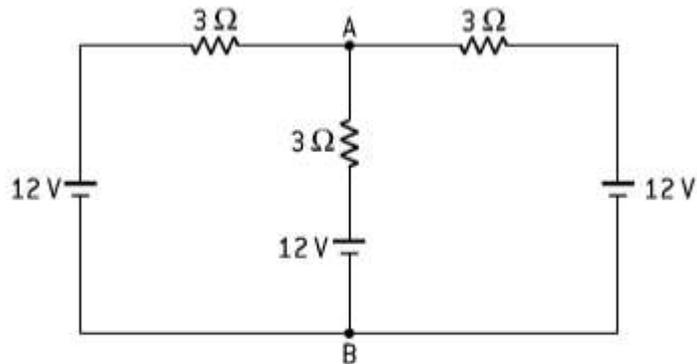
EXERCÍCIOS

A figura mostra um ramo de um circuito contendo os resistores $R_1 = 10 \Omega$ e $R_2 = 20 \Omega$. Se as correntes que chegam ao nó A são 1,5 A e 0,5 A, então a diferença de potencial entre A e B será, em volts,



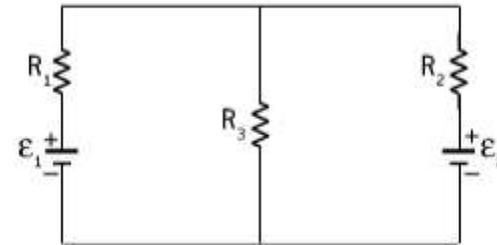
- a. 120 c. 30 e. 10
b. 60 d. 20

No circuito a seguir, os geradores são ideais. A ddp entre os pontos A e B é



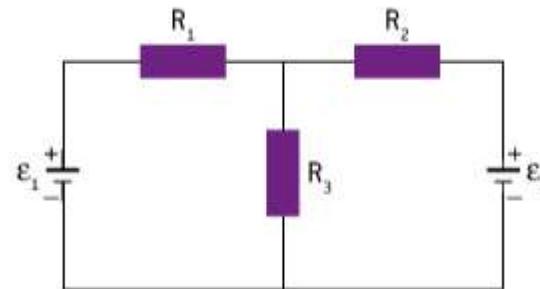
- a. zero d. 18 V
b. 6,0 V e. 36 V
c. 12 V

No circuito a seguir, $\varepsilon_2 = 12 \text{ V}$, $R_1 = 8 \Omega$, $R_2 = 4 \Omega$ e $R_3 = 2 \Omega$.



De quantos volts deve ser a fonte de tensão ε_1 , para que a corrente através da fonte de tensão ε_2 seja igual a zero?

O diagrama mostra um circuito com valores de resistências, $R_1 = R_2 = 2,00 \Omega$ e $R_3 = 3,00 \Omega$, e duas baterias ideais [isto é, de resistência interna desprezível] de força eletromotriz, $\varepsilon_1 = 10,0 \text{ V}$ e $\varepsilon_2 = 6,00 \text{ V}$. Pode-se afirmar que a potência dissipada no resistor R_3 tem valor aproximado de



- a. 12,0 W d. 30,8 W
b. 16,5 W e. 42,1 W
c. 22,3 W