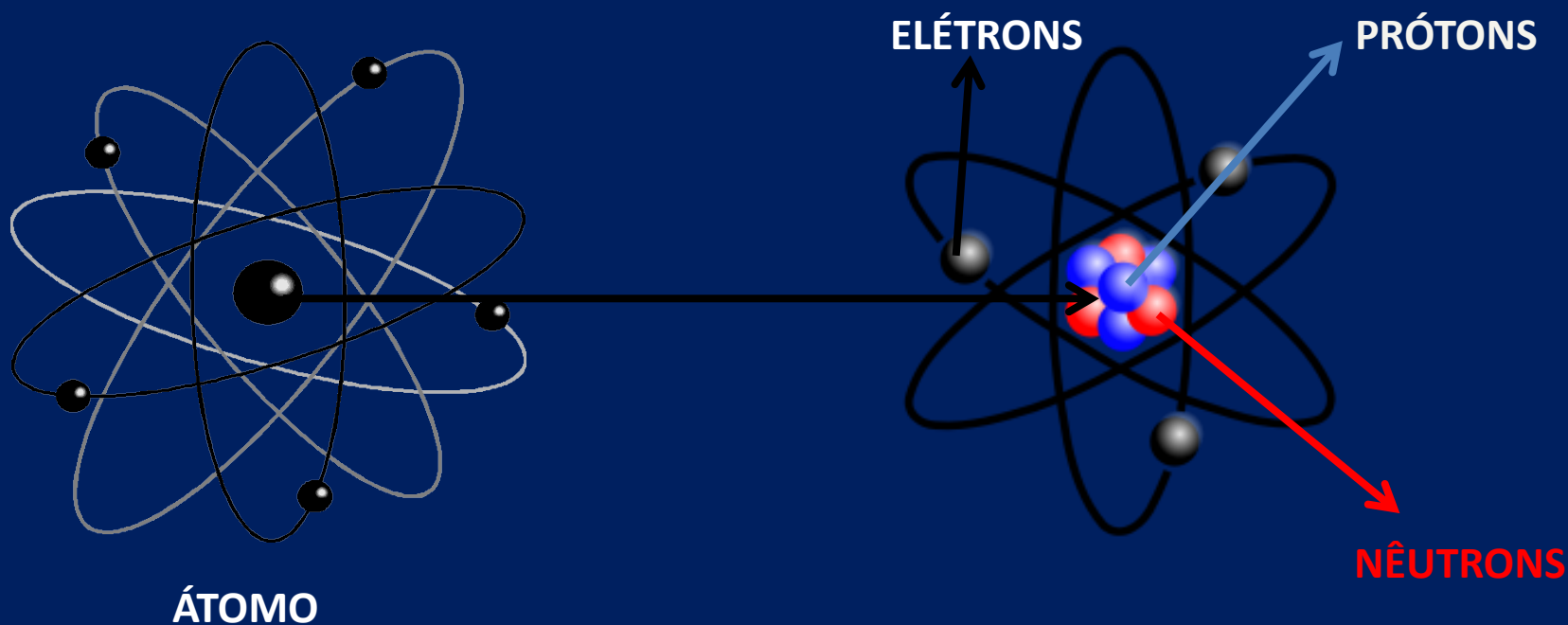


ELETRICIDADE

Prof. Antonio Marcos

ELETRICIDADE- Introdução



PRÓTONS



CARGA POSITIVA

ELÉTRONS



CARGA NEGATIVA

NÊUTRONS



SEM CARGA

CARGA ELÉTRICA

Corpo neutro – n° de Prótons = n° de elétrons.

Corpo eletrizado – n° de Prótons $\neq$ n° de elétrons.

a) **Positivamente** – n° de Prótons $>$ n° de elétrons. O corpo eletrizado positivamente PERDE elétrons.

b) **Negativamente** – n° de Prótons $<$ n° de elétrons. O corpo eletrizado negativamente GANHA elétrons.

QUANTIDADE DE CARGA ELÉTRICA(Q)

$$|Q| = n.e$$

$$e = 1,6.10^{-19} C$$

e – carga elementar

n – nº de elétrons ganhos ou perdidos.

A unidade de carga elétrica no sistema internacional de unidades(SI) é o *Coulomb(c)*.

Submúltiplos de Coulomb:

$$\text{milicoulomb}(mc) = 10^{-3} C$$

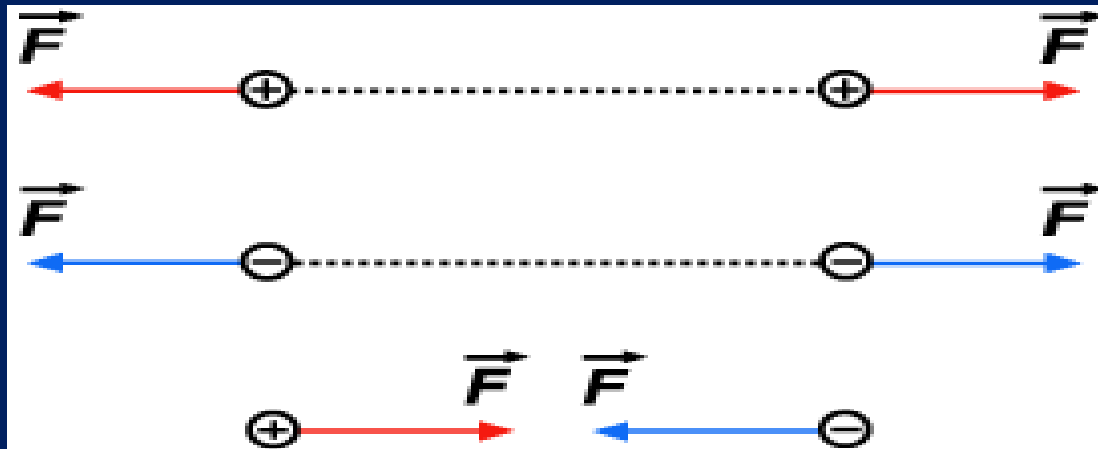
$$\text{microcoulomb}(\mu c) = 10^{-6} C$$

$$\text{nanocoulomb}(\eta c) = 10^{-9} C$$

$$\text{picocoulomb}(\rho c) = 10^{-12} C$$

Princípios da Eletricidade

- **1º Princípio:** “Cargas elétricas de mesmo sinal se repelem e cargas elétricas de sinais contrários se atraem”.

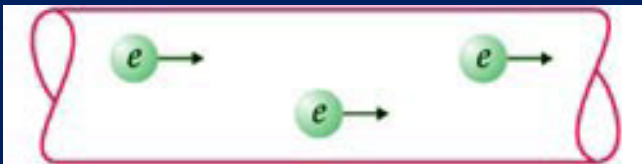


- **2º Princípio:** “Em um sistema eletricamente isolado, a carga elétrica permanece sempre constante”.

$$Q_{ANTES} = Q_{DEPOIS}$$

CONDUTORES E ISOLANTES

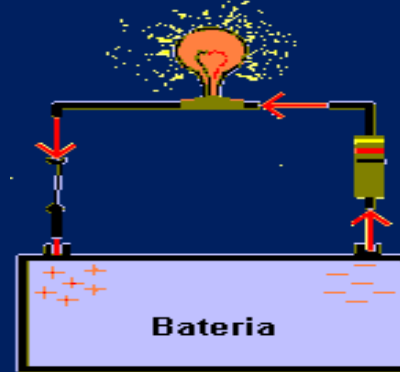
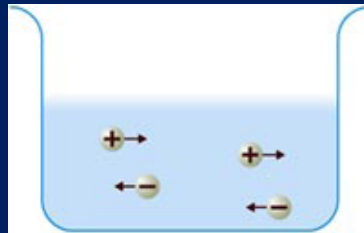
- **CONDUTORES** – São compostos em que há facilidade no fluxo de cargas elétricas em sua superfície.
- Podem ser classificados como:
- **a) Eletrônicos** – Possuem fluxo exclusivo de elétrons. Ex: Condutores metálicos



CONDUTORES E ISOLANTES

- **b) Iônicos (eletrolíticos)** – O fluxo de cargas é gerado pelo movimento de cátions e ânions em sentidos opostos.

Ex: BATERIAS



- **IMPORTANTE:** Gases: portadores de cargas elétricas íons e elétrons.



CONDUTORES E ISOLANTES

ISOLANTES - São compostos em que há dificuldade no fluxo de cargas elétricas em sua superfície.

Ex: Papel, borracha, madeira, plástico, mica, cerâmica, seda, fibras ópticas.

IMPORTANTES:

I. Abaixo de 0°C, mica, cerâmica e fibras ópticas passam a ser condutores.

II. Isolantes eletrizam, apenas não conseguem conduzir eletricidade.

EXERCÍCIOS

2) Um carro, ao se movimentar através do ar, pode ter parte dos elétrons da carroceria arrancada devido ao atrito com o ar. Se a carga elétrica adquirida pela carroceria for de $16 \mu\text{C}$, pode-se afirmar que a variação da massa do veículo devido a essa eletrização é de:

DADOS:

Massa do elétron = 9.10^{-31} kg Massa do próton: $1,6.10^{-27} \text{ kg}$

Carga do elétron: $1,6.10^{-19} \text{ C}$

-  9.10^{-17} kg
- b) 9.10^{-20} kg
- c) $4,5.10^{-17} \text{ kg}$
- d) $4,5.10^{-20} \text{ kg}$
- e) 5.10^{-20} kg

$$|Q| = n \cdot e$$

$$|16.10^{-6}| = n \cdot 1,6.10^{-19}$$

$$n = \frac{16.10^{-6}}{1,6.10^{-19}}$$

$$n = 10^{14} \text{ elétrons}$$

$$\begin{array}{l} 1 \text{ elétron} \text{ — } 9.10^{-31} \text{ kg} \\ 10^{14} \text{ elétrons} \text{ — } m \end{array}$$

$$m = 9.10^{-31} \cdot 10^{14}$$

$$m = 9.10^{-17} \text{ kg}$$

PROCESSOS DE ELETRIZAÇÃO

ATRITO

CONTATO

INDUÇÃO ELETROSTÁTICA

PIEZOELETRIZAÇÃO

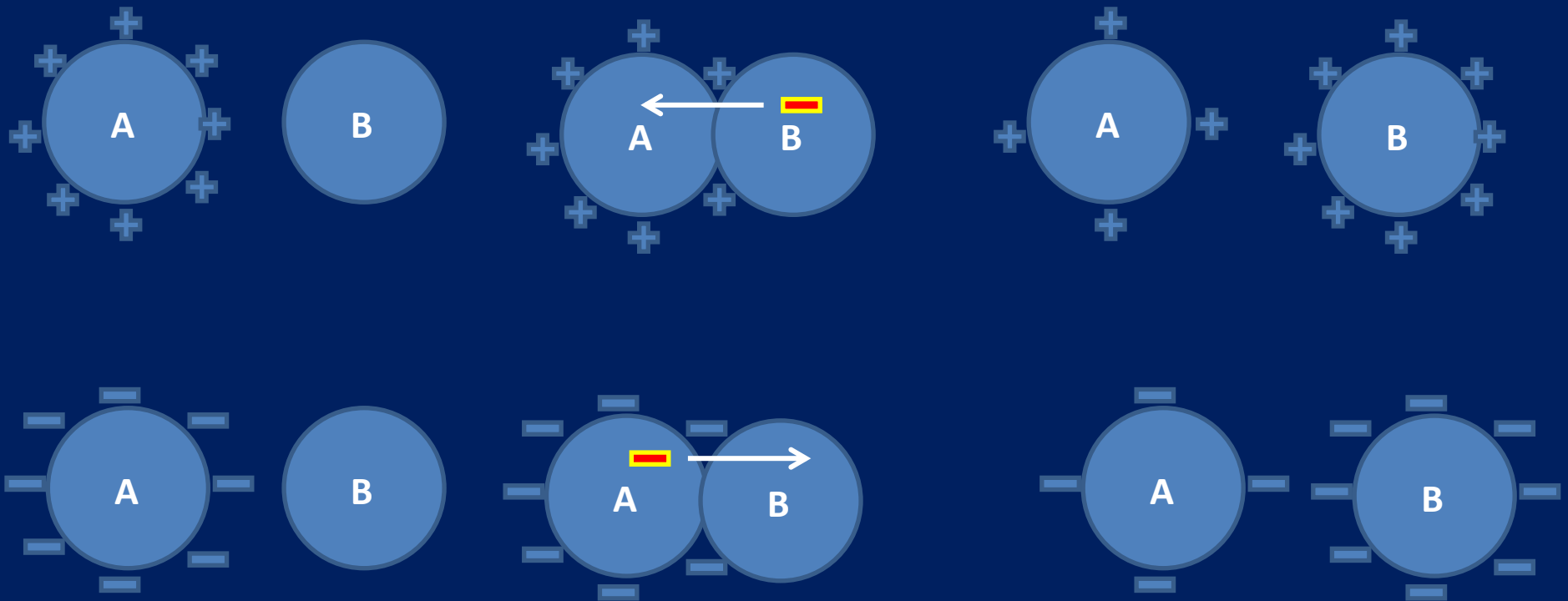
Eletrização por atrito

Ocorre quando dois corpos neutros e de substâncias diferentes, são atritados, adquirindo cargas de mesmo módulo e sinais contrários.



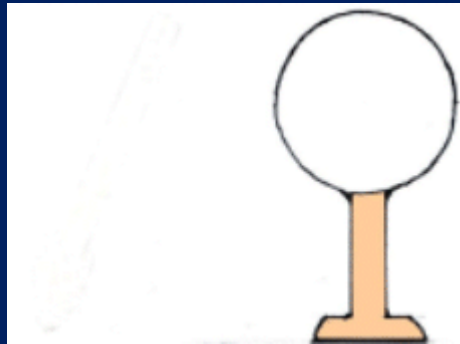
Eletrização por contato

Ocorre quando um corpo eletrizado toca, *rapidamente*, a superfície de um corpo neutro e ambos se eletrizam com cargas de mesmo sinal.

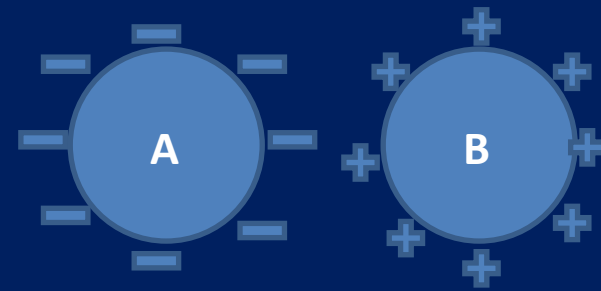
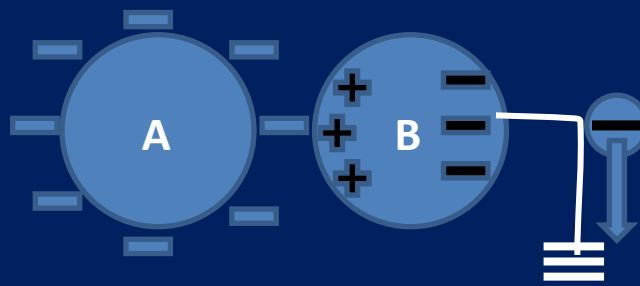
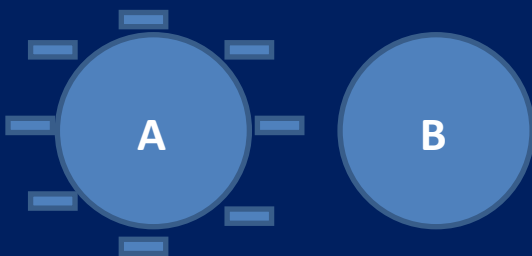
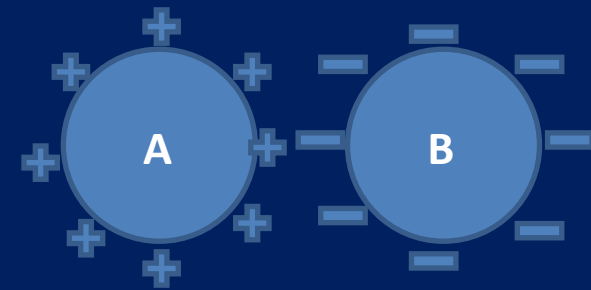
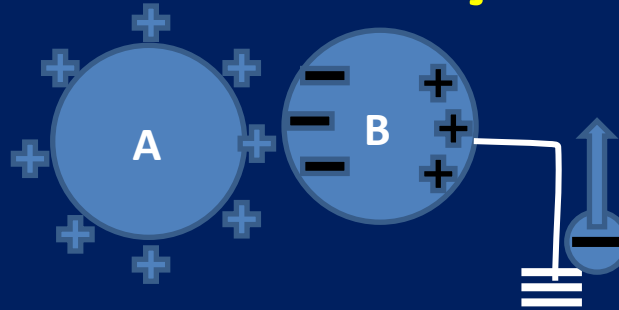
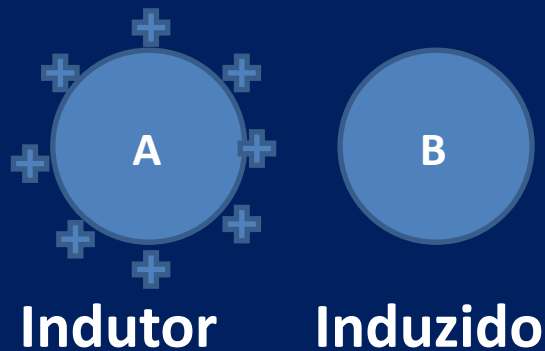


Eletrização por Indução eletrostática

Ocorre quando um corpo eletrizado é aproximado de um corpo neutro induzindo-o a eletrizar-se com carga de sinal contrário.

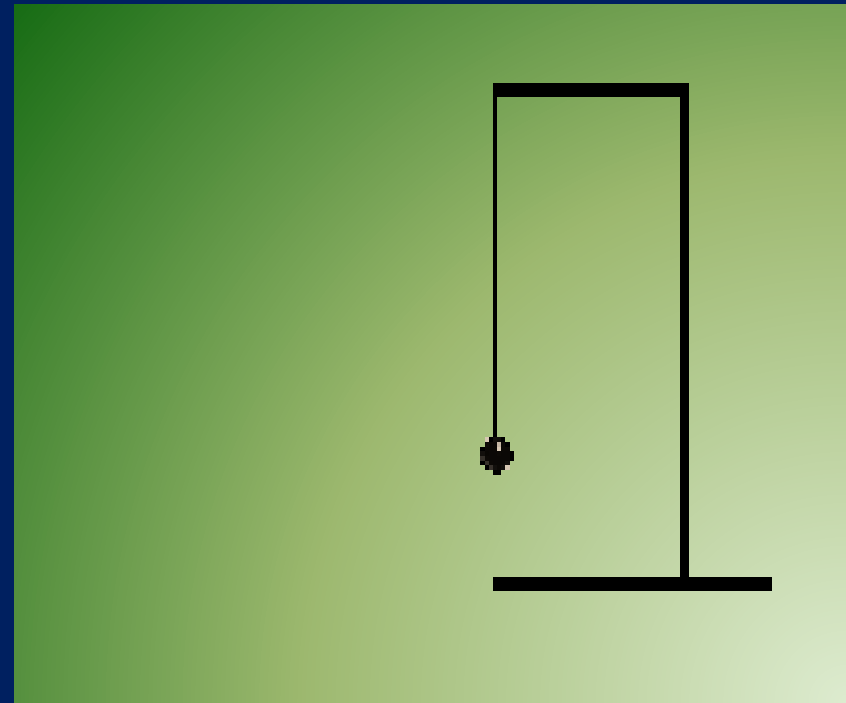
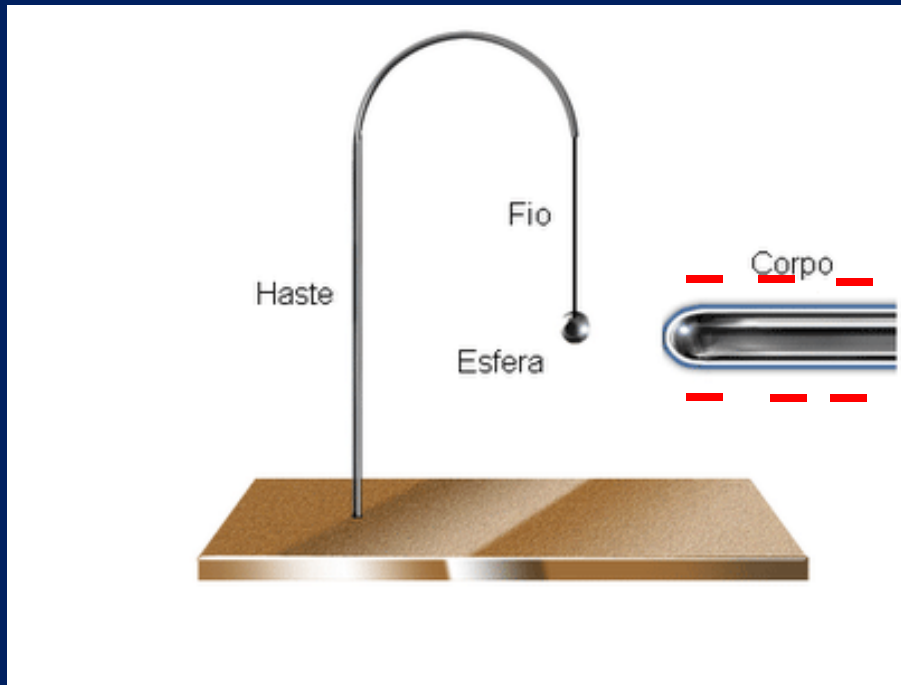


Polarização



Eletrização por Indução

Pêndulo Simples



Comprova que um corpo neutro pode ser atraído por um corpo eletrizado.

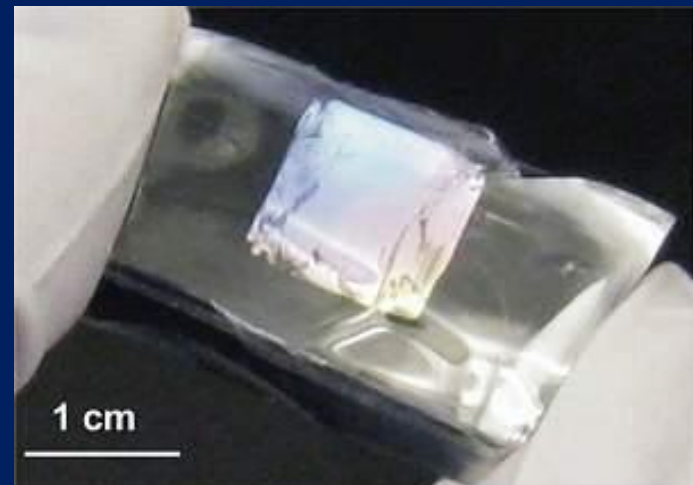
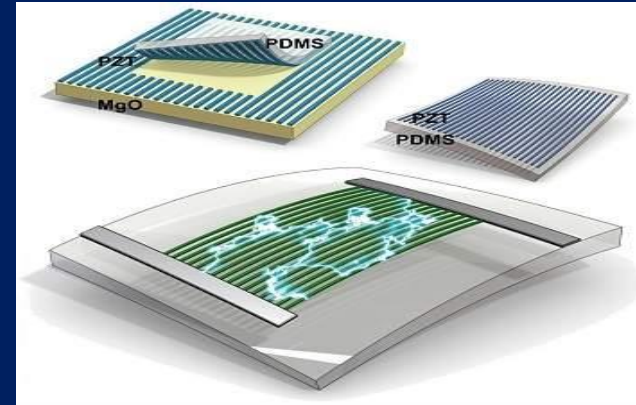
INOVAÇÕES TECNOLÓGICAS

Piezoeletrização – Ocorre quando uma determinada substância se eletriza por ação de *pressão*.

EX.: Cerâmica, quartzo, borracha de silicone...

Inovações tecnológicas

- Energia limpa
- **Piezoelétricidade**
- O material, composto por nanofitas de cerâmica incorporadas em folhas de borracha de silicone, gera eletricidade quando flexionado.
- Piezo-borracha
- Tênis que geram energia



Inovações tecnológicas

Energia limpa

Energia piezoelétrica

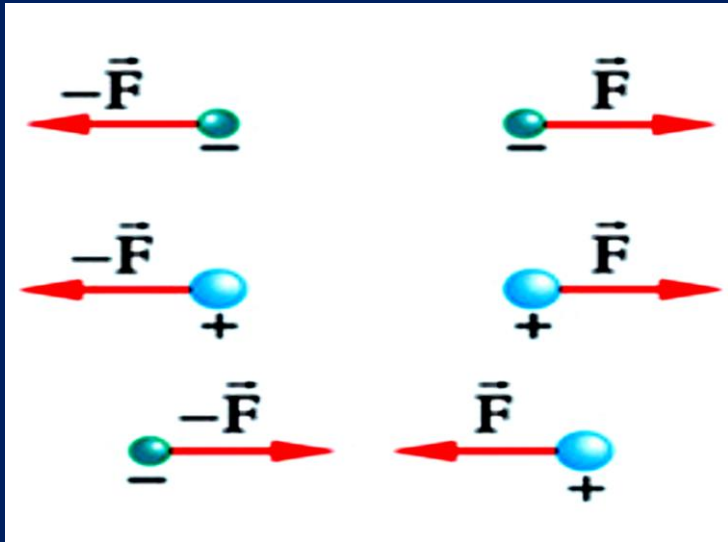
Pesquisadores da UNESP desenvolvem sistema de geração de energia piezoelétrica(geram energia quando são submetidos à pressão ou torção.) que funciona com a passagem de carros e pedestres

Ao passar sobre uma placa cerâmica embutida no asfalto, os veículos estimulam o material a produzir energia elétrica. Esta energia, então, alimenta a iluminação de placas e dos semáforos da própria rua ou estrada.

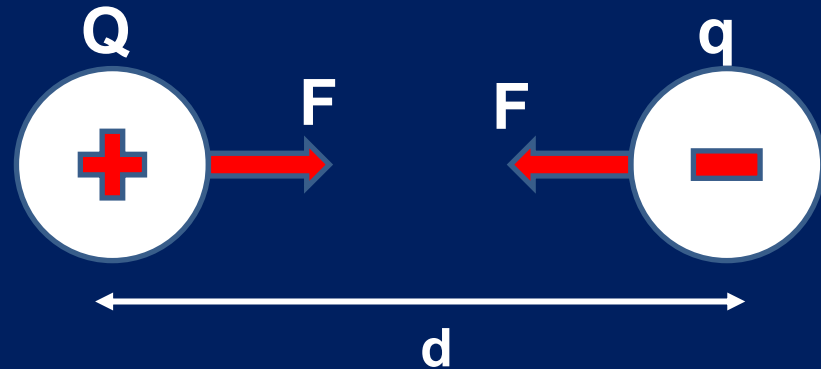


Força Elétrica

Lei de Coulomb



$$K = 9 \cdot 10^9 \text{ N.m}^2/\text{C}^2$$



$$F \propto \frac{Q}{d}$$

$$F \propto \frac{q}{d}$$

$$F \propto \frac{Q \cdot q}{d^2}$$



$$\vec{F} = \frac{K \cdot |Q \cdot q|}{d^2}$$

Annotations: 'N' points to K, 'm' points to d, and two 'c' characters point to Q and q respectively.

“A intensidade da força de interação elétrica entre duas cargas puntiformes é diretamente proporcional ao produto dos módulos das cargas e inversamente proporcional ao quadrado da distância entre elas”.

EXERCÍCIO APLICAÇÃO I MÓDULO MED

1. Duas cargas iguais são colocadas a uma distância de 10^{-3}m , surgindo entre elas uma força de repulsão igual a $3,6 \times 10^{-8}\text{N}$. Determine o valor de cada uma das cargas, em módulo.

a) $1\mu\text{C}$

☒ b) $2\mu\text{C}$

c) $3\mu\text{C}$

d) $4\mu\text{C}$

e) $5\mu\text{C}$

$$Q=q$$

$$\vec{F} = \frac{K \cdot |Q \cdot q|}{d^2}$$

$$3,6 \cdot 10^{-8} = \frac{9 \cdot 10^9 \cdot |Q \cdot Q|}{(10^{-3})^2}$$

$$3,6 \cdot 10^{-8} = \frac{9 \cdot 10^9 \cdot |Q^2|}{10^{-6}}$$

$$9 \cdot 10^9 \cdot |Q^2| = 3,6 \cdot 10^{-8} \cdot 10^{-6}$$

$$9 \cdot 10^9 \cdot |Q^2| = 3,6 \cdot 10^{-14}$$

$$|Q^2| = \frac{3,6 \cdot 10^{-14}}{9 \cdot 10^9}$$

$$|Q^2| = 0,4 \cdot 10^{-23}$$

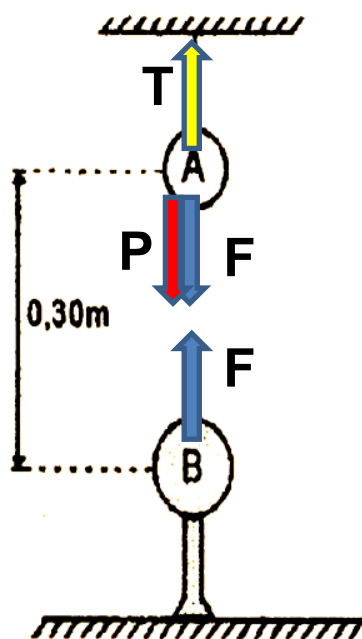
$$|Q^2| = 4 \cdot 10^{-24}$$

$$|Q| = \sqrt{4 \cdot 10^{-24}}$$

$$|Q| = 2 \cdot 10^{-12}\text{C}$$

$$|Q| = 2 \cdot \mu\text{C}$$

2. Uma força elétrica exerce influência no equilíbrio de uma esfera A, de 0,1Kg, pendurada por um fio delgado, sob a qual está uma esfera B, sustentada por um pedestal de material isolante, conforme figura ao lado.



$$q_A = 1,0 \times 10^{-2} \text{C}$$

$$q_B = -1,2 \times 10^{-8} \text{C}$$

$$P = m \cdot g$$

$$P = 0,1 \cdot 10$$

$$P = 1 \text{N}$$

$$\vec{F} = \frac{K \cdot |q_A q_B|}{d^2}$$

$$\vec{F} = \frac{9 \cdot 10^9 \cdot |1 \cdot 10^{-2} \cdot (-1,2 \cdot 10^{-8})|}{(3 \cdot 10^{-1})^2}$$

$$\vec{F} = \frac{9 \cdot 10^9 \cdot 1,2 \cdot 10^{-10}}{9 \cdot 10^{-2}}$$

Determine, em newtons, o módulo da força que traciona o fio que sustenta a esfera A.

- a) 4N
- b) 7N
- c) 9N
- d) 11N
- ☒ 13N

$$T = P + F$$

$$T = 1 + 12$$

$$T = 13 \text{N.}$$

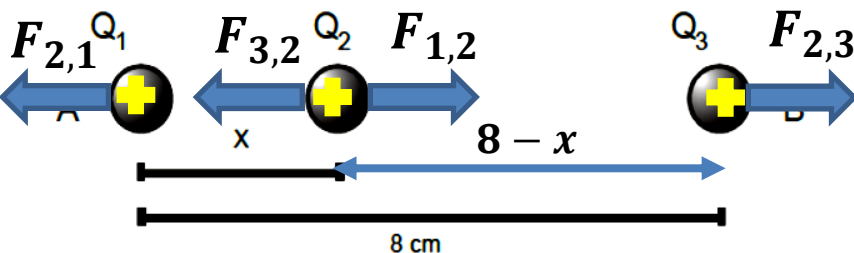
$$\vec{F} = 1,2 \cdot 10^1$$

$$\vec{F} = 12 \text{N}$$

4. As cargas $Q_1 = 9\text{ }\mu\text{C}$ e $Q_3 = 25\text{ }\mu\text{C}$ estão fixas nos pontos A e B.

Sabe-se que a carga $Q_2 = 2\text{ }\mu\text{C}$ está em equilíbrio sob ação de forças elétricas, somente na posição indicada.

Nestas condições:



$$F_{1,2} = F_{3,2}$$

- a) $x = 12\text{cm}$
- b) $x = 6\text{cm}$
- c) $x = 7,2\text{cm}$
- d) $x = 3\text{cm}$
- e) $x = 2,5\text{cm}$

$$\frac{\cancel{K} \cdot |\cancel{Q_1} \cancel{Q_2}|}{d_{1,2}^2} = \frac{\cancel{K} \cdot |\cancel{Q_3} \cancel{Q_2}|}{d_{3,2}^2}$$

$$\frac{Q_1}{d_{1,2}^2} = \frac{Q_3}{d_{3,2}^2}$$

$$\frac{9 \cdot \cancel{10^{-6}}}{x^2} = \frac{25 \cdot \cancel{10^{-6}}}{(8 - x)^2}$$

$$\frac{9}{x^2} = \frac{25}{(8 - x)^2}$$

$$\sqrt{\frac{9}{x^2}} = \sqrt{\frac{25}{(8 - x)^2}}$$

$$\frac{3}{x} = \frac{5}{(8 - x)}$$

$$5x = 24 - 3x$$

$$5x + 3x = 24$$

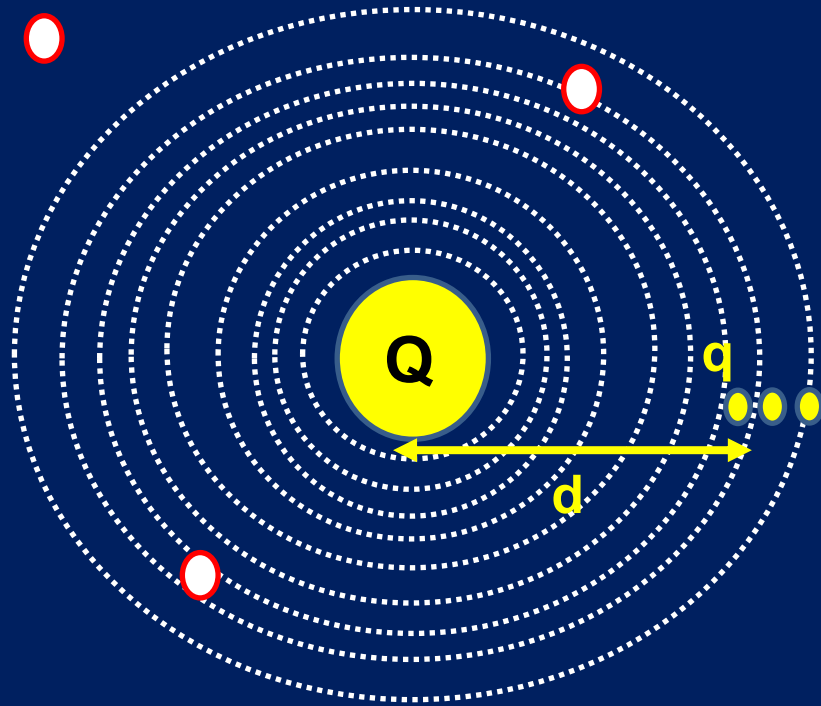
$$8x = 24$$

$$x = \frac{24}{8}$$

$$x = 3\text{cm.}$$

Campo Elétrico

Região no espaço, ao redor de uma carga eletrizada, que limita a atuação da força elétrica.

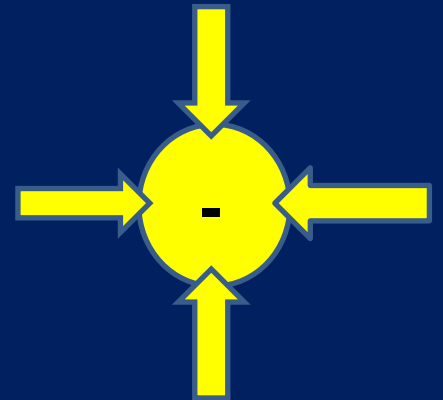
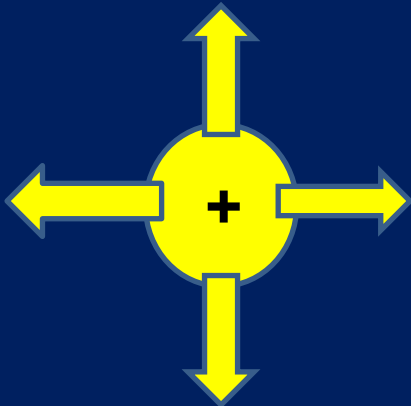
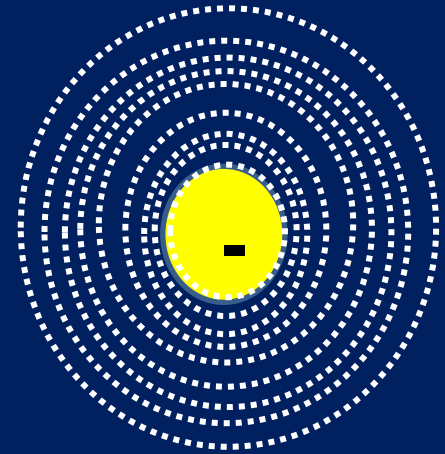
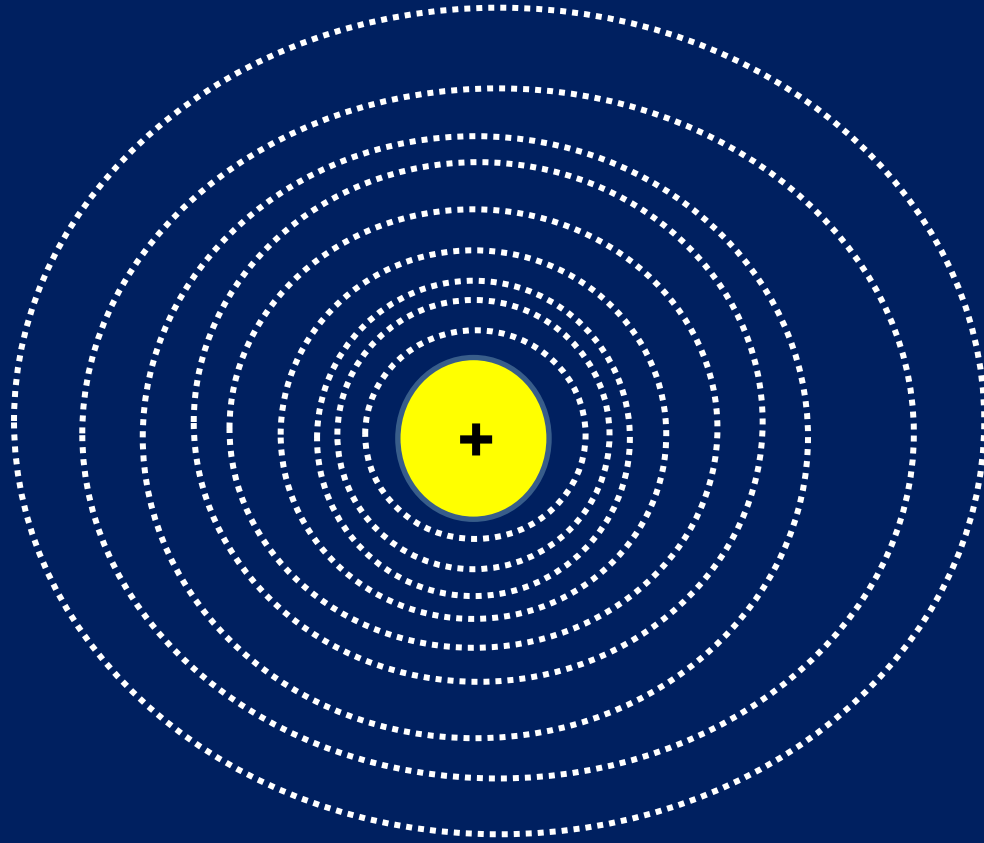


Q = carga geradora (Fixa)
q = carga de teste (móvel)

$$\begin{aligned} \vec{E} &= \frac{\vec{F}}{|q|} \quad \begin{matrix} \text{N} \\ \text{N/C} \end{matrix} \quad \begin{matrix} \text{C} \end{matrix} \\ &\Rightarrow \vec{E} = \frac{K \cdot |Q \cdot q|}{d^2} \cdot \frac{1}{|q|} \\ &\Rightarrow \vec{E} = \frac{K \cdot |Q|}{d^2} \end{aligned}$$

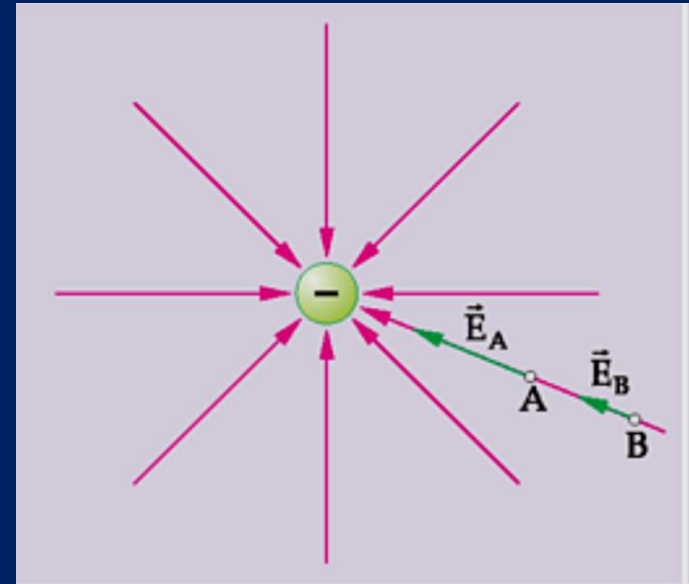
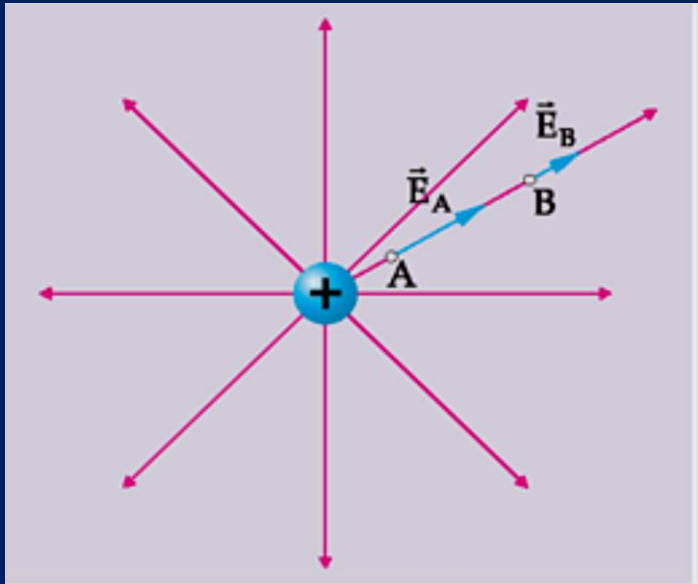
**O Vetor campo elétrico
independe da carga de
teste, mas sim da carga
geradora.**

Análise do comportamento do campo elétrico

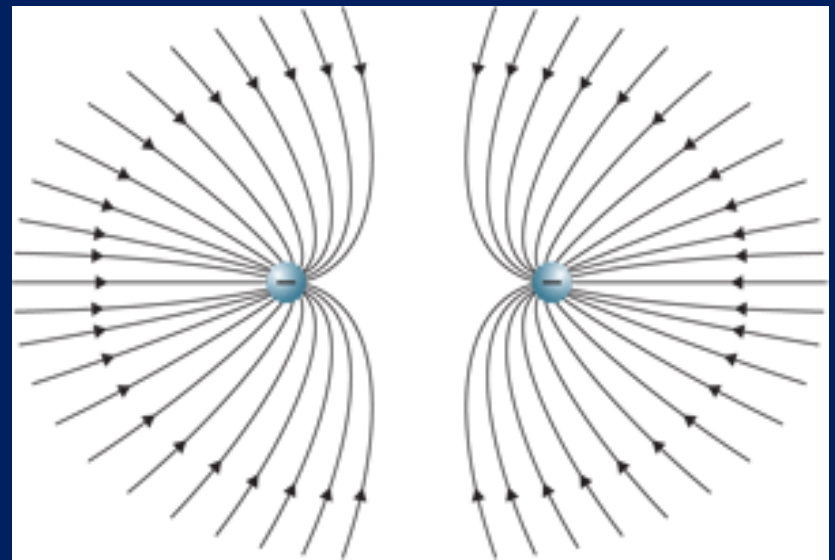
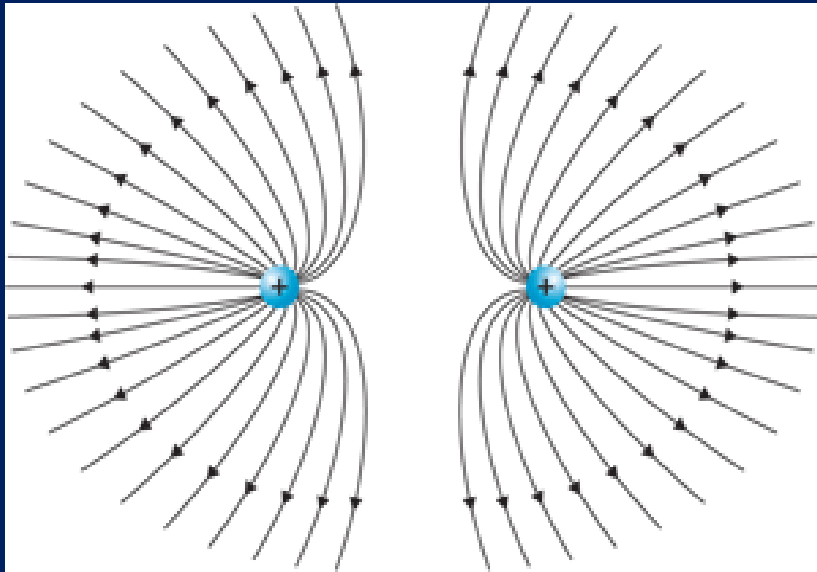
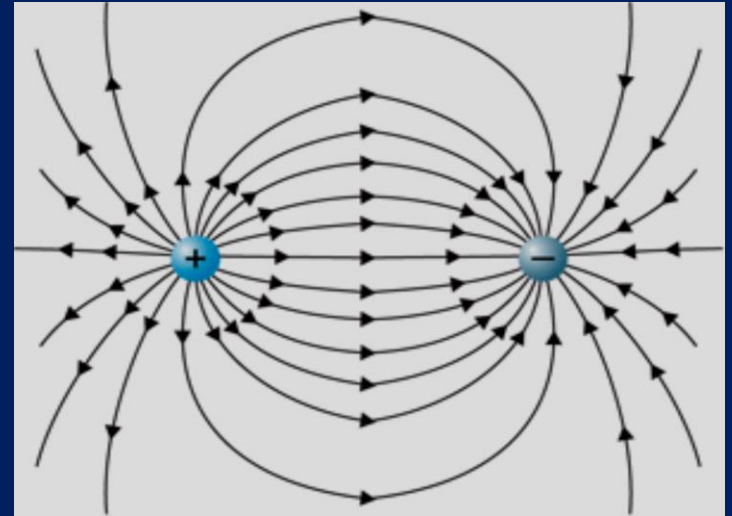
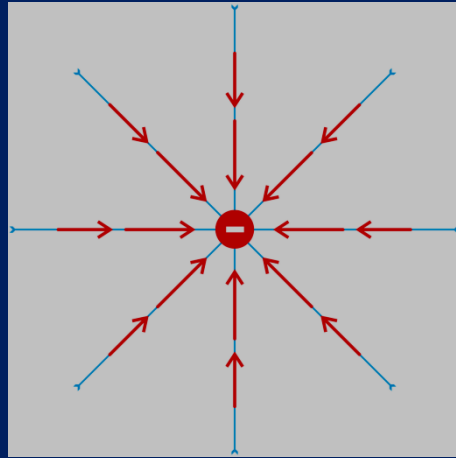
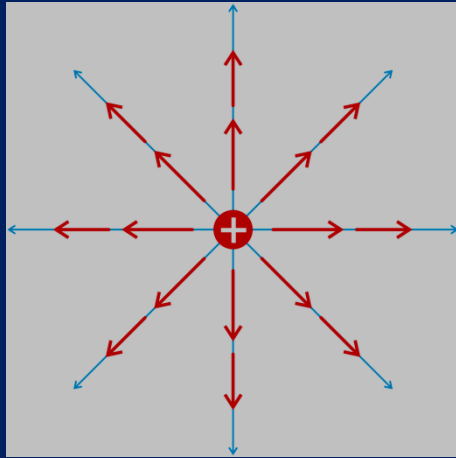


Propriedade do Campo elétrico

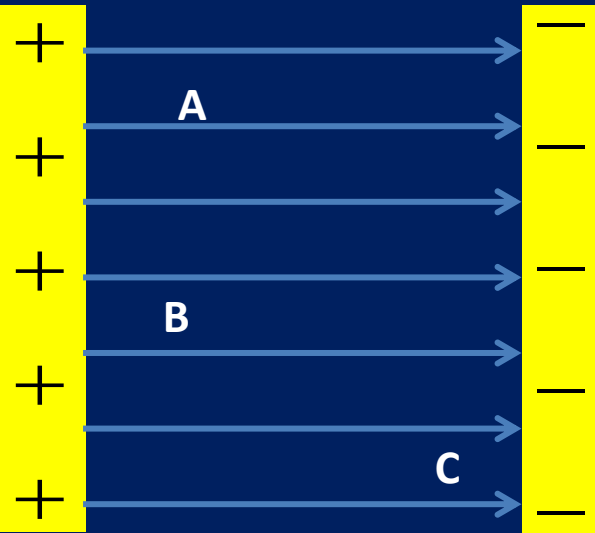
Quando a carga geradora é positiva, o campo elétrico é divergente, ou de afastamento. Quando a carga geradora é negativa, o campo elétrico é convergente, ou de aproximação.



Propriedades das linhas de força



Propriedades das linhas de força



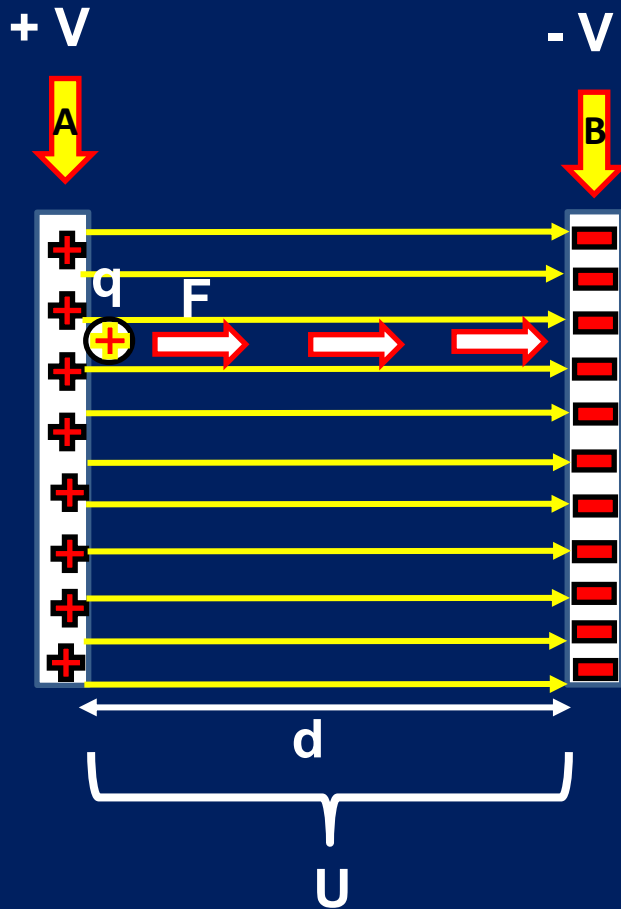
$$\vec{E}_B = \vec{E}_A = \vec{E}_C$$

O Campo elétrico é UNIFORME

O campo elétrico uniforme possui linhas de força paralelas e equidistantes.

A finalidade de um campo elétrico é armazenar energia potencial elétrica para que o sistema produza energia, ou seja, realize trabalho.

DDP no campo elétrico Uniforme (C.E.U)



$$\tau_{\text{Mecânico}} = \tau_{\text{Elétrico}}$$

$$F \cdot d = q \cdot U$$

~~$$|q| \cdot \vec{E} \cdot d = q \cdot U$$~~

$$U = \vec{E} \cdot d$$

V V/m m

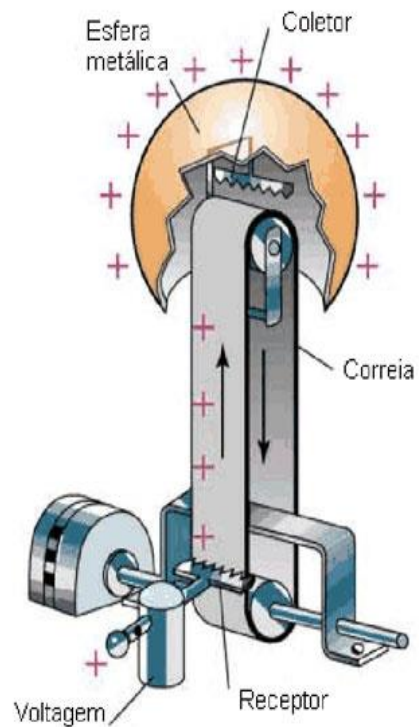
$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{|q|}$$



$$\vec{F} = |q| \cdot \vec{E}$$

Gerador Van de Graaff

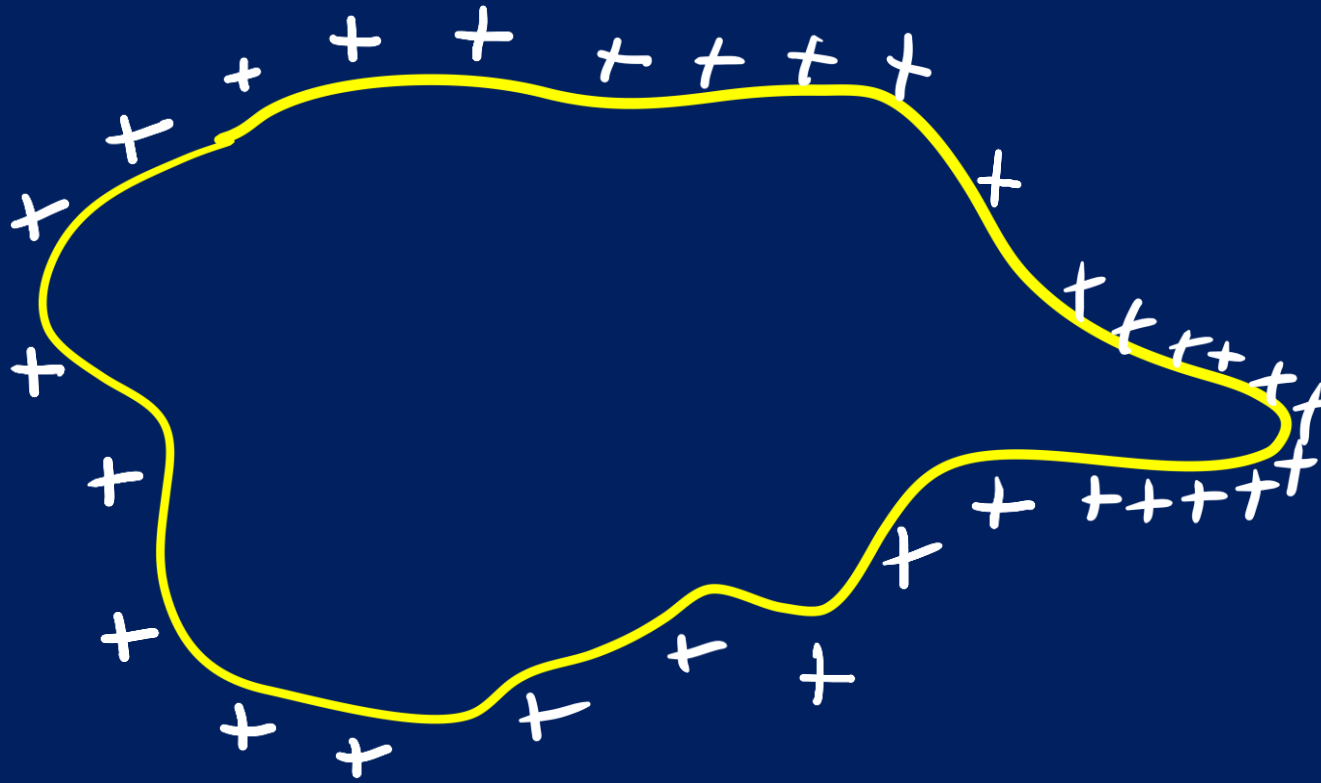
CONDUTOR EM EQUILÍBRIO ELETROSTÁTICO



GERADOR DE VAN DE GRAAFF

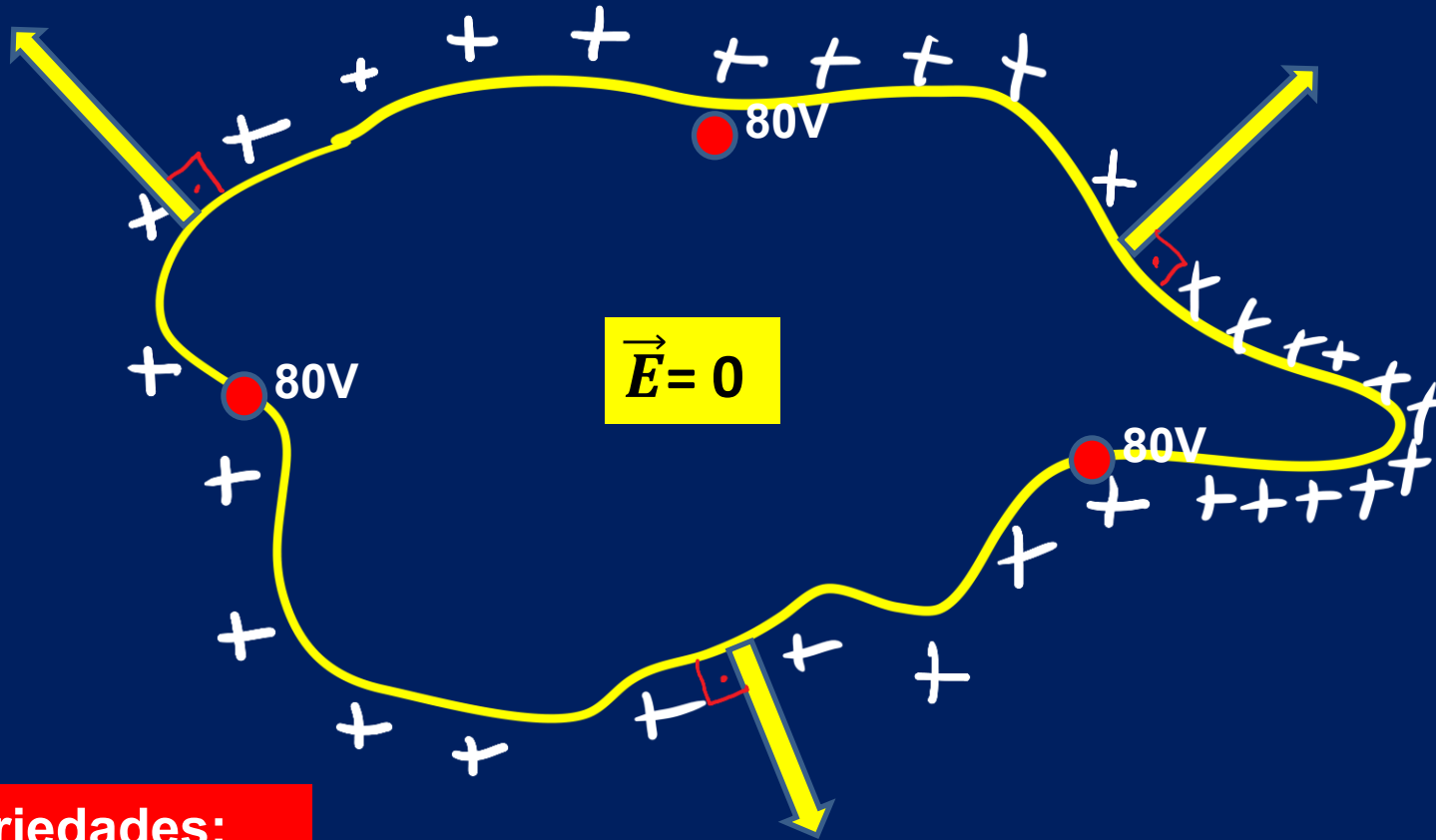


Condutor em equilíbrio eletrostático



É todo condutor em que as cargas se distribuem na superfície externa, de maneira desordenada, mantendo a carga constante.

Condutor em equilíbrio eletrostático



Propriedades:

1. No condutor em equilíbrio eletrostático, o campo elétrico é nulo no interior e perpendicular a todos os pontos da superfície.
2. No condutor em equilíbrio eletrostático, o potencial elétrico é constante, pois a carga é constante.
3. No condutor em equilíbrio eletrostático, as cargas se distribuem na superfície externa (Blindagem eletrostática) e se concentram nas regiões de menor área (Poder das pontas).

Condutor em equilíbrio eletrostático

Nos condutores em equilíbrio eletrostático, o fenômeno do “poder da pontas”, caracteriza a densidade superficial de cargas (D).

$$D = \frac{Q}{A}$$

Handwritten notes:

- A blue arrow points from the letter Q to the letter C (Capacitance).
- A red arrow points from the letter A to the unit m^2 .

Units:

- D is measured in C/m^2 .
- A is measured in m^2 .



Importante!!!

Distribuição $\neq$ Concentração

**Blindagem
eletrostática**

**Densidade superficial
ou poder das pontas**

Formação de Raios



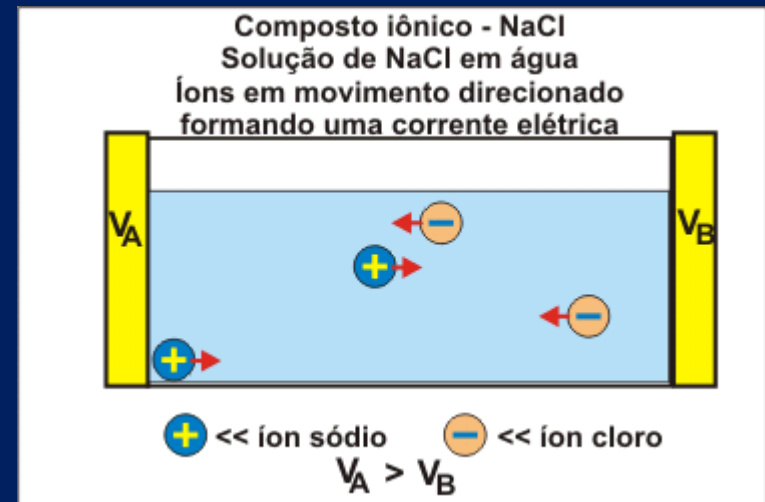
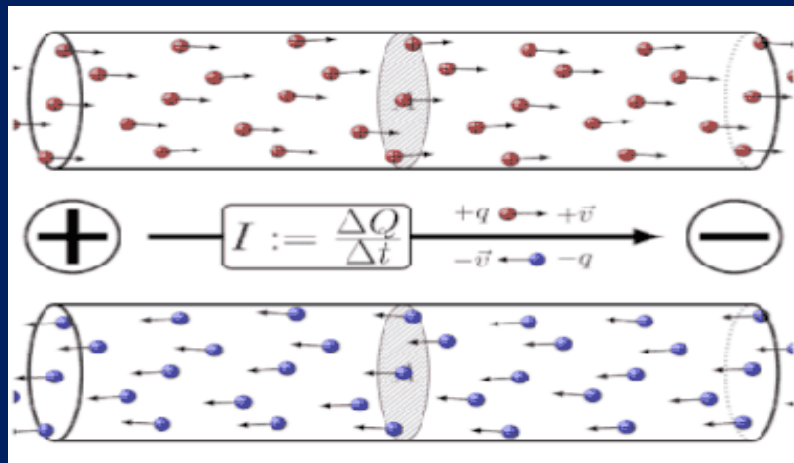
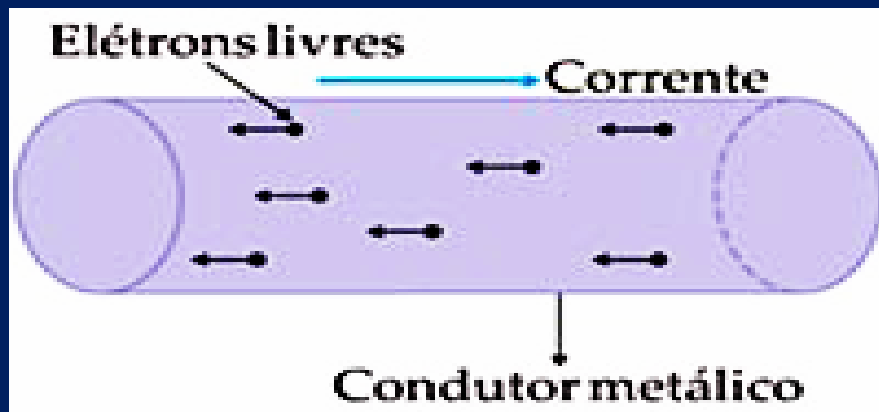
ELETRODINÂMICA



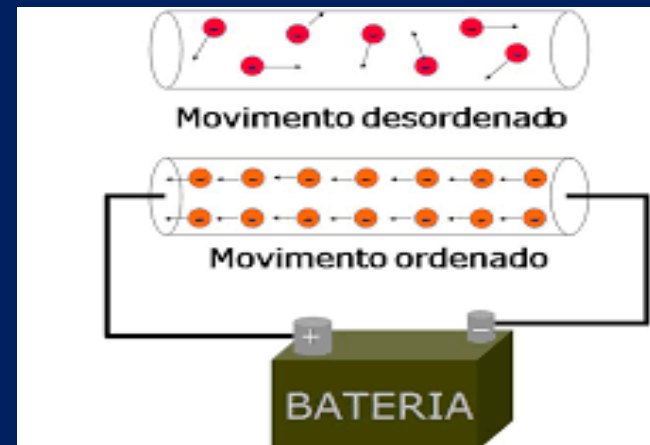
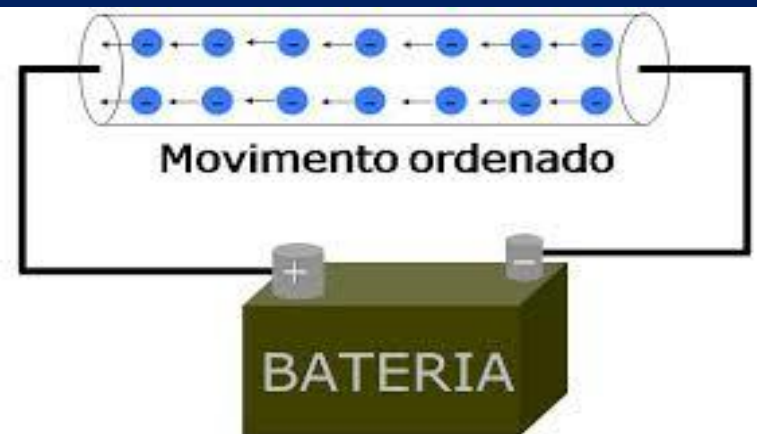
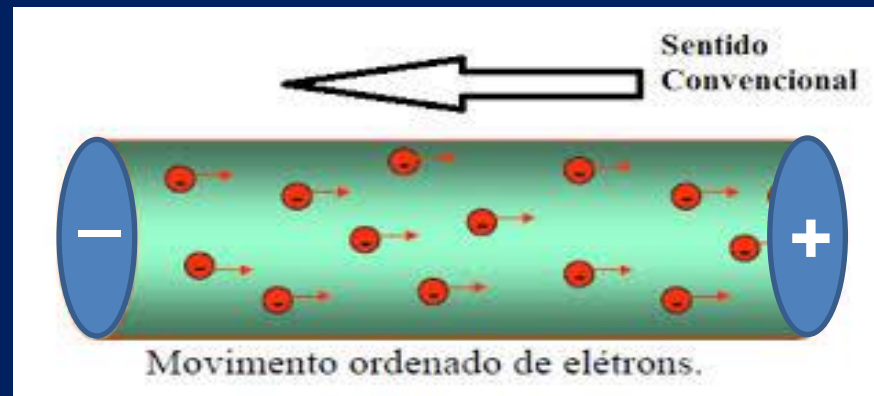
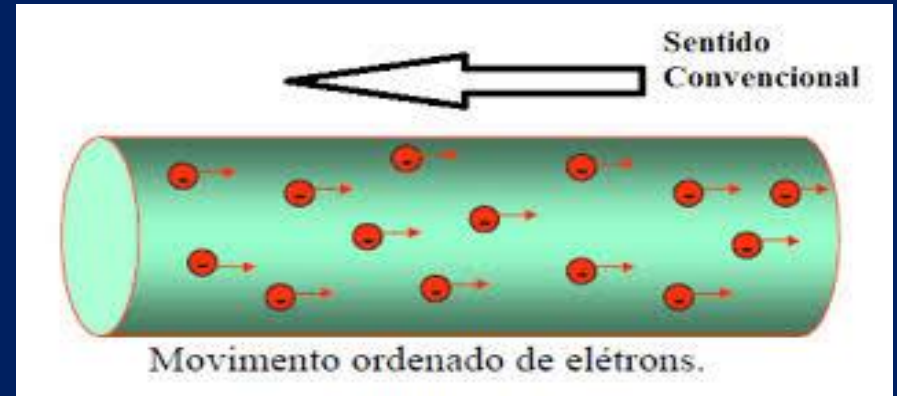
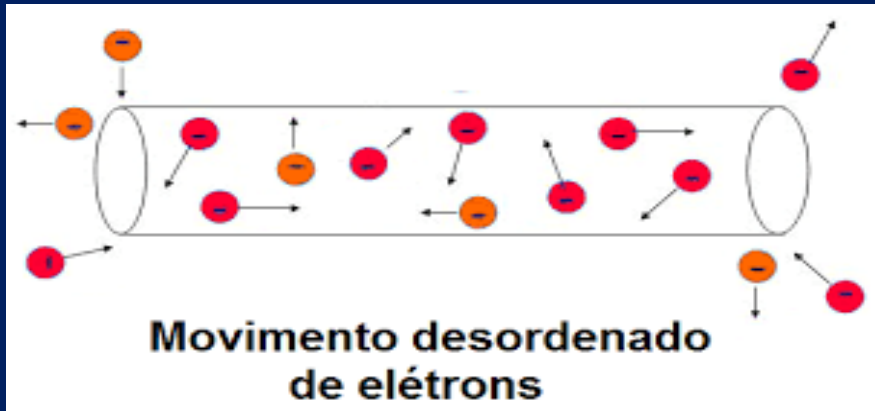
Corrente Elétrica

É o fluxo ordenado de cargas elétricas que se deslocam em um condutor, num dado intervalo de tempo.

Por convenção, adota-se o sentido da corrente como contrário ao das cargas em fluxo.

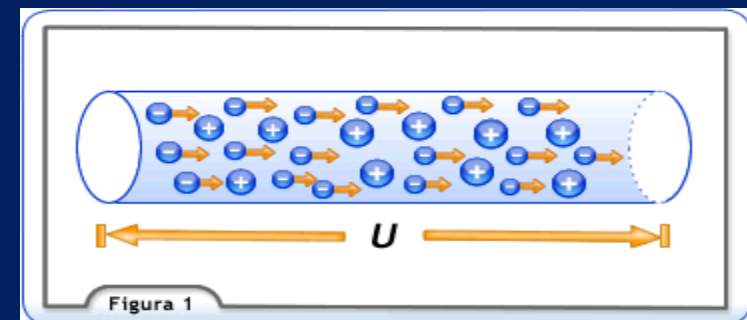
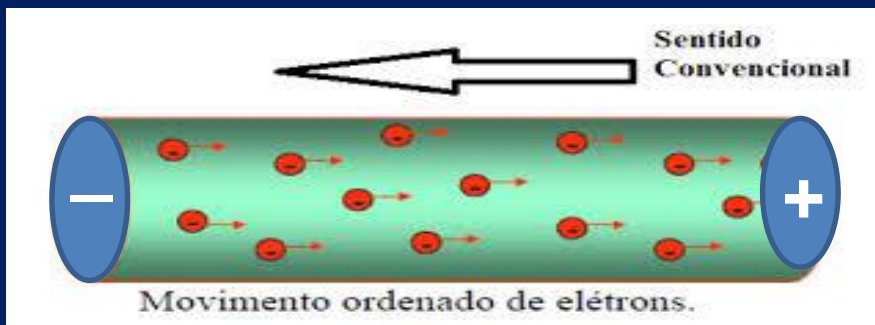
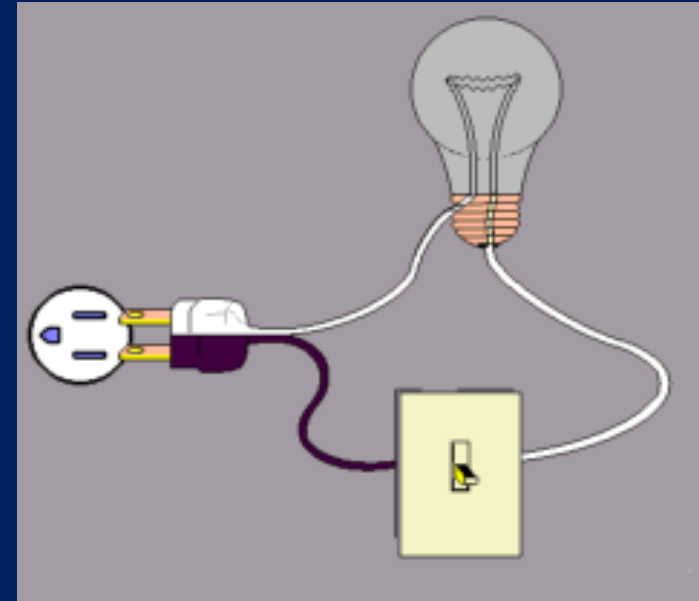
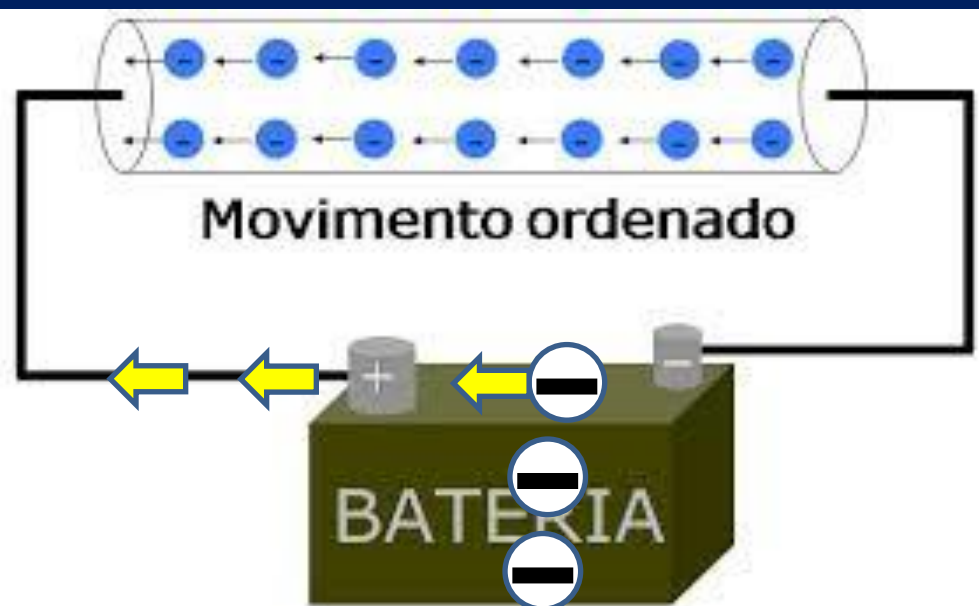


Análise funcional da corrente elétrica

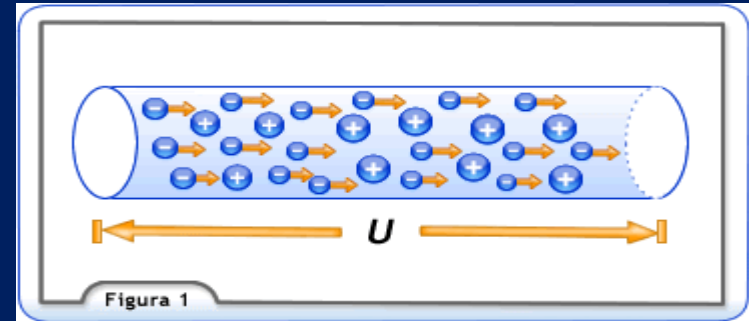
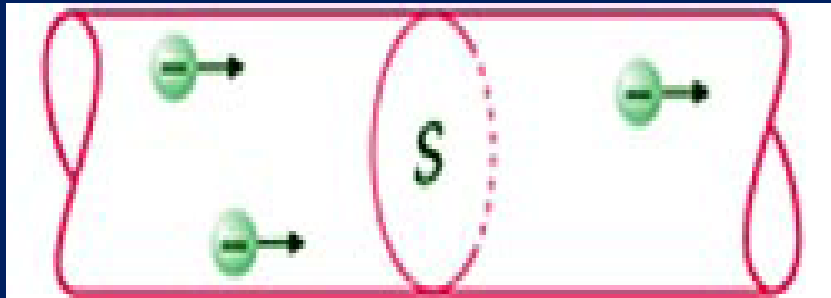


IMPORTANTE!

A corrente elétrica é determinada por uma diferença de potencial (ddp) U estabelecida em um sistema elétrico.



Intensidade de Corrente Elétrica



$$i = \frac{|Q|}{\Delta t}$$

→ Coulomb (C)
→ Segundos (s)
→ Ampère (A)

$$i = \frac{n \cdot e}{\Delta t}$$

$$e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

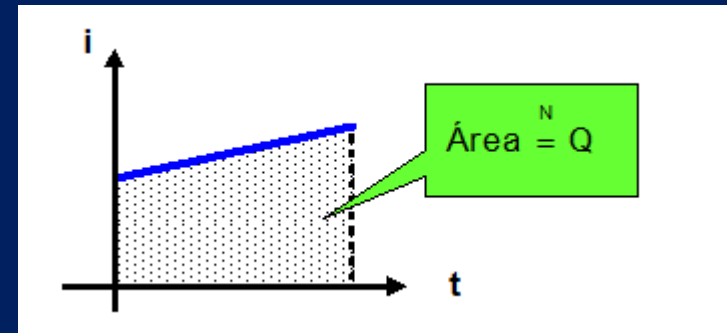
FIQUE ATENTO!

$$i = \frac{|Q|}{\Delta t}$$

→ Ampère – hora (Ah)
→ Horas (h)
→ Ampère (A)

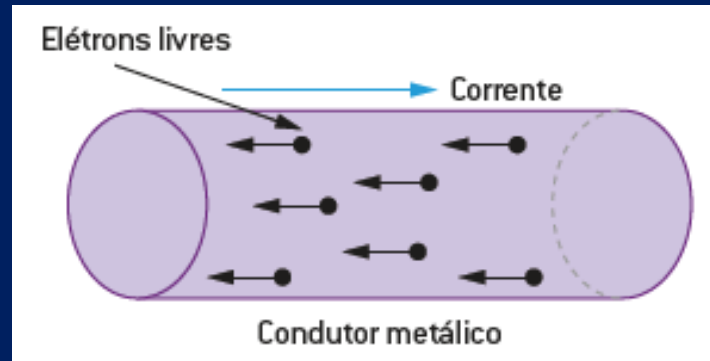
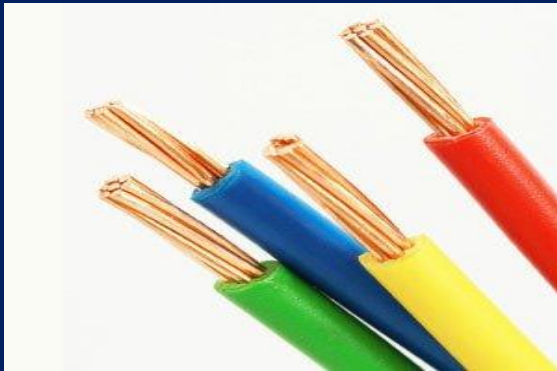
$$i = \frac{|Q|}{\Delta t}$$

$$|Q| = i \cdot \Delta t$$

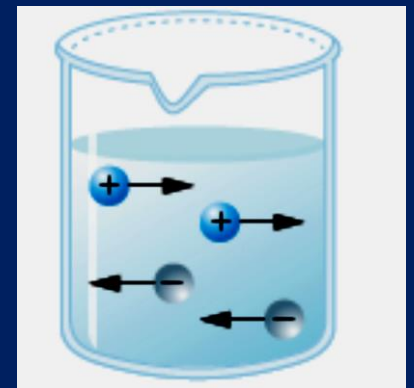
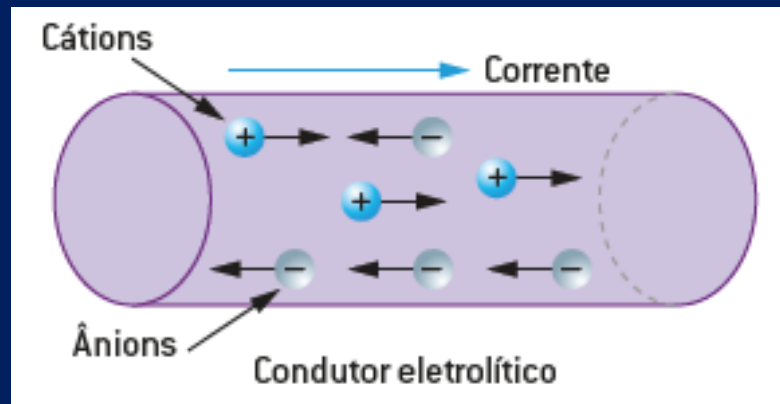
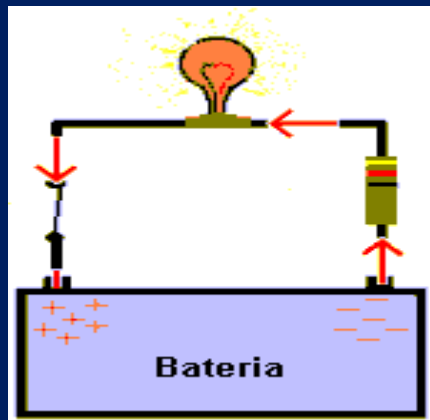


NATUREZA DA CORRENTE ELÉTRICA

1. Corrente eletrônica – É gerada pelo fluxo ordenado de elétrons. Ex. Condutores metálicos.



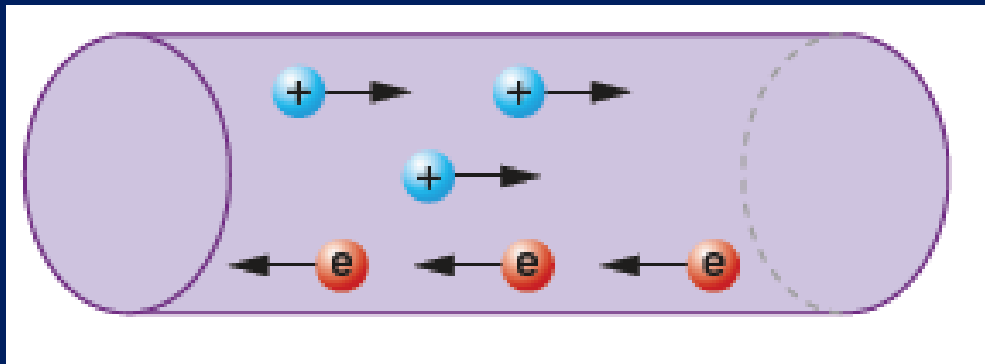
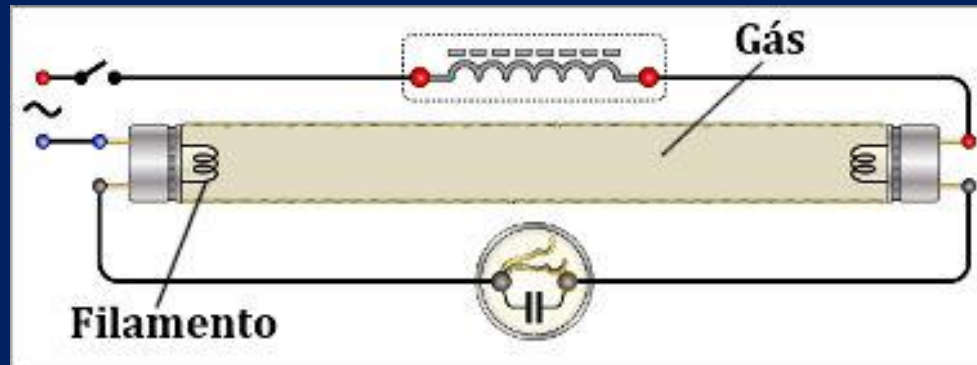
2. Corrente iônica – É gerada pelo fluxo de cátions e ânions em sentidos opostos. Ex. Baterias.



NATUREZA DA CORRENTE ELÉTRICA

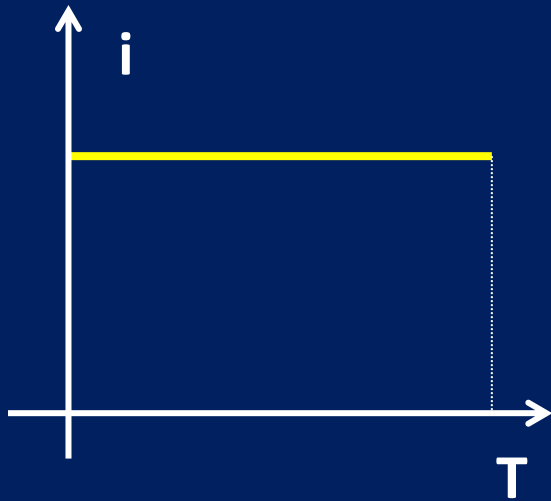
GASES – São portadores de íons e elétrons.

Ex. Ar atmosférico e nas Lâmpadas fluorescentes



Tipos de corrente

Contínua – É constante no sentido e na intensidade.

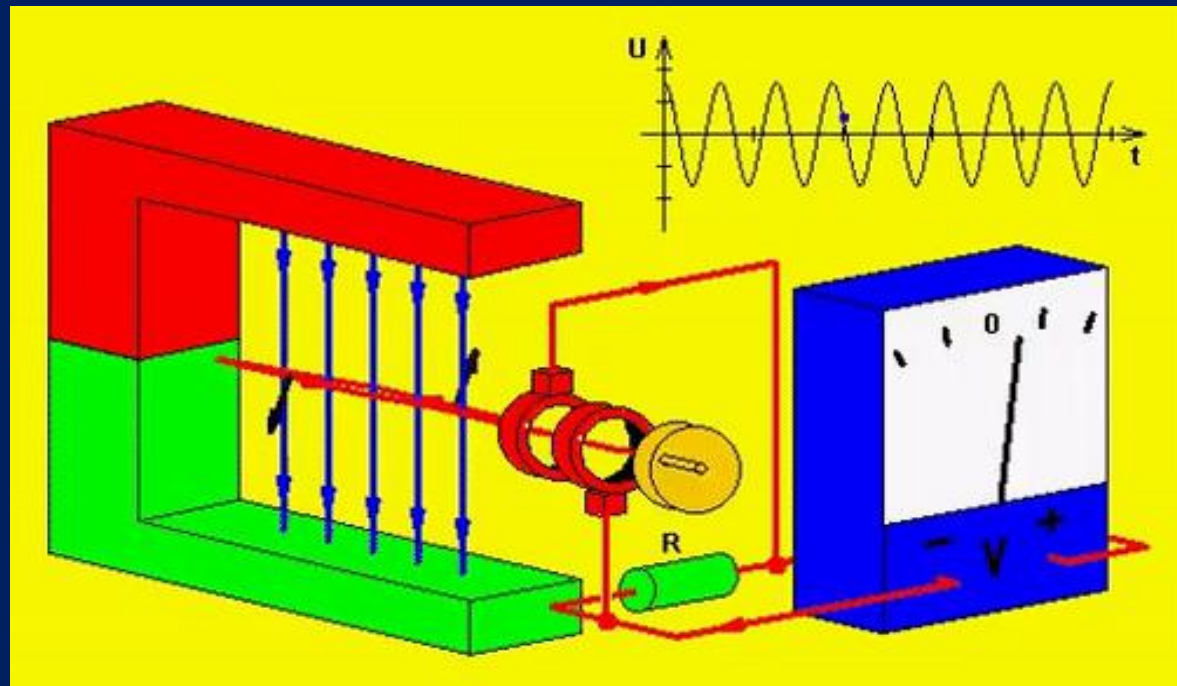
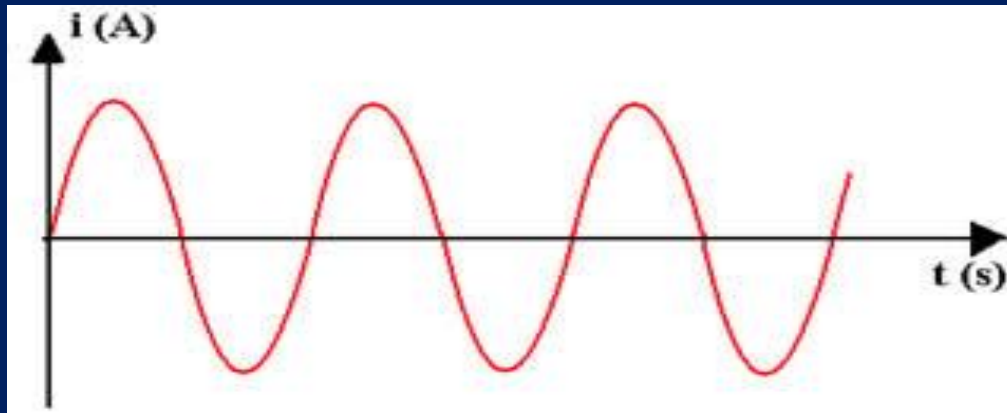


É comum a pilhas e baterias



Tipos de corrente

Alternada – Varia em intensidade e sentido



QUESTÃO ENEM

A figura mostra a bateria de um computador portátil, a qual necessita de uma corrente elétrica de 2 A para funcionar corretamente.

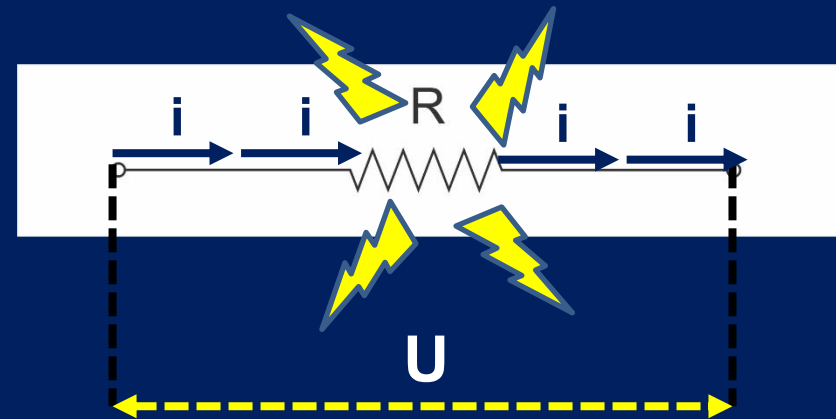


Quando a bateria está completamente carregada, o tempo máximo, em minuto, que esse notebook pode ser usado antes que ela "descarregue" completamente é

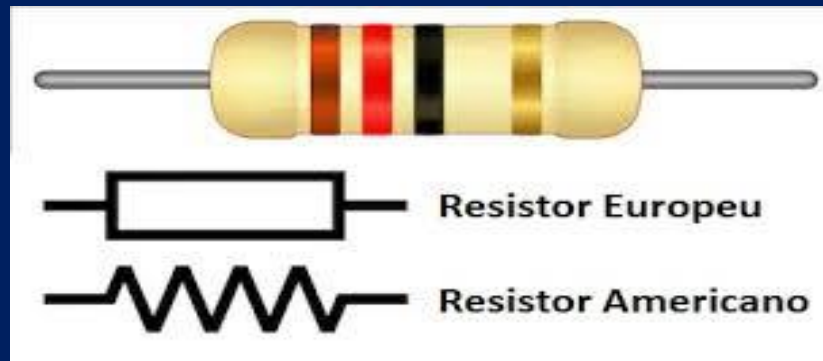
- A) 24,4.
- B) 36,7.
- ☒ C) 132.
- D) 333.
- E) 528.

Resistores

Resistor é todo dispositivo elétrico que transforma exclusivamente energia elétrica em energia térmica.

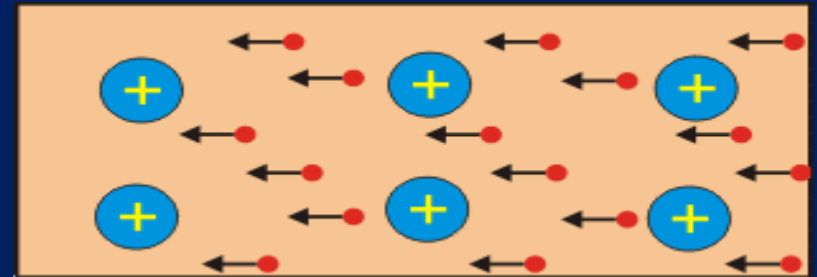
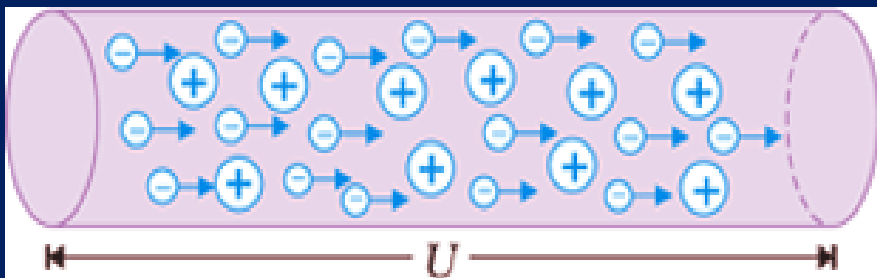


Simbolicamente é representado por:

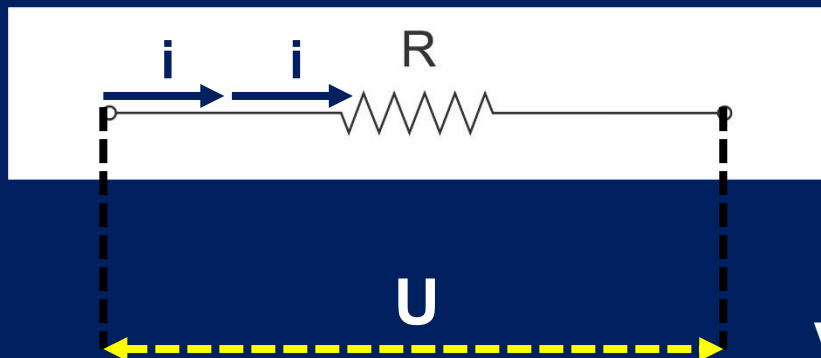


Resistência Elétrica

A resistência elétrica (R) é a característica física do resistor que determina a medida da oposição ao movimento das carga em fluxo.



Primeira Lei de OHM : A ddp é diretamente proporcional à intensidade de corrente elétrica, ou seja, $U \propto i$.



Constante

$$U = R \cdot i$$

Volts (V) OHM (Ω) Ampères (A)

$$R = \frac{U}{i}$$
$$i = \frac{U}{R}$$

Análise da resistência

$$U = R \cdot i$$

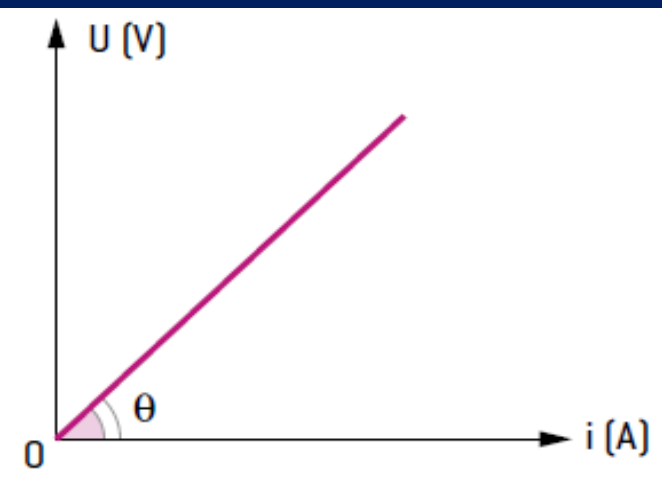
Volts (V)

OHM (Ω)

Ampères (A)

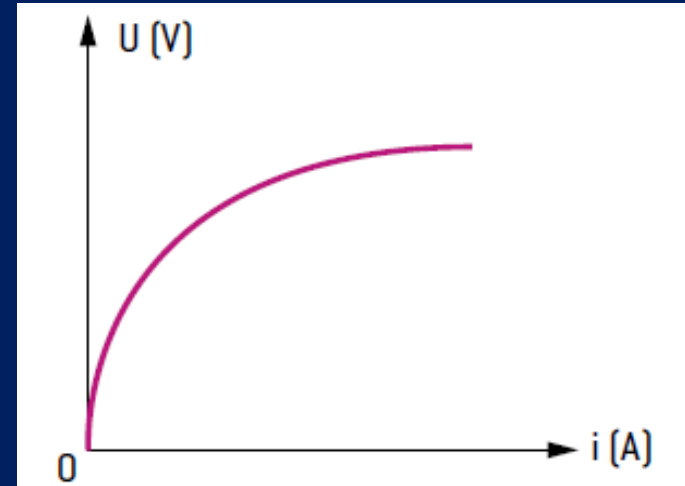
RESISTOR ÔHMICO

Resistência constante



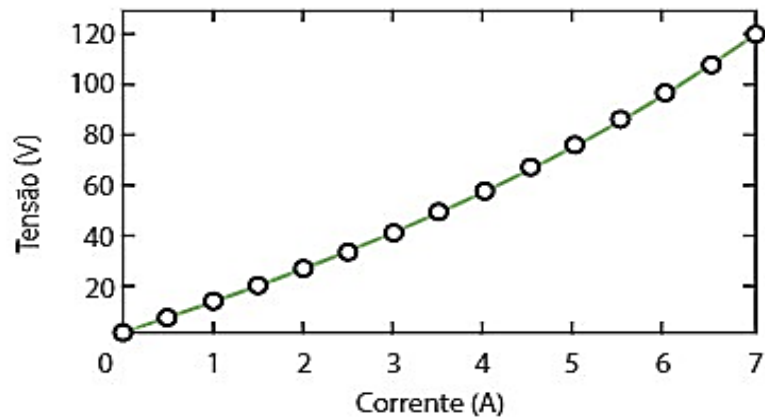
RESISTOR NÃO ÔHMICO

Resistência Variável

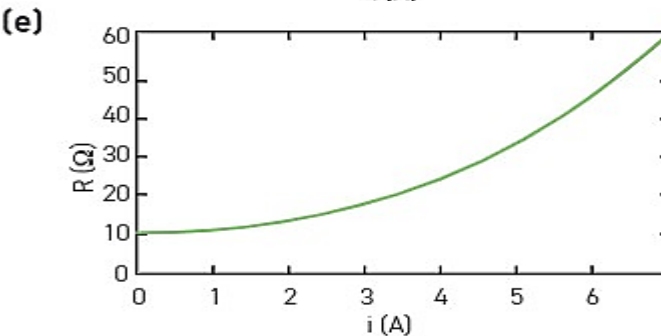
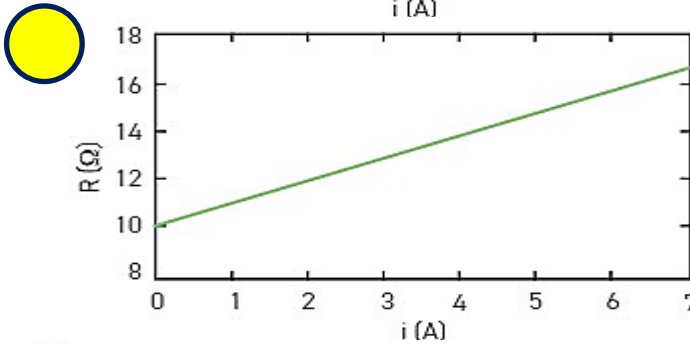
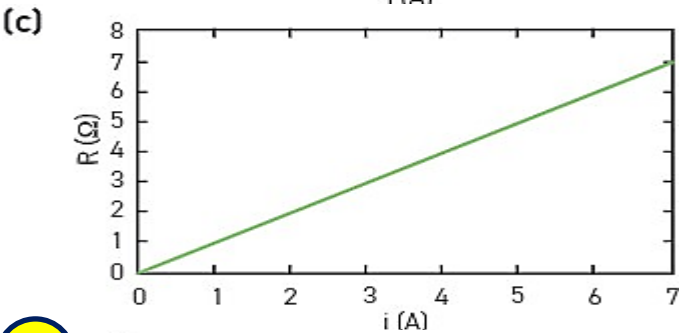
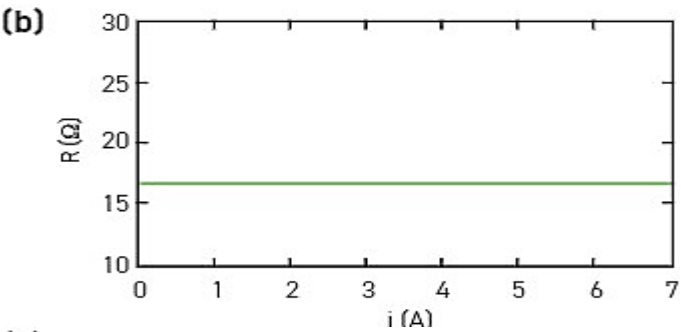
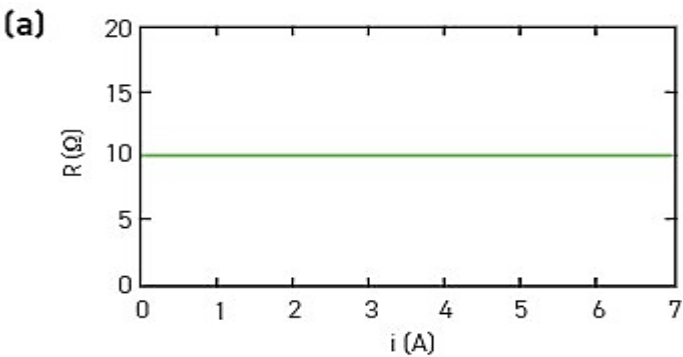


E6. (Enem) ☆

Ao pesquisar um resistor feito de um novo tipo de material, um cientista observou o comportamento mostrado no gráfico tensão *versus* corrente.

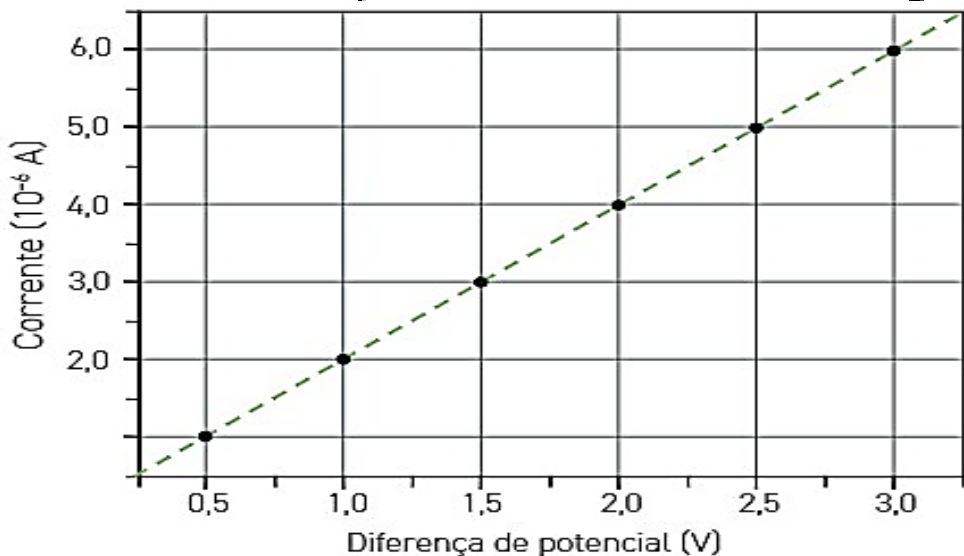


Após a análise do gráfico, ele concluiu que a tensão em função da corrente é dada pela equação $V = 10i + i^2$.
O gráfico da resistência elétrica (R) do resistor em função da corrente (i) é



E7. (Enem) ☆

Dispositivos eletrônicos que utilizam materiais de baixo custo, como polímeros semicondutores, têm sido desenvolvidos para monitorar a concentração de amônia (gás tóxico e incolor) em granjas avícolas. A polianilina é um polímero semicondutor que tem o valor de sua resistência elétrica nominal quadruplicado quando exposta a altas concentrações de amônia. Na ausência de amônia, a polianilina se comporta como um resistor ôhmico e a sua resposta elétrica é mostrada no gráfico.

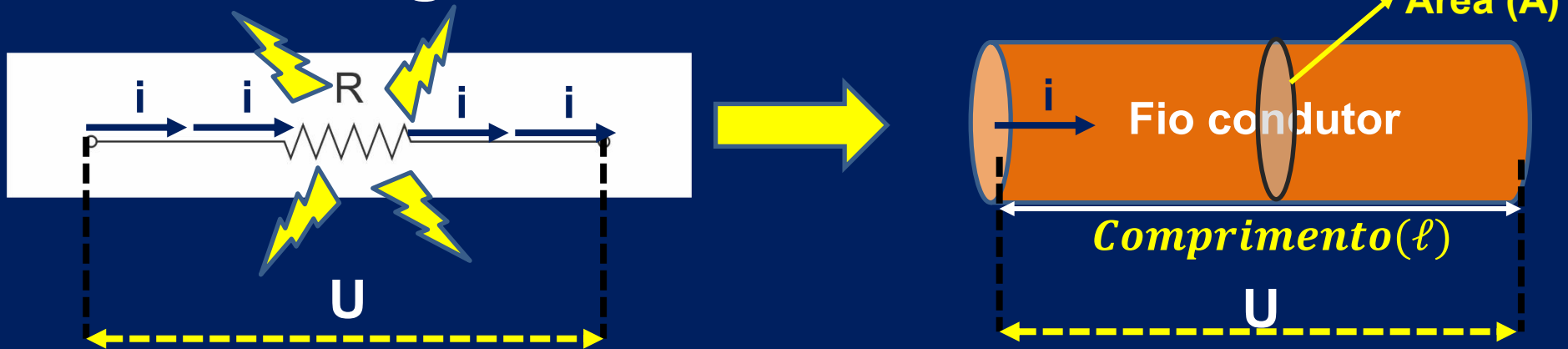


O valor da resistência elétrica da polianilina na presença de altas concentrações de amônia, em ohm, é igual a

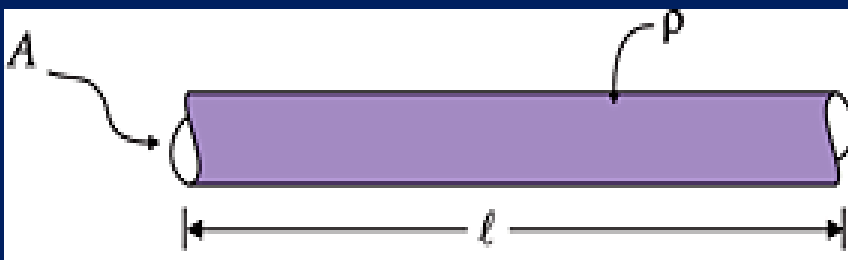
- (a) $0,5 \cdot 10^0$
- (b) $0,2 \cdot 10^0$
- (c) $2,5 \cdot 10^5$
- (d) $5,0 \cdot 10^5$



Segunda Lei de Ohm



A resistência de um fio condutor depende do seu comprimento (ℓ), da sua área de secção transversal (A) e das suas características físico-químicas do material exercer sua resistência, ou seja, da resistividade (ρ) do material.



$$R \propto \frac{\ell}{A}$$

$$R = \rho \cdot \frac{\ell}{A}$$

Units: Ω , $\Omega \cdot m$, m^2 , m

Baixa resistividade = Bom condutor

Alta resistividade = Mau condutor

$\rho \rightarrow 0$ Supercondutor.

QUESTÃO ENEM

A resistência elétrica de um fio é determinada pelas suas dimensões e pelas propriedades estruturais do material. A condutividade (σ) caracteriza a estrutura do material, de tal forma que a resistência de um fio pode ser determinada conhecendo-se L , o comprimento do fio e A , a área de seção reta. A tabela relaciona o material à sua respectiva resistividade em temperatura ambiente.

Tabela de condutividade

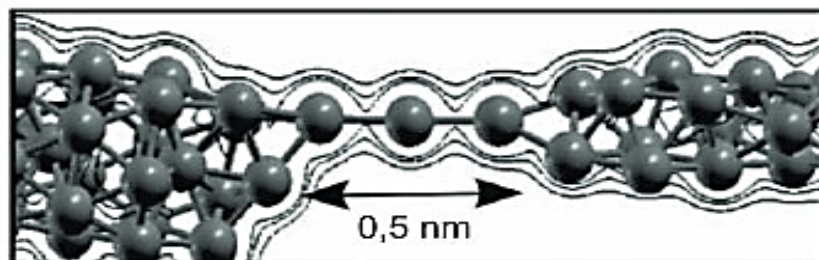
Material	Condutividade ($S \cdot m/mm^2$)
Alumínio	34,2
Cobre	61,7
Ferro	10,2
Prata	62,5
Tungstênio	18,8

Mantendo-se as mesmas dimensões geométricas, o fio que apresenta menor resistência elétrica é aquele feito de:

- A) tungstênio.
- B) alumínio.
- C) ferro.
- D) cobre.
- ☒ E) prata.

E2. (Enem) ☆

Recentemente foram obtidos os fios de cobre mais finos possíveis, contendo apenas um átomo de espessura, que podem, futuramente, ser utilizados em microprocessadores. O chamado nanofio, representado na figura, pode ser aproximado por um pequeno cilindro de comprimento $0,5 \text{ nm}$ ($1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$). A seção reta de um átomo de cobre é $0,05 \text{ nm}^2$ e a resistividade do cobre é $17 \Omega \cdot \text{nm}$. Um engenheiro precisa estimar se seria possível introduzir esses nanofios nos microprocessadores atuais.



AMORIM, E. P. M.; SILVA, E. Z. Ab initio study of linear atomic chains in copper nanowires. Physical review b, 81, 2010 (Adaptado).

Um nanofio utilizando as aproximações propostas possui resistência elétrica de

- (a) $170 \text{ n}\Omega$
- (b) $0,17 \text{ n}\Omega$
- (c) $1,7 \text{ n}\Omega$
- (d) $17 \text{ n}\Omega$

☒ 170Ω

UNCISAL

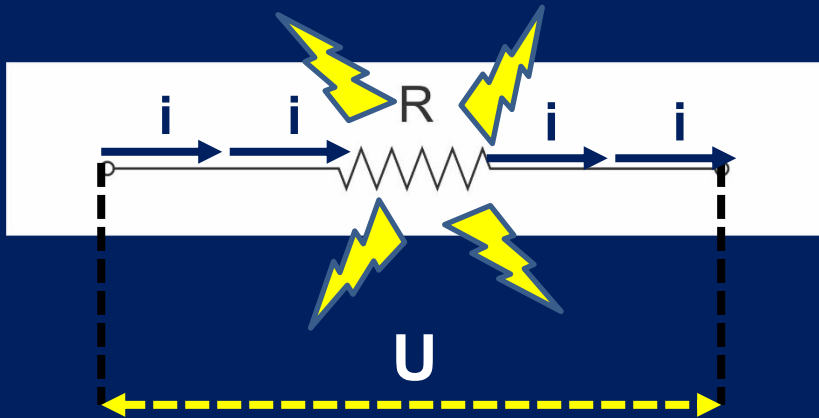
Sabendo que uma corrente elétrica maior que 200 mA pode ser fatal a um ser humano se mantida por um intervalo de tempo da ordem de alguns ciclos cardíacos, calcule o valor da corrente elétrica estabelecida se uma diferença de potencial elétrico de 270 V for aplicada entre as duas mãos de um adulto por um intervalo de tempo de 120 s e determine se esta corrente é suficiente para matá-lo.

Considere que a menor distância percorrida pela corrente elétrica entre as duas mãos é 1,5 m, a resistividade elétrica média do corpo humano é $1,8 \, \Omega \cdot \text{m}$, o trajeto da corrente apresenta secção circular de área $30 \, \text{cm}^2$ e a frequência cardíaca é igual a 80 ciclos cardíacos por minuto.

- a. 133,3 A; não é suficiente.
- b. 3 000 A; é suficiente.
- c. 300 mA; não é suficiente.
- d. 600 mA; é suficiente.
- ☒ 300 mA; é suficiente.

Potência elétrica dissipada

É a propriedade física que determina o aumento do fluxo de cargas no condutor, intensificando o efeito Joule.



IMPORTANTE!!!

A potência elétrica dissipada implica diretamente no consumo.

A potência determina o brilho de uma lâmpada.

$$i = \frac{U}{R}$$

$$P = U \cdot i$$

$$P = U \cdot \frac{U}{R}$$

$$P = \frac{U^2}{R}$$

$$U = R \cdot i$$

$$P = R \cdot i \cdot i$$

$$P = R \cdot i^2$$

Análise da potência elétrica dissipada

$$P = U \cdot i$$

Watt (W)

Volts (V)

Ampères (A)

$$P = \frac{U^2}{R}$$

Geralmente é aplicada para sistemas com ddp(U) constante.

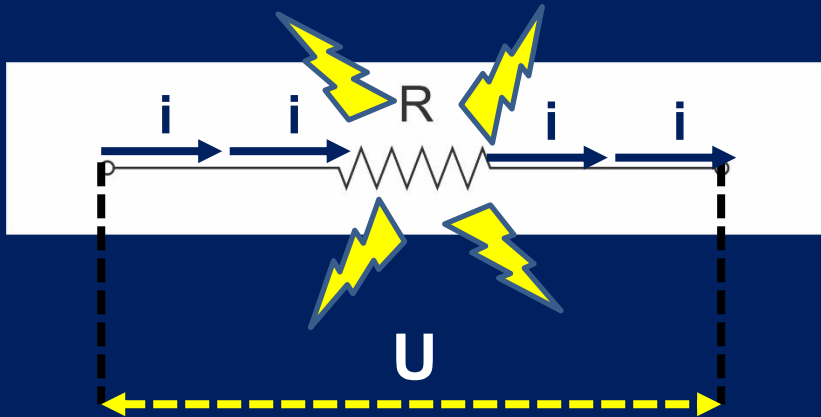
Ohm(Ω)

$$P = R \cdot i^2$$

Geralmente é aplicada para sistemas com corrente(i) constante.

Energia dissipada por efeito Joule

É determinada quando se mede o tempo de dissipação da energia em função da potência.



$$1 \text{ Joule} = 1 \text{ W} \cdot \text{s}$$

$$1 \text{ KW} \cdot \text{h} = 1000 \text{ W} \cdot 3600 \text{ s}$$

$$1 \text{ KW} \cdot \text{h} = 10^3 \text{ W} \cdot 3,6 \cdot 10^3 \text{ s}$$

$$1 \text{ KW} \cdot \text{h} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ W} \cdot \text{s}$$

$$E = P \cdot \Delta t$$

↓ ↓ ↓
J W s

$$E = U \cdot i \cdot \Delta t$$

$$E = R \cdot i^2 \cdot \Delta t$$

$$E = \frac{U^2}{R} \cdot \Delta t$$

$$E = P \cdot \Delta t$$

↓ ↓ ↓
Kw.h Kw h

$$1 \text{ KW} \cdot \text{h} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ J}$$

QUESTÃO ENEM

Uma estudante que ingressou na universidade e, pela primeira vez, está morando longe de sua família, recebe sua primeira conta de luz:

Medidor			Consumo	Leitura		Cód	Emissão	Id.Bancária		
Número 7131312	Consumidor 951672	Leitura 7295	kWh 260	Dia 31	Mês 03	21	01/04/2009	Banco 222	Agência 999-7	Município S. José das Moças
Consumo dos últimos 12 meses em kWh									Descrição	
253 Mar/08		278 Jun/08	272 Set/08		265 Dez/08		Fornecimento ICMS			
247 Abr/08		280 Jul/08	270 Out/08		266 Jan/09					
255 Mai/08		275 Ago/08	260 Nov/08		268 Fev/09					
Base de Cálculo ICMS		Alíquota	Valor					Total		
R\$ 130,00		25%	R\$ 32,50					R\$ 162,50		

Se essa estudante comprar um secador de cabelos que consome 1000 W de potência e considerando que ela e sua 3 amigas utilizem esse aparelho por 15 minutos cada uma durante 20 dias no mês, qual será o acréscimo em reais na sua conta mensal?

- A) 10,00
- ☒ B) 12,50
- C) 13,00
- D) 13,50
- E) 14,00

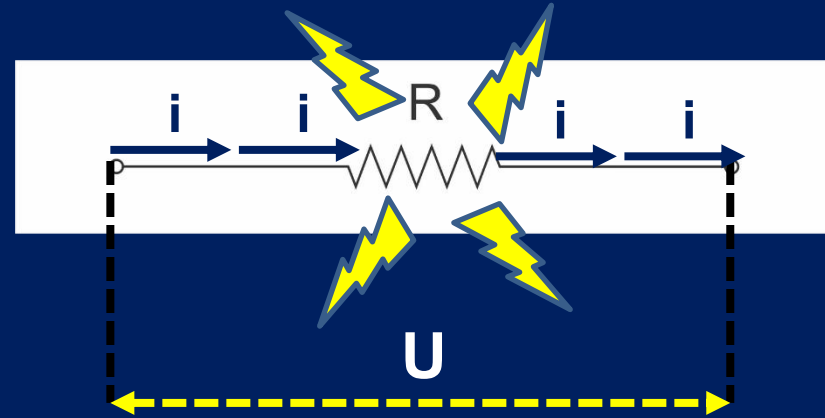
Efeito Joule é um fenômeno de transformação da energia elétrica em calor, isso ocorre devido ao encontro dos elétrons da corrente com as partículas do condutor.

Considerando-se que um chuveiro de resistência 55Ω é submetido a uma d.d.p. de 220V converte energia elétrica em térmica em 15min de uso, determinar em quanto tempo uma lâmpada de 100W gastaria para consumir a mesma quantidade de energia nesse tipo de conversão.

- a) 1 hora
- b) 1 hora e 23 min.
- c) 2 horas
- d) 2 horas e 10 min.
- ☒ e) 2 horas e 12 min.



Efeito Joule e suas implicações



$$E_{\text{Elétrica}} = E_{\text{Térmica}}$$

$$E = P \cdot \Delta t$$

J W s

Quantidade de calor (Q)

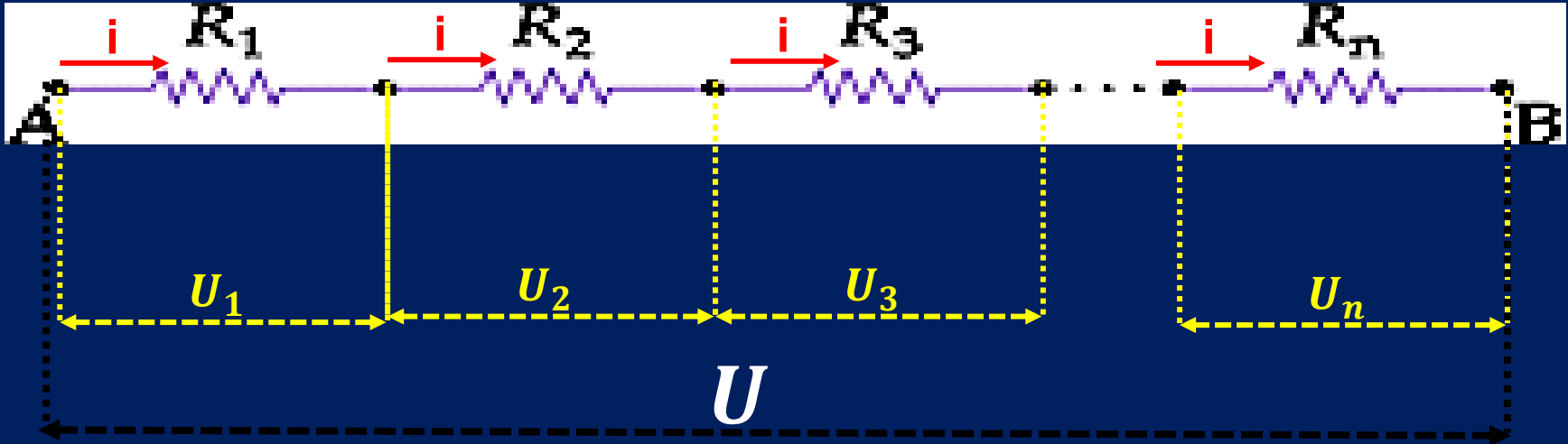
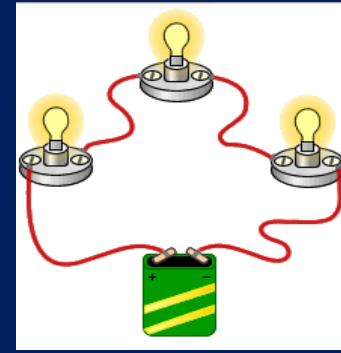
Sensível

Latente

$$E = Q$$

Associação de resistores

Associação em Série



$$i_1 = i_2 = i_3 = i_n \dots$$

A corrente (i) é a mesma, é constante

$$U = U_1 + U_2 + U_3 \dots$$

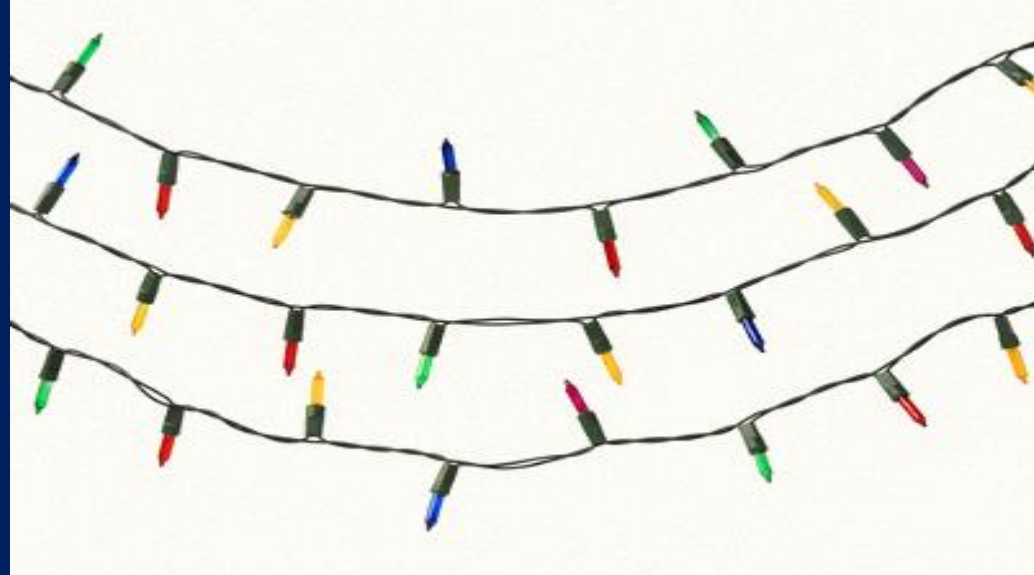
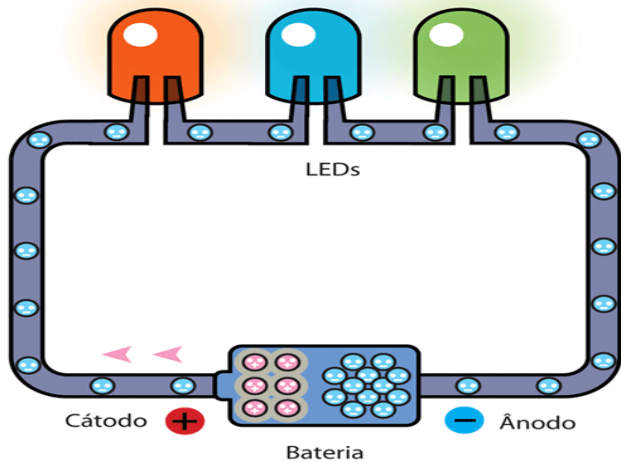
A ddp (U) é a soma das *ddps* parciais

$$U = U_1 + U_2 + U_3$$

$$R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3$$

$$R_{eq} \cdot \cancel{i} = R_1 \cdot \cancel{i} + R_2 \cdot \cancel{i} + R_3 \cdot \cancel{i}$$

Associação em Série



$$P = R \cdot i^2$$

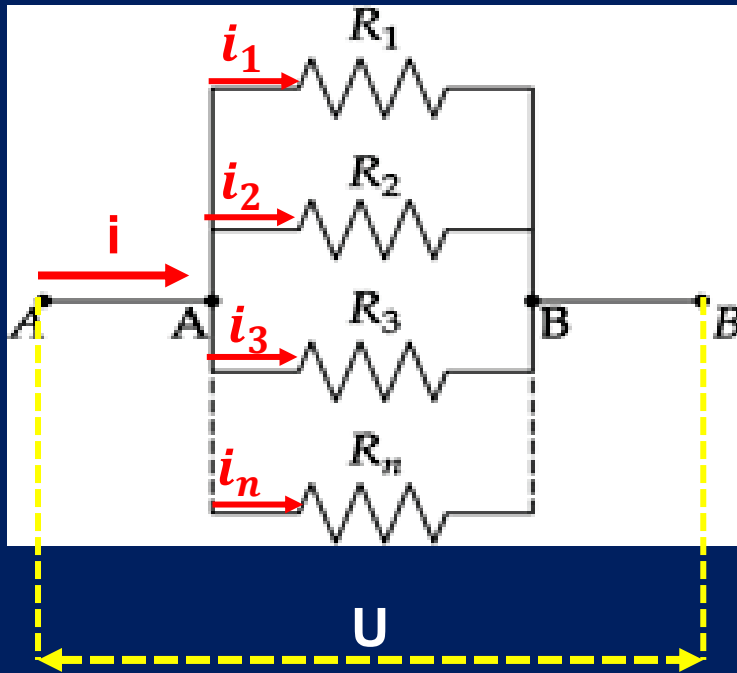


Geralmente é aplicada para sistemas com corrente(i) constante.



Em série, a maior potência é determinada pela maior resistência.

Associação em Paralelo



$$i = i_1 + i_2 + i_3$$

$$\frac{\cancel{U}}{R_{eq}} = \frac{\cancel{U}}{R_1} + \frac{\cancel{U}}{R_2} + \frac{\cancel{U}}{R_3}$$

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

$$U = U_1 = U_2 = U_3 \dots$$



A ddp (U) é a mesma, é constante

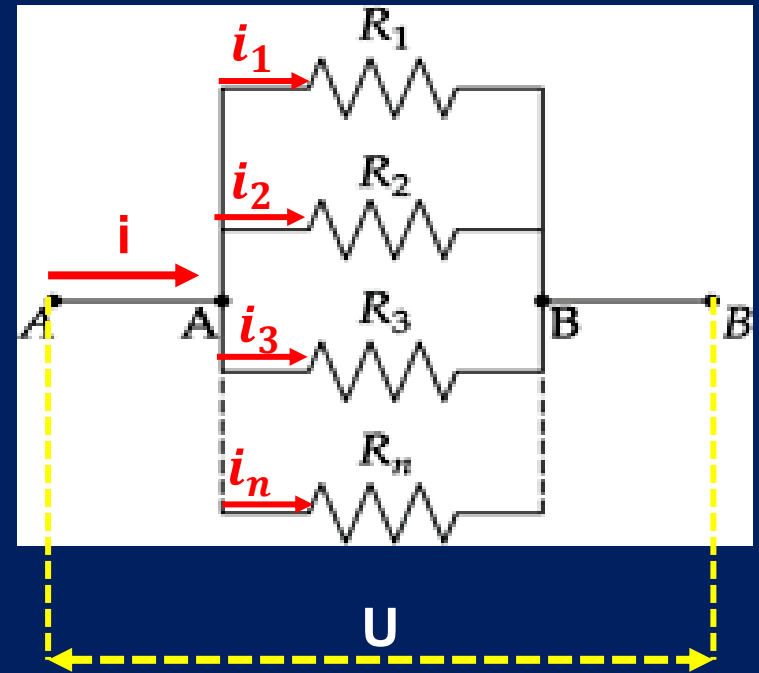
$$i = i_1 + i_2 + i_3 + i_n \dots$$



A corrente (i) é a soma das *correntes* parciais

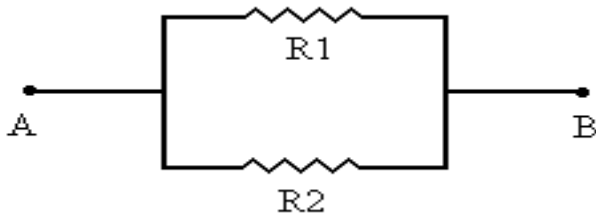
Associação em Paralelo

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$



Particularidades

1. Para dois resistores:

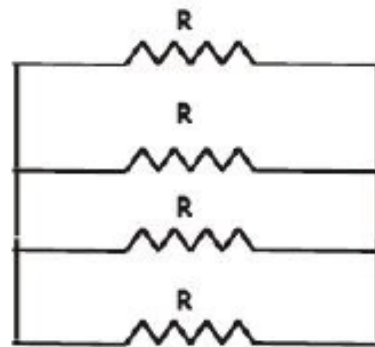


$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$



$$R_{eq} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

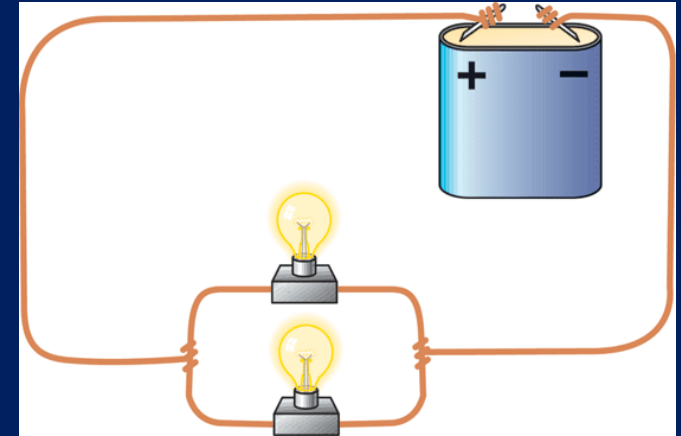
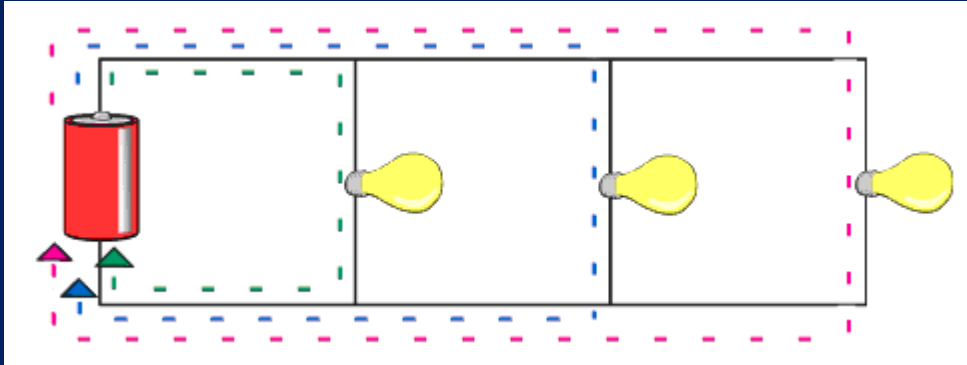
2. Para resistores iguais:



$$R_{eq} = \frac{R}{n}$$

$n \rightarrow$ número de resistores iguais

Associação em Paralelo



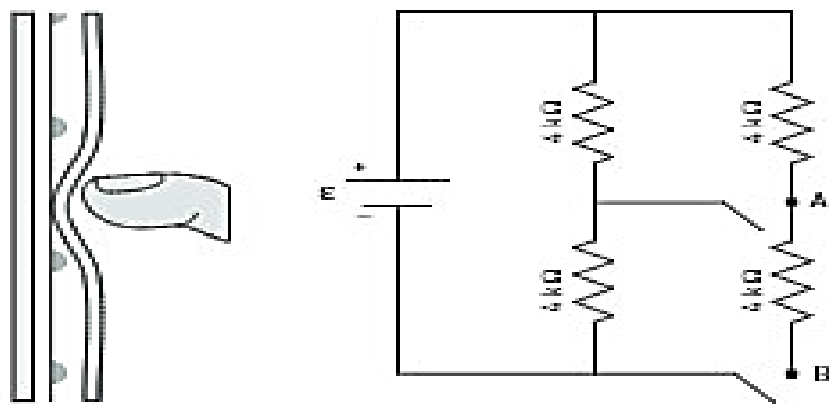
$$P = \frac{U^2}{R}$$

Geralmente é aplicada para sistemas com ddp(U) constante.

Em paralelo, a maior potência é determinada pela menor resistência.

F1. (Enem)

Muitos *smartphones* e *tablets* não precisam mais de teclas, uma vez que todos os comandos podem ser dados ao se pressionar a própria tela. Inicialmente essa tecnologia foi proporcionada por meio das telas resistivas, formadas basicamente por duas camadas de material condutor transparente que não se encostam até que alguém as pressione, modificando a resistência total do circuito de acordo com o ponto onde ocorre o toque. A imagem é uma simplificação do circuito formado pelas placas, em que A e B representam pontos onde o circuito pode ser fechado por meio do toque.

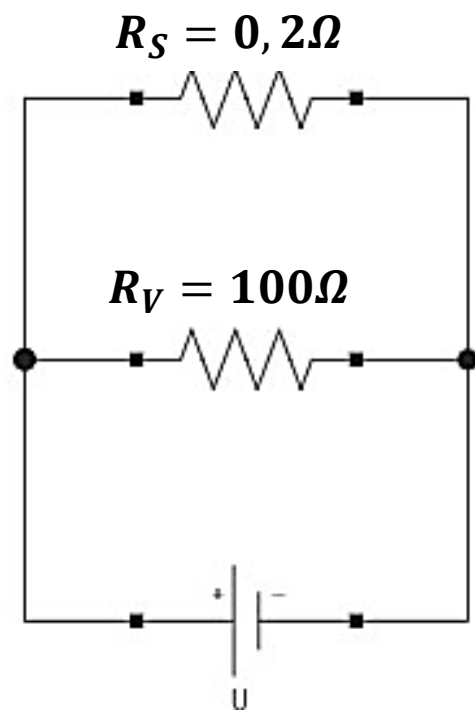


Qual é a resistência equivalente no circuito provocada por um toque que fecha o circuito no ponto A?

- (a) 1,3 $k\Omega$
- (b) 4,0 $k\Omega$
- ☒ (c) 6,0 $k\Omega$
- (d) 6,7 $k\Omega$
- (e) 12,0 $k\Omega$

F2. (Unicamp-SP)

Nos últimos anos, materiais exóticos conhecidos como isolantes topológicos se tornaram objeto de intensa investigação científica em todo o mundo. De forma simplificada, esses materiais se caracterizam por serem isolantes elétricos no seu interior, mas condutores na sua superfície. Desta forma, se um isolante topológico for submetido a uma diferença de potencial U , teremos uma resistência efetiva na superfície diferente da resistência do seu volume, como mostra o circuito equivalente da figura a seguir.



Nessa situação, a razão $F = \frac{i_s}{i_v}$ entre a corrente i_s que atravessa a porção condutora na superfície e a corrente i_v que atravessa a porção isolante no interior do material vale

(a) 0,002

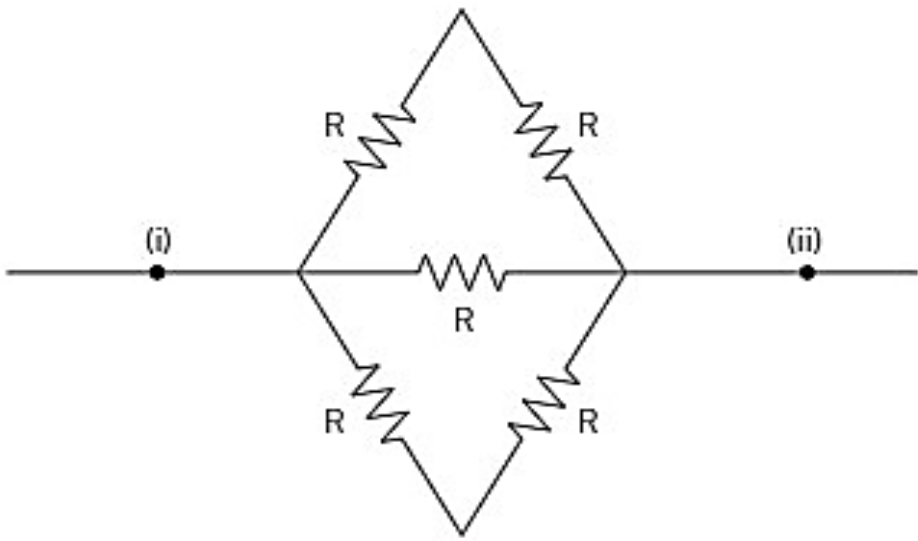
(b) 0,2

(c) 100,2

☒ 500

F5. (UFRGS-RS)

A diferença de potencial entre os pontos (i) e (ii) do circuito a seguir é V .



Considerando que todos os cinco resistores têm resistência elétrica R , a potência total por eles dissipada é

☒ (a) $\frac{2V^2}{R}$

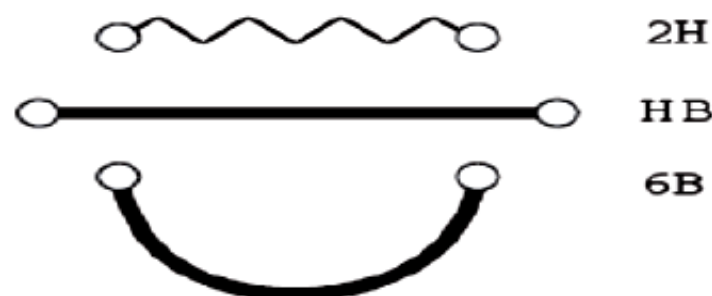
(b) $\frac{V^2}{2R}$

(c) $\frac{V^2}{5R}$

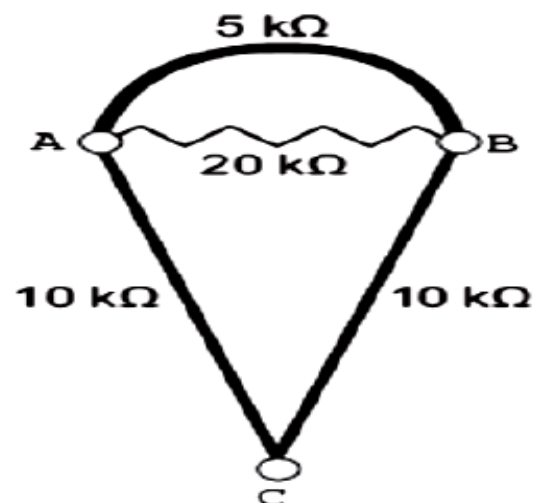
(d) $\frac{4V^2}{R^2}$

(e) $\frac{V^2}{4R^2}$

Por apresentar significativa resistividade elétrica, o grafite pode ser utilizado para simular resistores elétricos em circuitos desenhados no papel, com o uso de lápis e lapiseiras. Dependendo da espessura e do comprimento das linhas desenhadas, é possível determinar a resistência elétrica de cada traçado produzido. No esquema foram utilizados três tipos de lápis diferentes (2H, HB e 6B) para efetuar três traçados distintos.



Munido dessas informações, um estudante pegou uma folha de papel e fez o desenho de um sorvete de casquinha utilizando-se desses traçados. Os valores encontrados nesse experimento, para as resistências elétricas (R), medidas com o auxílio de um ohmímetro ligado nas extremidades das resistências, são mostrados na figura. Verificou-se que os resistores obedeciam à Lei de Ohm.



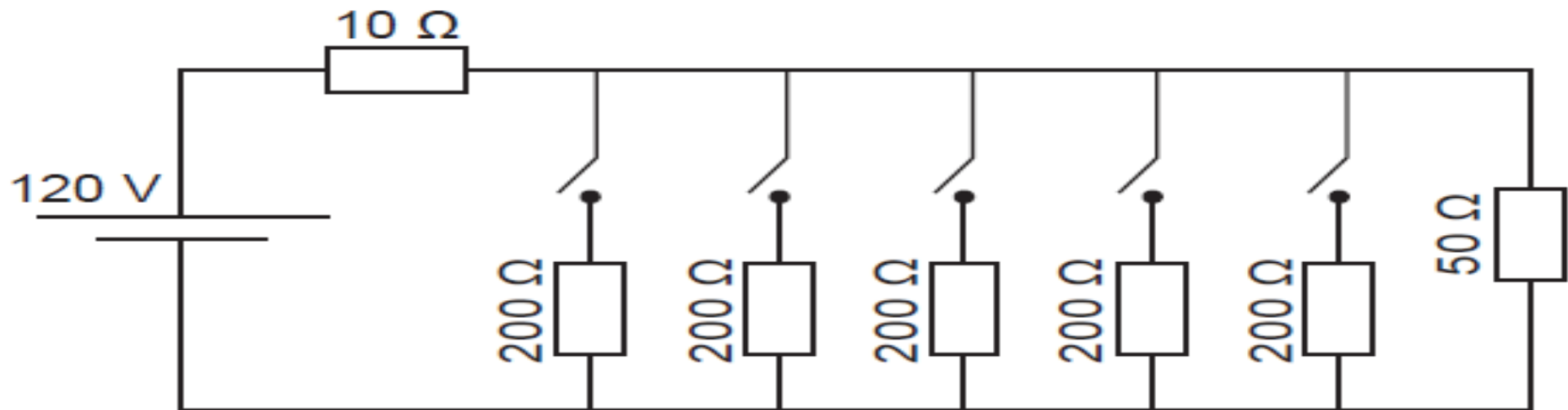
Na sequência, conectou o ohmímetro nos terminais A e B do desenho e, em seguida, conectou-o nos terminais B e C, anotando as leituras R_{AB} e R_{BC} , respectivamente.

Ao estabelecer a razão $\frac{R_{AB}}{R_{BC}}$, qual resultado o estudante obteve?

- ☐ A 1
- ☒ B $\frac{4}{7}$
- ☐ C $\frac{10}{27}$
- ☐ D $\frac{14}{81}$
- ☐ E $\frac{4}{81}$

ENEM 2019

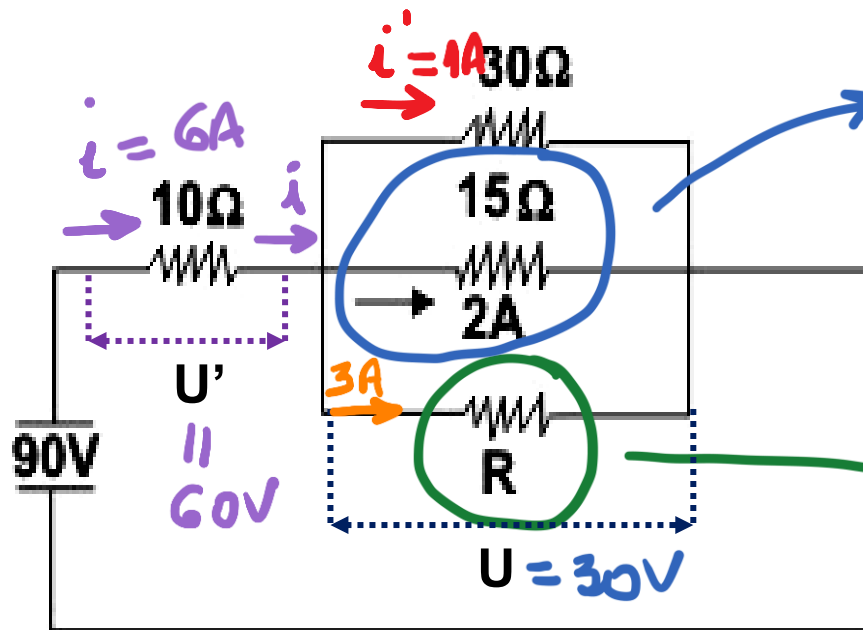
Uma casa tem um cabo elétrico mal dimensionado, de resistência igual a $10\ \Omega$, que a conecta à rede elétrica de 120 V . Nessa casa, cinco lâmpadas, de resistência igual a $200\ \Omega$, estão conectadas ao mesmo circuito que uma televisão de resistência igual a $50\ \Omega$, conforme ilustrado no esquema. A televisão funciona apenas com tensão entre 90 V e 130 V .



O número máximo de lâmpadas que podem ser ligadas sem que a televisão pare de funcionar é:

- ☐ A 1.
- ☒ B 2.
- ☐ C 3.
- ☐ D 4.
- ☐ E 5.

O diagrama abaixo representa uma associação de resistores submetida a uma tensão de 90V. Determine, em watts, a potência dissipada por efeito joule no resistor R.



$$U = R \cdot i$$

$$U = 15 \cdot 2$$

$$U = 30V$$

$$P = U \cdot i$$

$$P = 30 \cdot 3$$

$$P = 90W.$$

$$i' = \frac{U}{R}$$

$$i' = \frac{30}{30} = 1A.$$

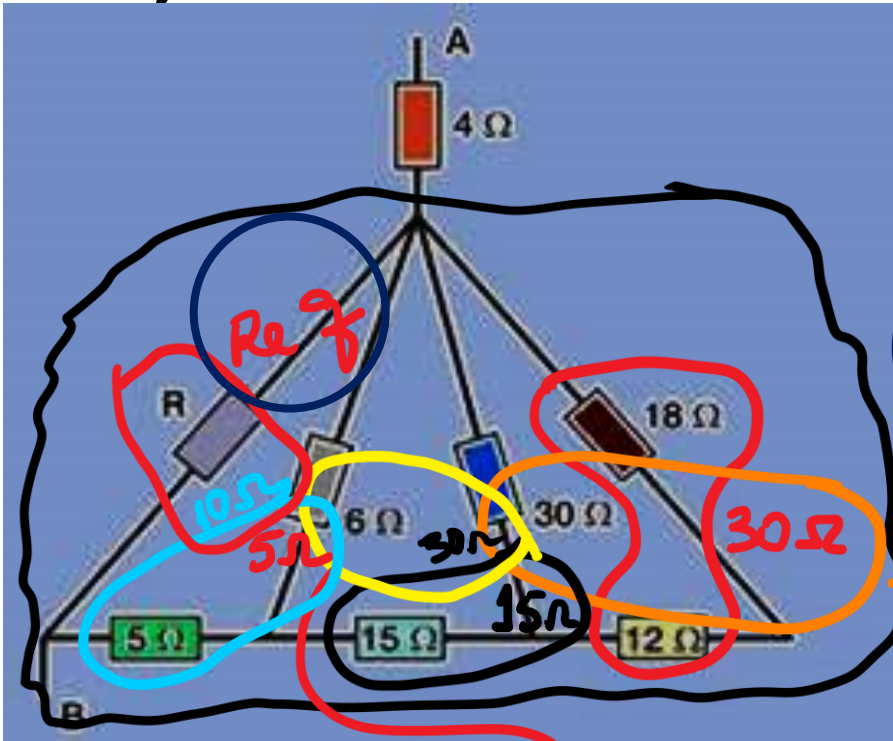
$$i = \frac{U}{R}$$

$$i = \frac{60}{10}$$

$$i = 6A$$

FMABC-SP

O valor de R, para que o resistor equivalente da associação seja $10\ \Omega$, deve ser: **R.S. = $6\ \Omega$**



$$R_f = 6 \Omega$$

$$\frac{10 \cdot R}{10 + R} = 6$$

$$R = \frac{60}{4}$$

$$R = 15 \Omega$$

$$JOR = 60 + 6R$$

$$10R - 6R = 60$$

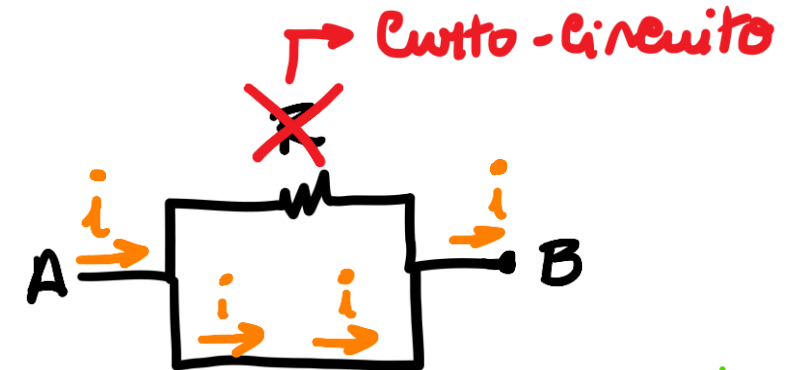
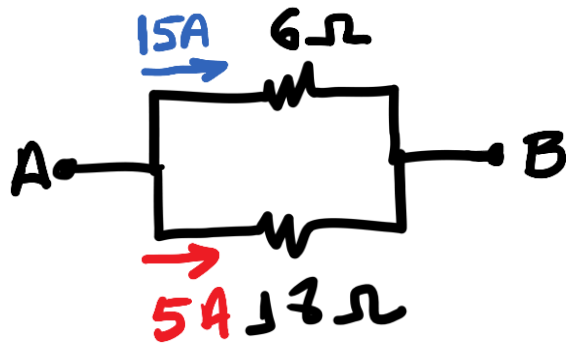
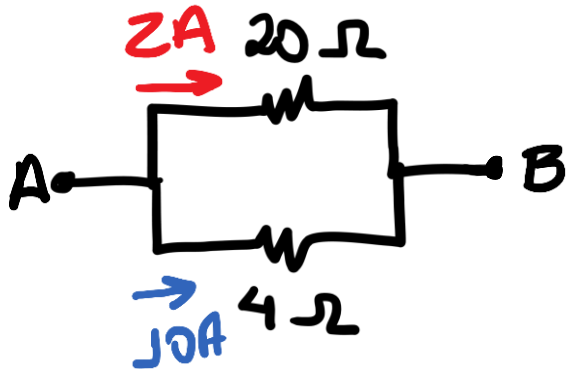
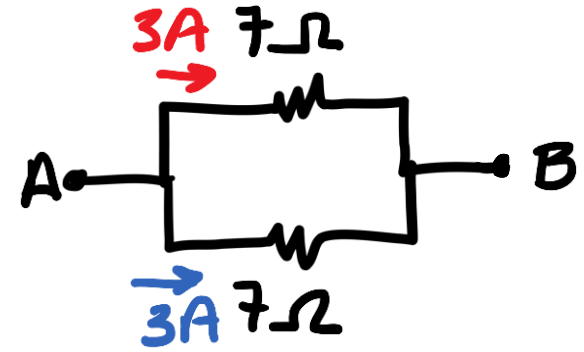
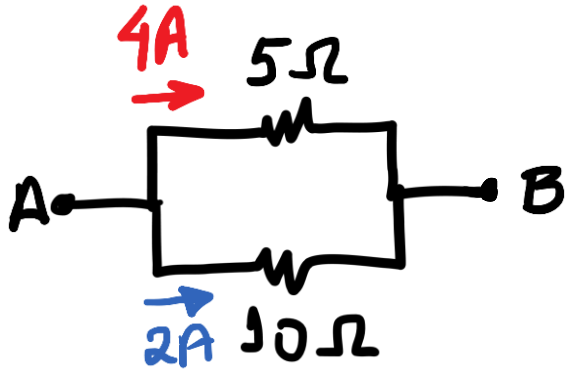
$$4R = 60$$

$$\frac{R}{n} = \frac{30}{2} = 15 \Omega.$$

$$\frac{30 \cdot 6}{30 + 6} = \frac{180}{36} = 5 \Omega$$

- ☒ a. $3\ \Omega$
- ☐ b. $5\ \Omega$
- ☐ c. $7\ \Omega$
- ☐ d. $11\ \Omega$
- ☐ e. $15\ \Omega$

Importante!



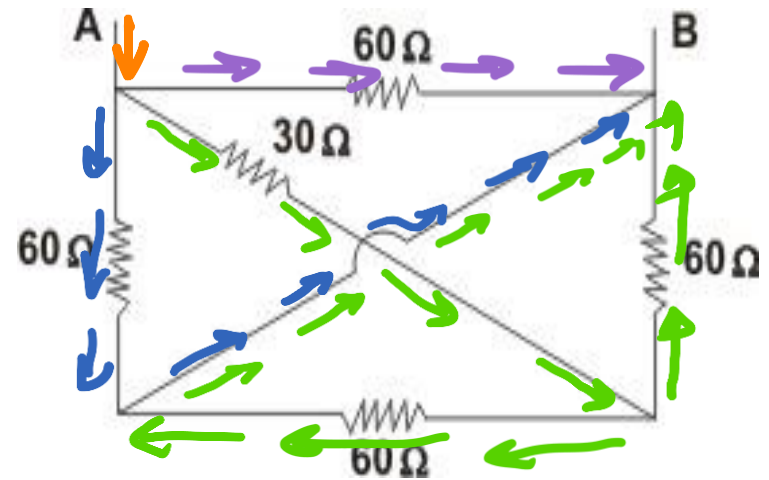
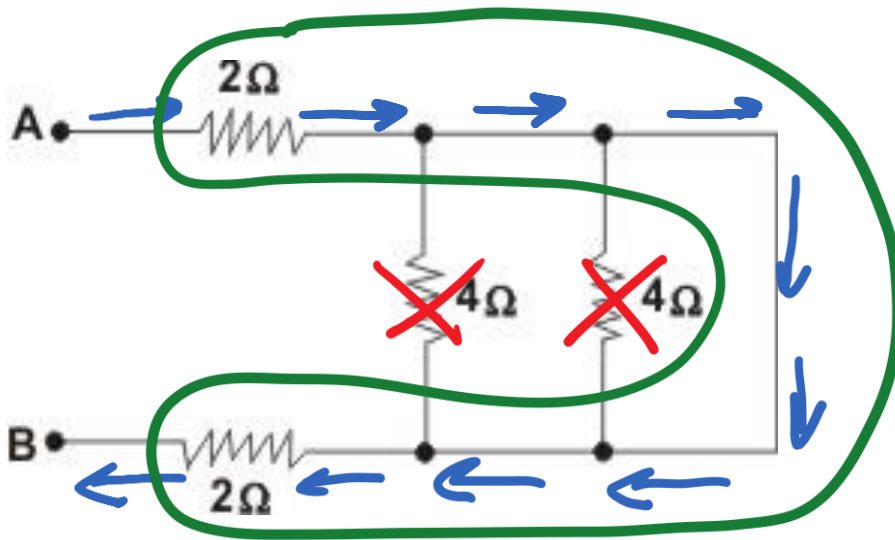
Equation: $R = \frac{U}{i}$

constante

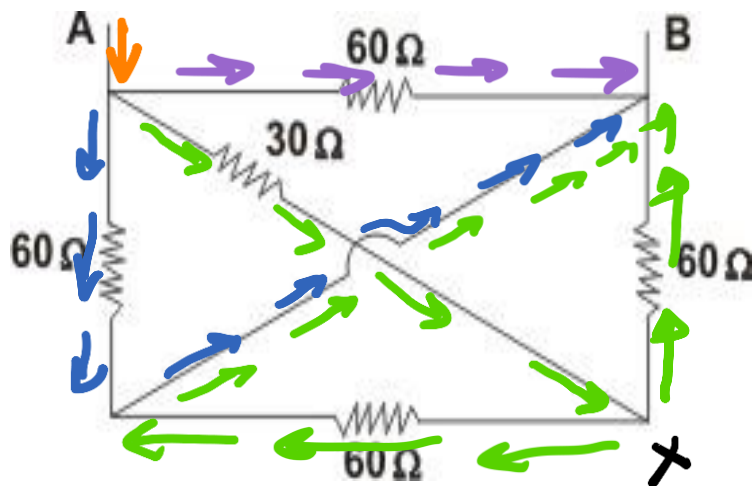
O curto circuito ocorre quando não há passagem de corrente em uma resistência ou em um ramo de circuito.

CURTO CIRCUITO

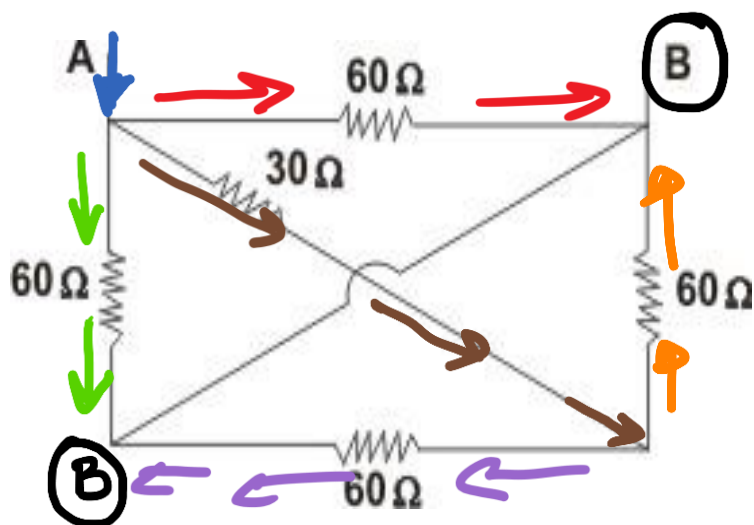
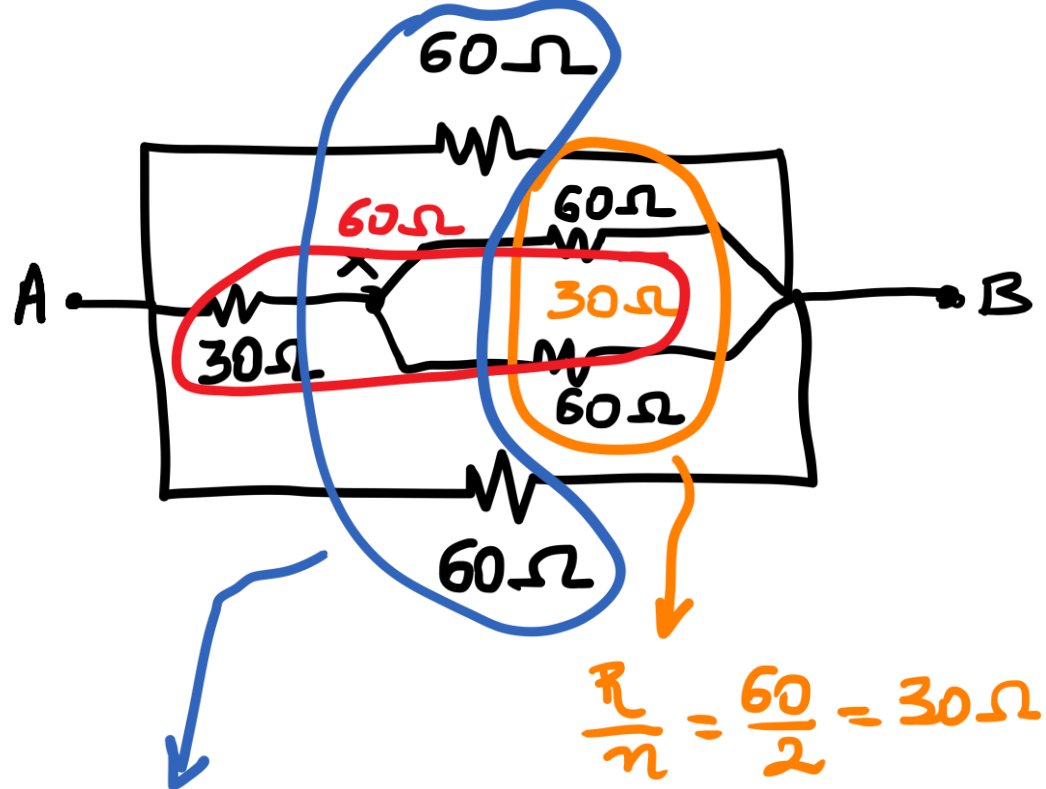
Determine a resistência equivalente das associações seguintes, entre os pontos A e B.



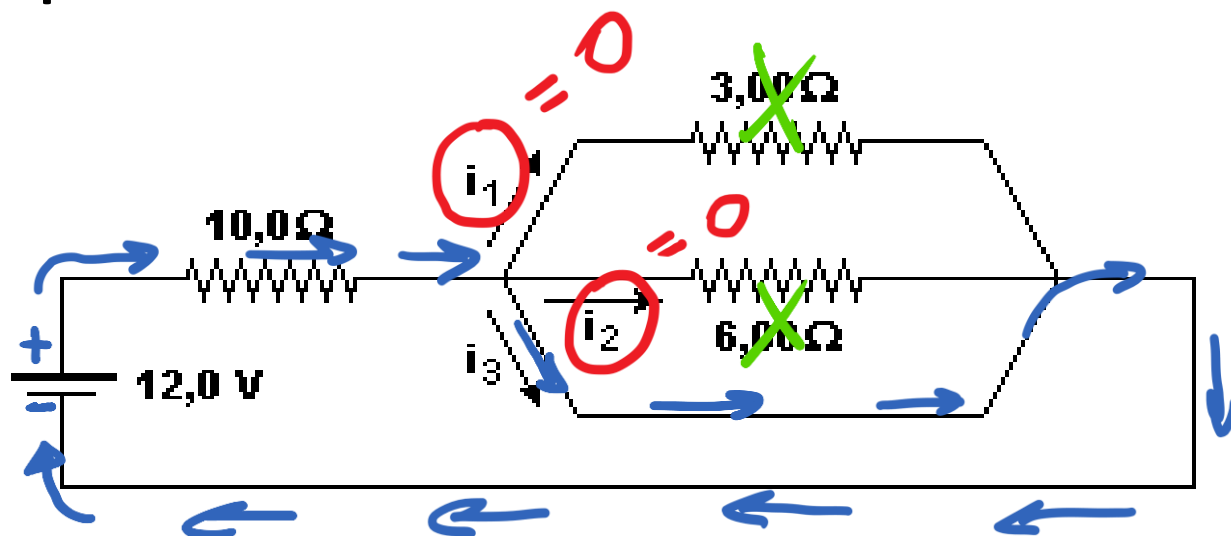
$$R_{eq} = 2 + 2 = 4\Omega.$$



Fique atento!



O valor das correntes i_1 , i_2 e i_3 no circuito a seguir são, respectivamente:



a) 0,33 A, 0,17 A e zero

☒ zero, zero e 1,20 A

c) 3,33 A, 1,67 A e zero

d) zero, zero e 1,00 A

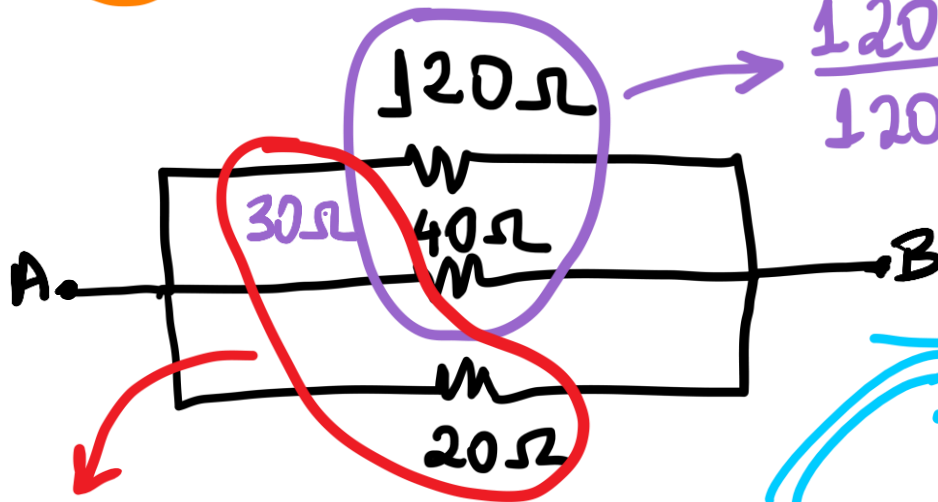
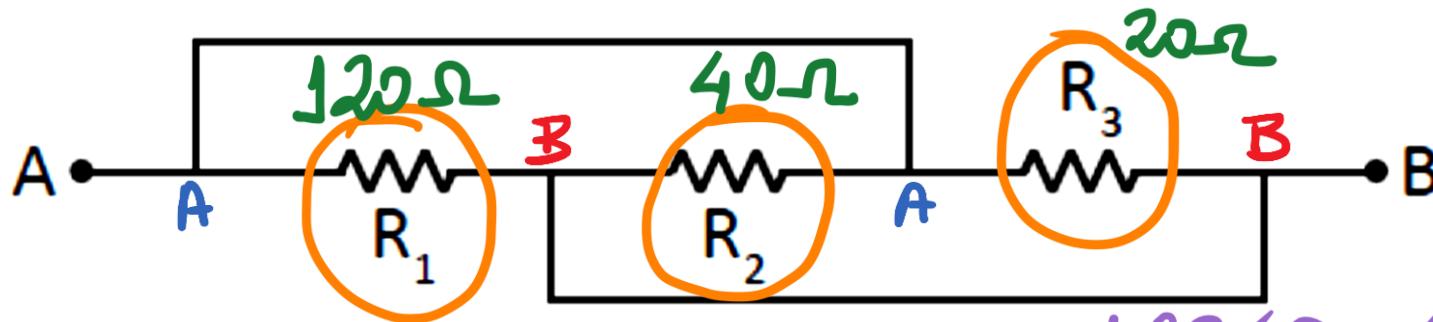
e) 33,3 A, 16,7 A e zero

$$i_3 = \frac{U}{R}$$

$$i_3 = \frac{12}{10}$$

$$i_3 = 1,2 \text{ A.}$$

No circuito representado abaixo, determine a potência dissipada pelo conjunto submetido a uma diferença de potencial $U = 120V$. Considere $R_1 = 120\Omega$; $R_2 = 40\Omega$; $R_3 = 20\Omega$.



- a) Zero
- b) 120W
- c) 200W
- d) 600W

☒ 1200W

$$\frac{30 \cdot 20}{30 + 20} = \frac{600}{50} = 12\Omega$$

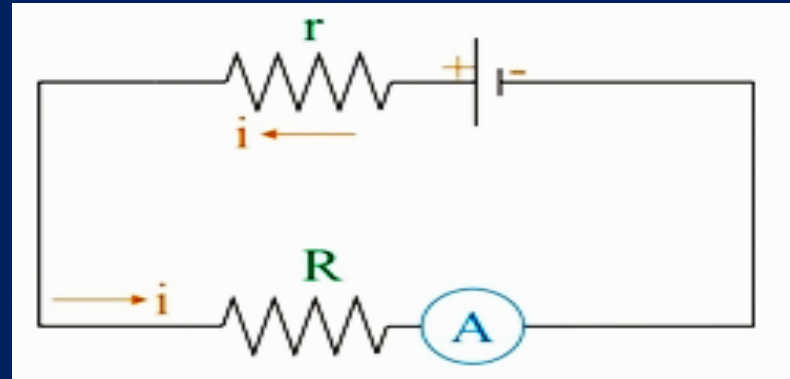
$$\frac{120 \cdot 40}{120 + 40} = \frac{4800}{160} = 30\Omega$$

$$P = \frac{U^2}{R}$$

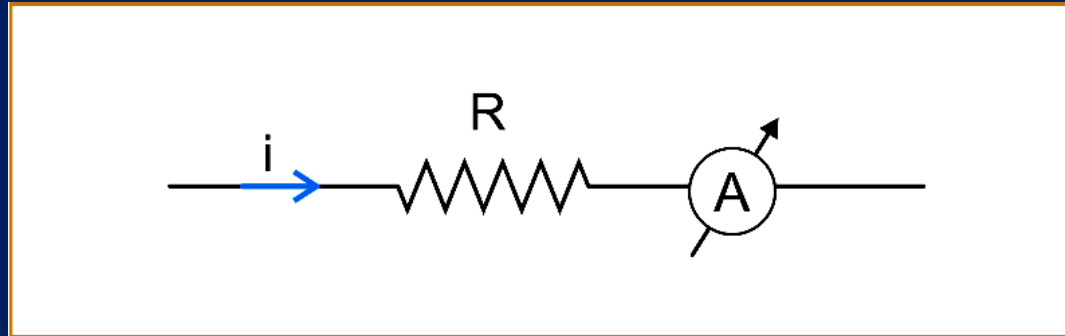
$$P = \frac{120^2}{12}$$

$$P = \frac{120 \cdot 120}{12} = 1200W$$

Medidores elétricos

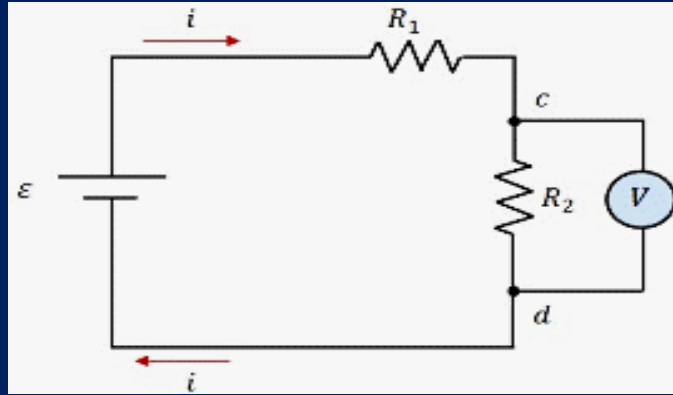


1. Amperímetro – É o aparelho que mede a corrente elétrica em um ramo de circuito, se associando em série com o trecho de circuito.

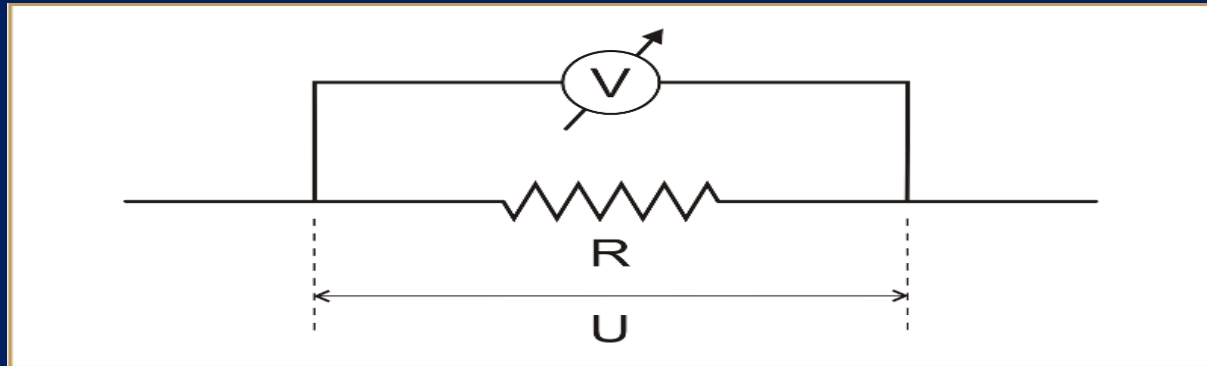


Amperímetro ideal – É aquele que possui resistência interna infinitamente pequena em relação às resistências do circuito. ($r \rightarrow 0$)

Medidores elétricos

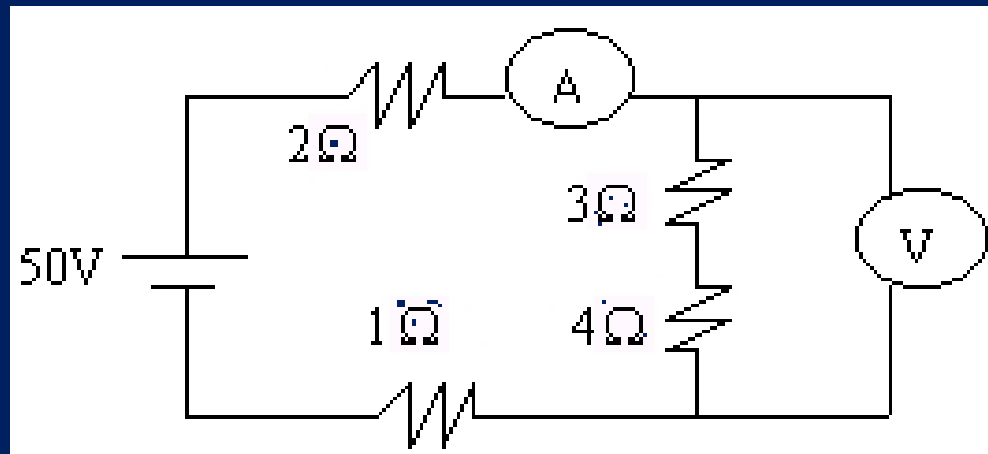
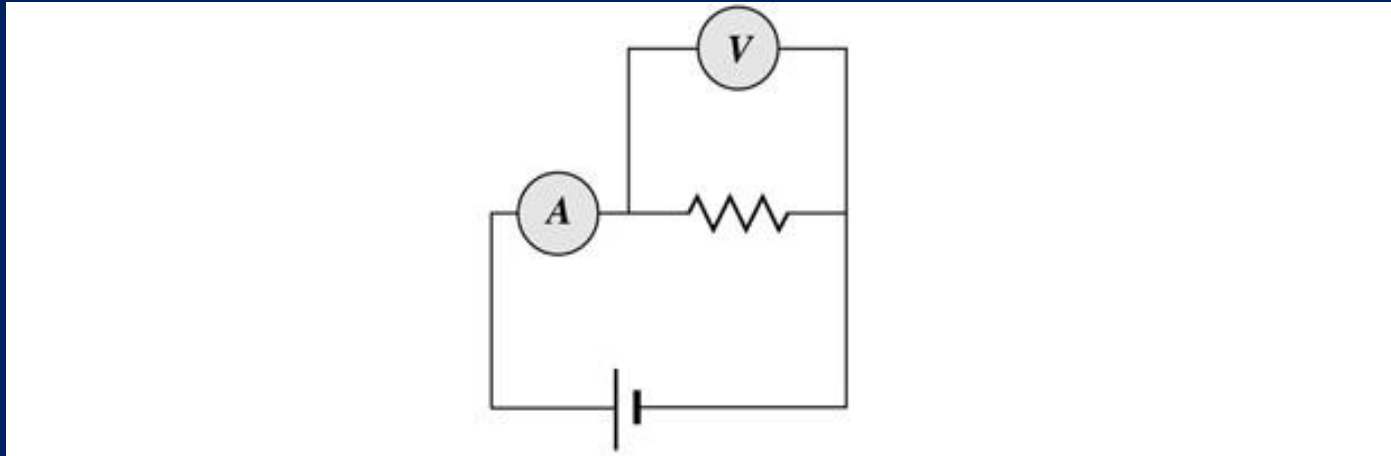


2. Voltímetro – É o aparelho que mede a ddp elétrica em um ramo de circuito, se associando em paralelo com o trecho de circuito.



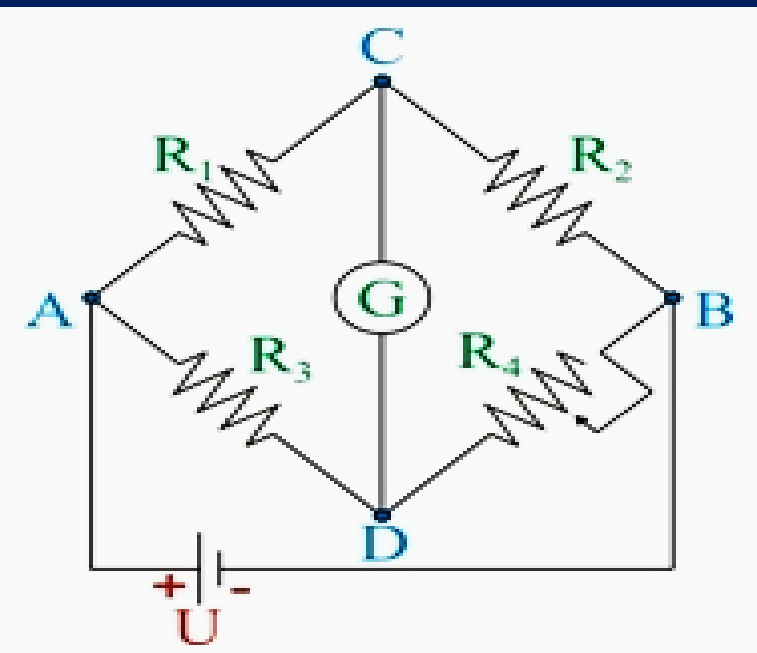
Voltímetro ideal – É aquele que possui resistência interna infinitamente grande em relação às resistências do circuito. ($r \rightarrow \infty$)

Apresentação natural do circuito



Pontes de Wheatstone

São montagens de circuito utilizadas para medir uma resistência local.



Quando ocorre na ponte:

1. $i_G = 0$
2. $U_{CD} = 0$

A Ponte de Wheatstone está em **equilíbrio**. Logo:

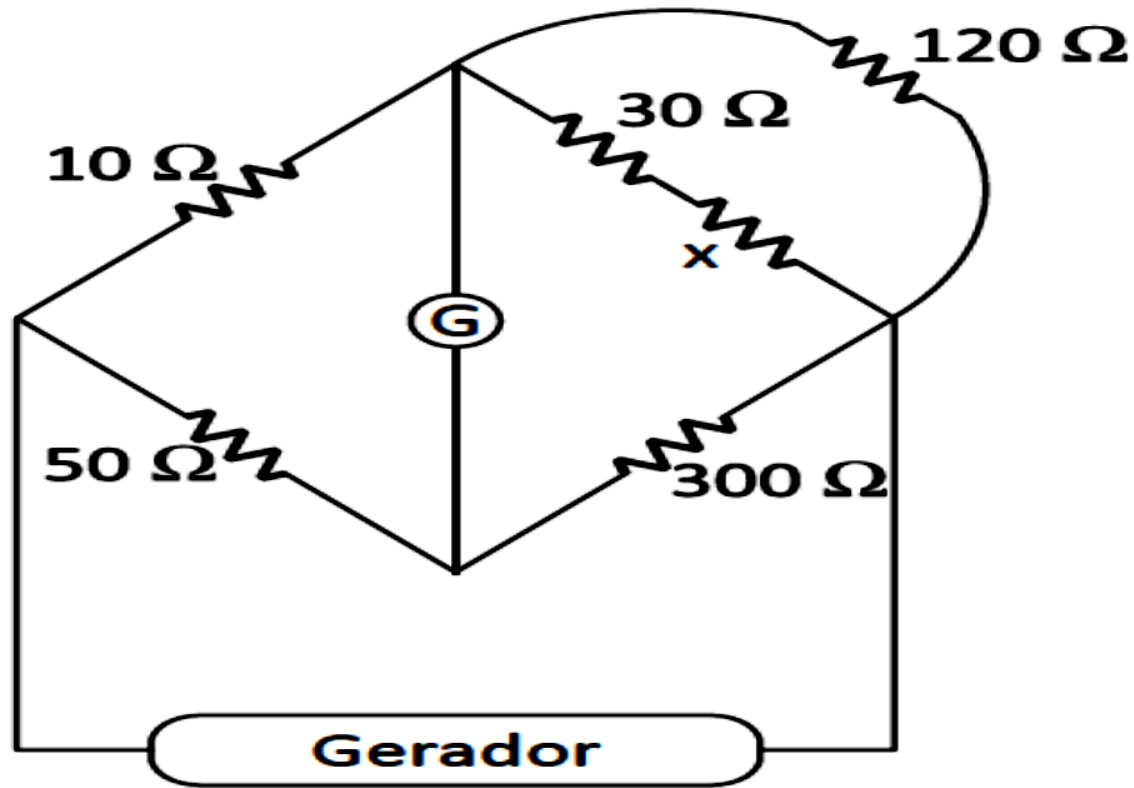
$$R_1 \cdot R_4 = R_2 \cdot R_3$$

$$R_1 \cdot R_4 = R_2 \cdot R_3$$

G → Galvanômetro

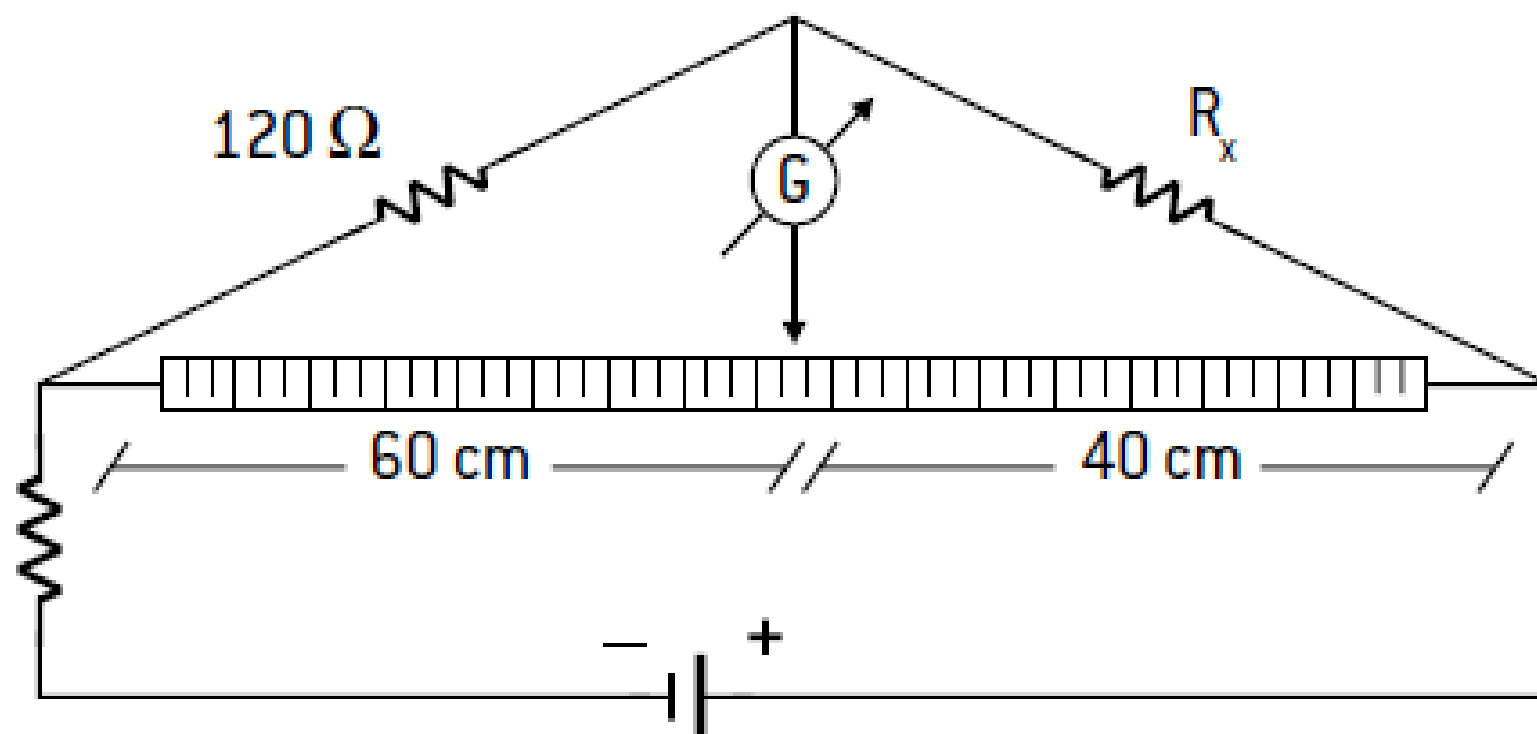
Indica a passagem (ou não) de corrente no ramo central

A ponte apresentada na figura abaixo está em equilíbrio. A resistência X vale:



- a. $10\ \Omega$
- b. $50\ \Omega$
- ☒ c. $90\ \Omega$
- d. $300\ \Omega$
- e. $400\ \Omega$

Quando a ponte de Wheatstone (ponte de fio) está em equilíbrio ($i_g = 0$), conforme figura a seguir, o valor de R_x é



Dado: G = galvanômetro

a. $40\ \Omega$

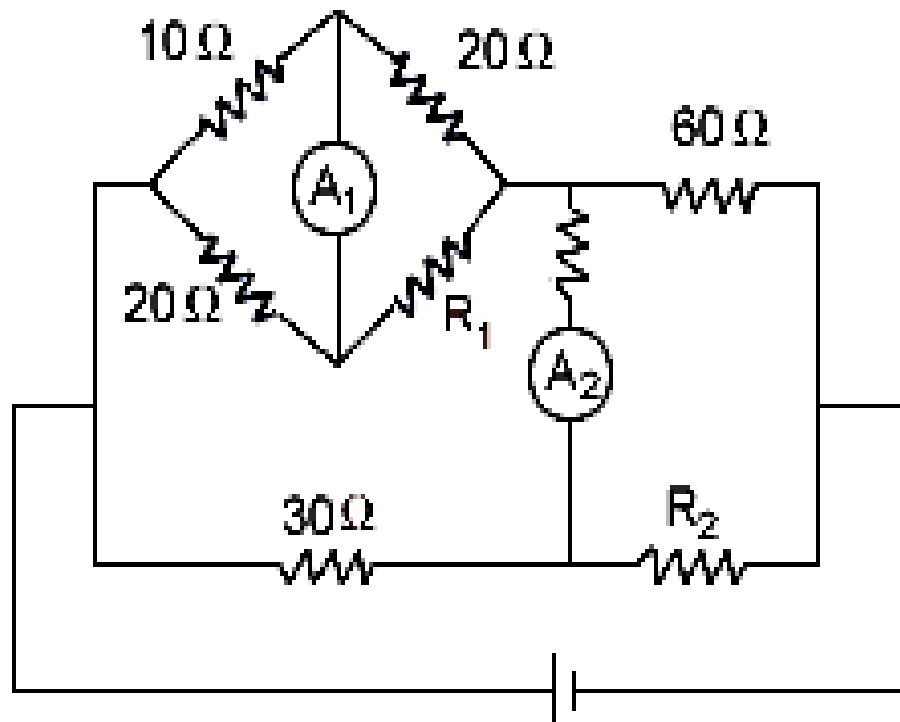
b. $60\ \Omega$

☒ $80\ \Omega$

d. $120\ \Omega$

e. $180\ \Omega$

No circuito ao lado, para que ambos os amperímetros ideais, A_1 e A_2 , indiquem zero, é necessário que as resistências R_1 e R_2 valham, respectivamente:



a) $10\ \Omega$ e $120\ \Omega$.

☒ b) $40\ \Omega$ e $90\ \Omega$.

c) $90\ \Omega$ e $40\ \Omega$.

d) $40\ \Omega$ e $10\ \Omega$.

e) $10\ \Omega$ e $40\ \Omega$.

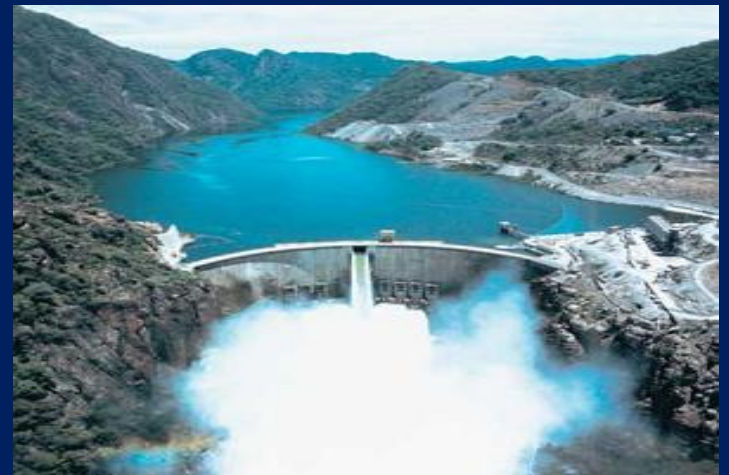
Gerador – Força eletromotriz (fem) - ε

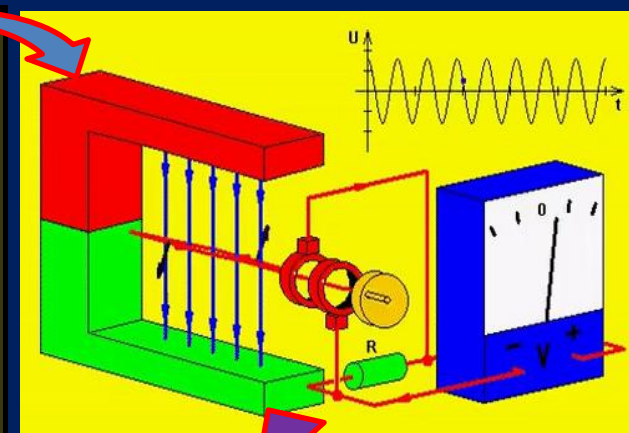
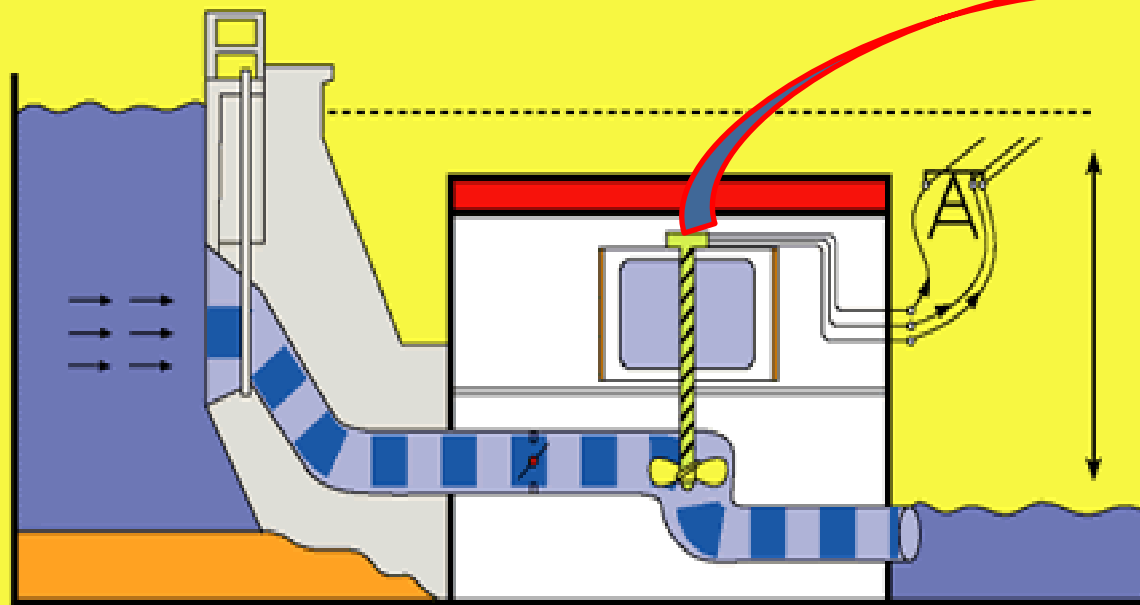
Denominamos gerador elétrico todo dispositivo capaz de transformar energia não elétrica em energia elétrica.



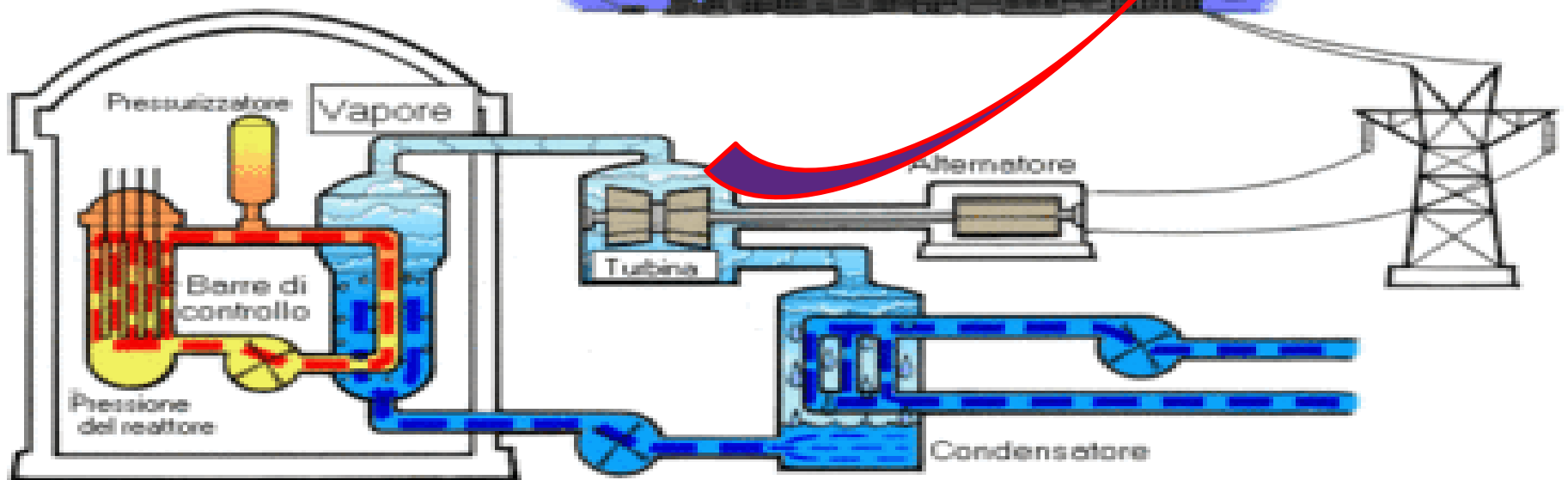
Podemos classificar os geradores em:

- mecânicos (usinas hidrelétricas)
- térmicos (usinas térmicas)
- nucleares (usinas nucleares)
- químicos (pilhas e baterias)
- foto-voltaicos (bateria solar)
- eólicos (energia dos ventos)

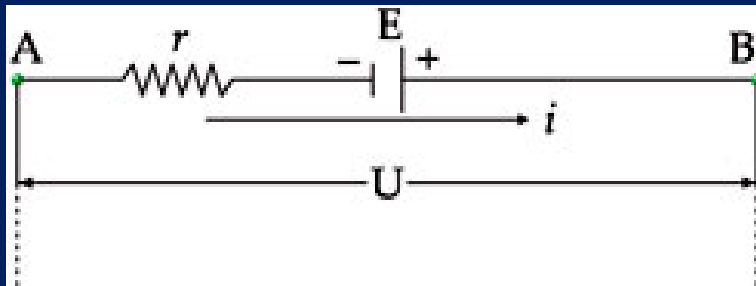




Contenitore del nocciolo



Representação de um Gerador



$$\varepsilon > U$$

Como, $P_t = P_u + P_d$, a equação do gerador é determinada por:

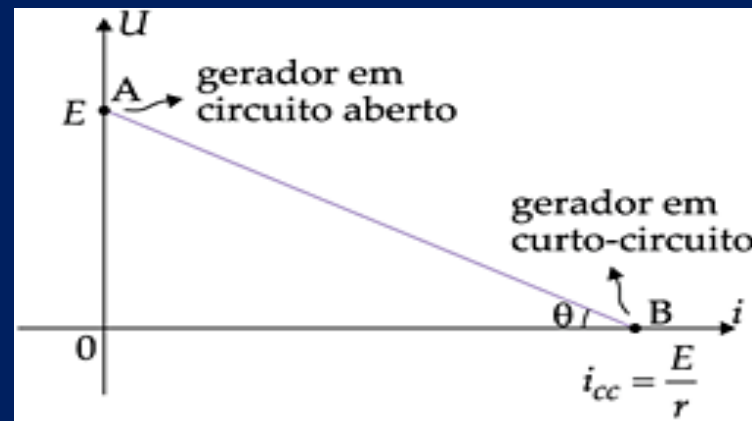
$$P_t = \varepsilon \cdot i$$

$$U = \varepsilon - r i$$

$$P_u = U \cdot i$$

$$P_d = r \cdot i^2$$

O gráfico $U = f(i)$ para o gerador, fica:

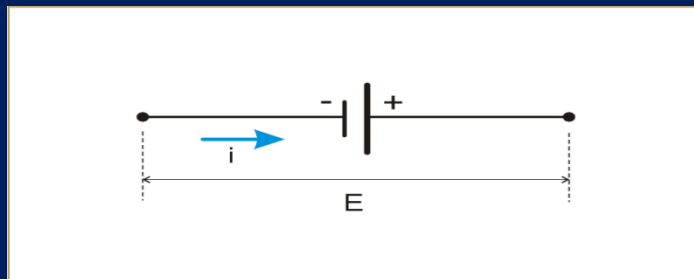


Rendimento do Gerador

O rendimento elétrico de um gerador é o quociente entre a potência elétrica (útil) P_u e a *potência não elétrica* (total) P_t .

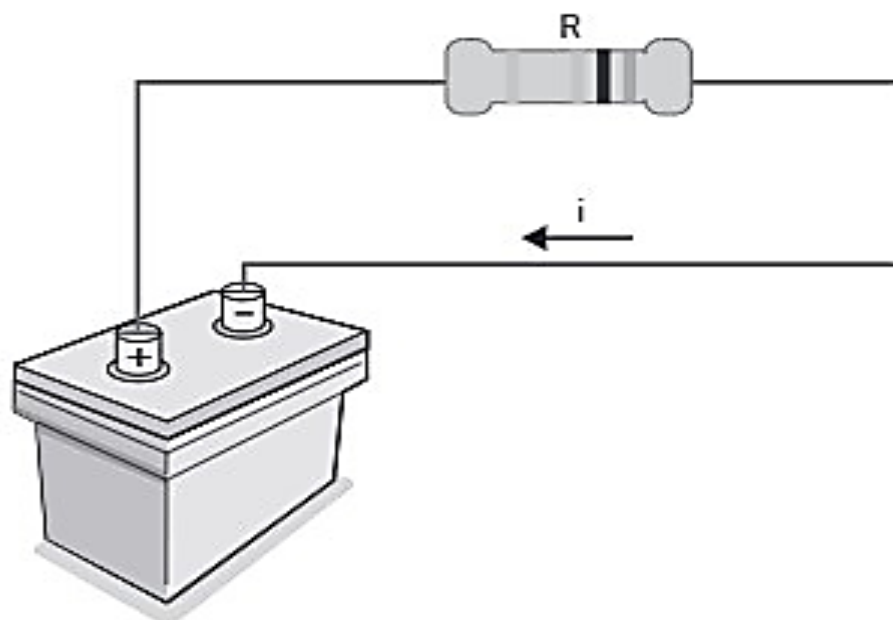
$$\eta = \frac{P_u}{P_T} \quad \text{ou} \quad \eta = \frac{U \cdot i}{E \cdot i} \Rightarrow \eta = \frac{U}{E}$$

Quando o gerador é ideal, o seu rendimento corresponde a 100%



F1. (Famerp-SP)

Quando um gerador de força eletromotriz 12 V é ligado a um resistor R de resistência $5,8\ \Omega$ uma corrente elétrica i de intensidade $2,0\text{ A}$ circula pelo circuito.



A resistência interna desse gerador é igual a

(a) $0,40\ \Omega$

(d) $0,30\ \Omega$

☒ (b) $0,20\ \Omega$

(e) $0,50\ \Omega$

(c) $0,10\ \Omega$

E4. (EBMSP-BA)

Unidades hospitalares utilizam geradores elétricos para se prevenir de interrupções no fornecimento de energia elétrica.

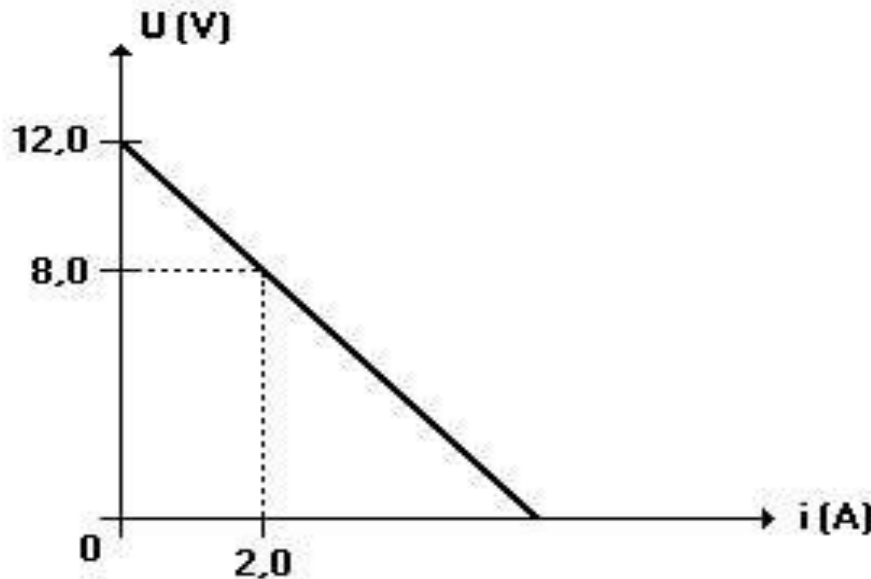
Considerando-se um gerador elétrico de força eletromotriz $120,0\text{ V}$ e resistência interna $4,0\ \Omega$ que gera potência elétrica de $1\,200,0\text{ W}$, quando ligado a um circuito externo, é correto afirmar, com base nessas informações e nos conhecimentos de eletricidade, que

- (a) o gerador elétrico transforma energia elétrica em outras formas de energia.
- (b) a diferença de potencial elétrico entre os terminais do gerador é igual a $110,0\text{ V}$.
- (c) a intensidade da corrente elétrica que circula através do gerador é igual a $8,0\text{ A}$.
- (d) a potência dissipada em outras formas de energia no interior do gerador é igual a $512,0\text{ W}$.
-  a potência elétrica que o gerador lança no circuito externo para alimentar as instalações é igual a $800,0\text{ W}$.

Exercício

UEL-PR

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



Pelas características do gráfico, o elemento é um:

- ☒ a. gerador de resistência interna $2,0 \, \Omega$.
- b. receptor de resistência interna $2,0 \, \Omega$.
- c. resistor de resistência elétrica $2,0 \, \Omega$.
- d. gerador de resistência interna $1,0 \, \Omega$.
- e. receptor de resistência interna $1,0 \, \Omega$.

RECEPTOR- FORÇA CONTRA- *ELETROMOTRIZ* (f_{cem}) - ε'

Qualquer elemento de circuito que transforme energia elétrica em outra forma de energia que não a elétrica, é denominado receptor.



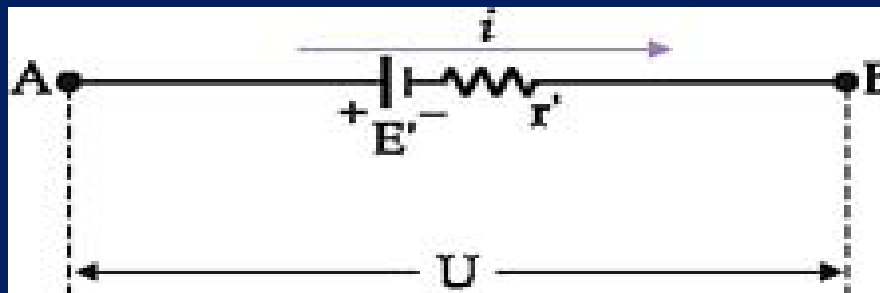
Classificação dos Receptores:

Passivos: transformam integralmente energia elétrica em energia exclusivamente térmica (calor).

É o caso dos resistores.

Ativos: transformam a energia elétrica em outra forma de energia que não seja exclusivamente térmica. É o caso dos motores elétricos que transformam parte da energia elétrica em energia cinética de rotação (energia mecânica)

Representação do Receptor



$$U > \varepsilon'$$

$$P_t = U \cdot i$$

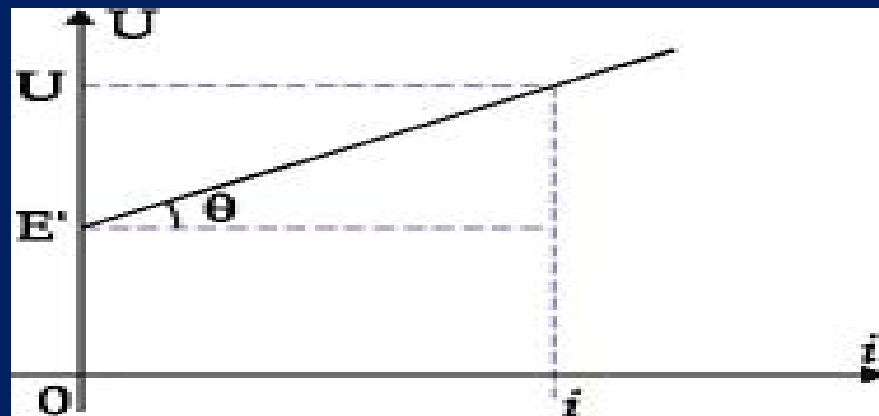
$$P_u = \varepsilon' \cdot i$$

$$P_d = r' \cdot i^2$$

Como, $P_t = P_u + P_d$, a equação do receptor é determinada por:

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

O gráfico $U = f(i)$ para o receptor, fica:

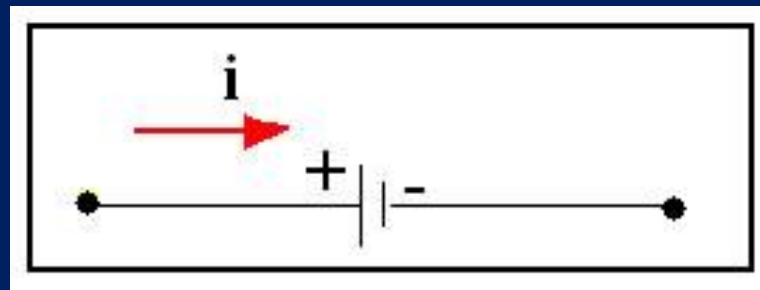


Rendimento do Receptor

Da definição de rendimento, temos:

$$\eta = \frac{P_u}{P_t} = \frac{\varepsilon' \cdot i}{U \cdot i} = \frac{\varepsilon'}{U}$$

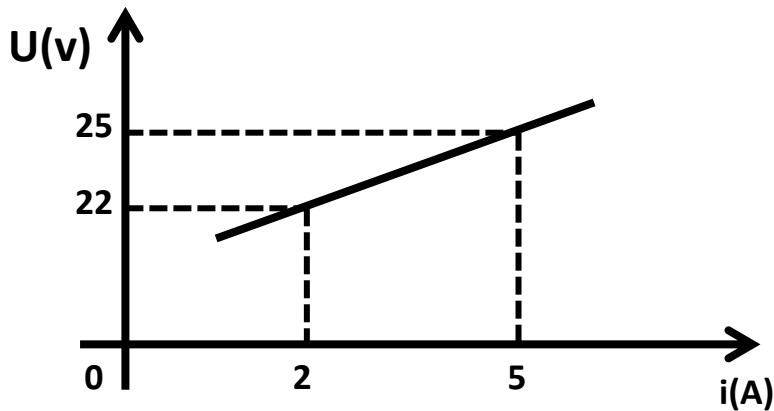
Quando o receptor é ideal, o seu rendimento corresponde a 100%



Exercício

Mackenzie-SP

A ddp nos terminais de um receptor varia com a corrente, conforme o gráfico a seguir. A $fcem$ e a resistência interna desse receptor são, respectivamente:

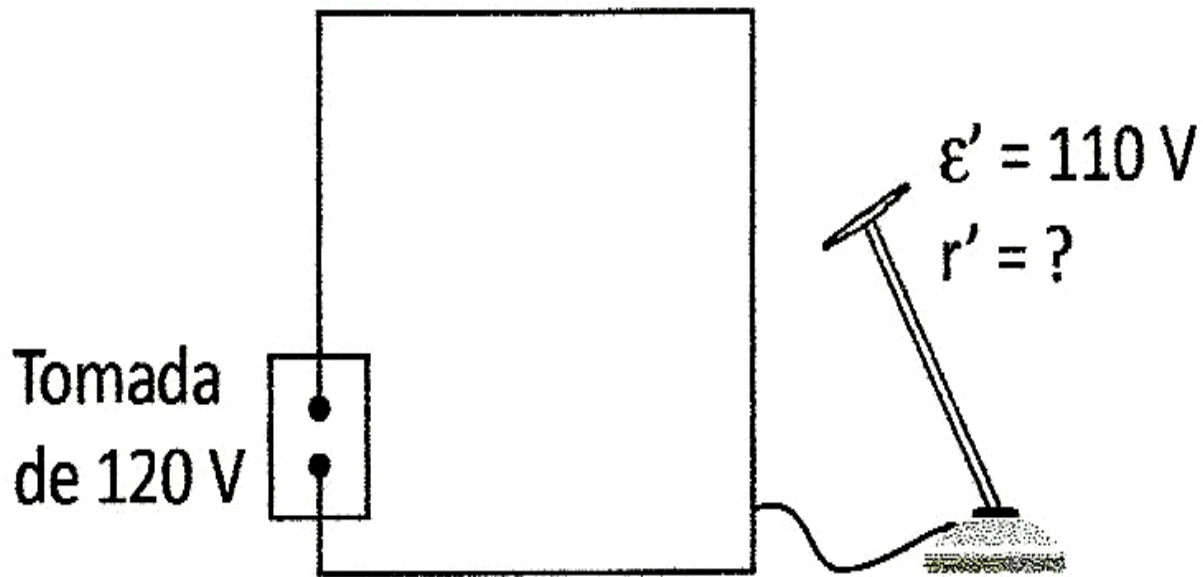


- a. 25 V e 5,0 Ω .
- b. 22 V e 2,0 Ω .
- ☒ c. 20 V e 1,0 Ω .
- d. 12,5 V e 2,5 Ω .
- e. 11 V e 1,0 Ω .

Exercício

PUC-SP

A figura esquematiza o circuito elétrico de uma enceradeira em funcionamento. A potência elétrica dissipada por ela é de 20 W e sua *fcm* é de 110 V. Assim, sua resistência interna é de:



☒ 5Ω

b) 55Ω

c) 2Ω

d) 115Ω

e) -5Ω

Quando seguramos as pás de um ventilador ligado impedindo sua rotação, dizemos que o motor ou receptor está bloqueado, esse ventilador está conectado a uma fonte de 220 V e possui f.e.m de 200 V e resistência interna de 2Ω .



Qual a variação de corrente elétrica que percorre o ventilador antes e depois de segurar as pás?

A) 10 A

D) 110 A

B) 50 A

E) 120 A

☒ C) 100 A

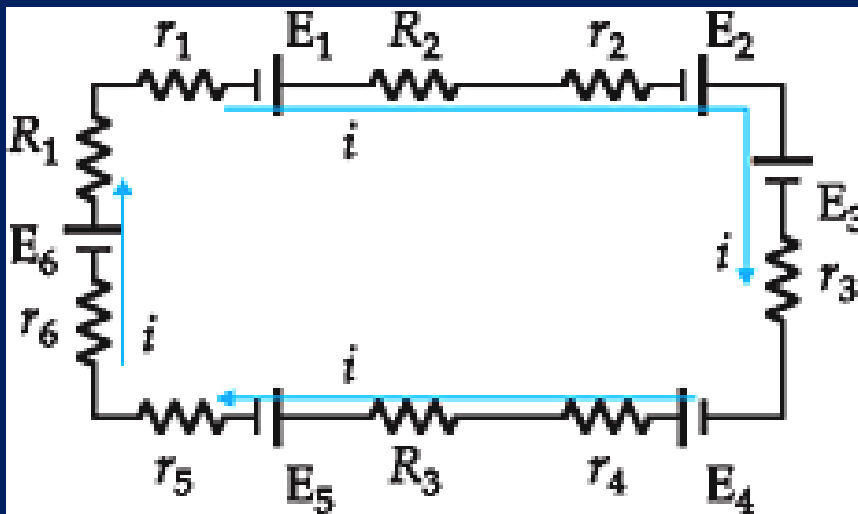
CIRCUITOS: GERADORES E RECEPTORES

É importante lembrar o sentido da corrente elétrica no circuito:

Gerador: pólo(+) → pólo (-)

Receptor: pólo(-) → pólo (+)

Podemos generalizar para um número qualquer de geradores, receptores e resistores, ligados de modo que a corrente elétrica tenha um único caminho a seguir.



De acordo com a lei de OHM – POUILLET:

$$i = \frac{\sum \varepsilon - \sum \varepsilon'}{\sum R}$$

Exercício

Considere o circuito elétrico seguinte.

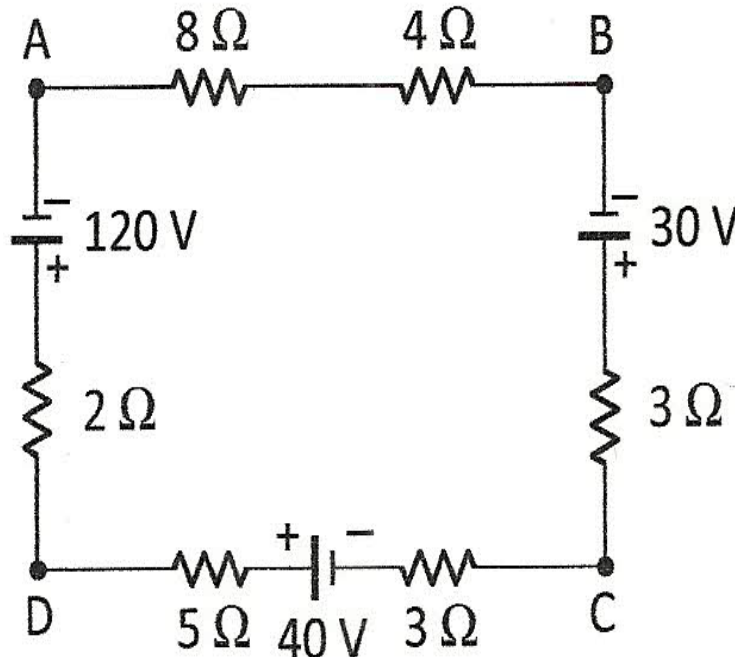
São feitas as seguintes afirmações:

- I. A corrente circula no sentido horário.
- II. A intensidade da corrente elétrica é de 2 A.
- III. A tensão elétrica entre os pontos C e B é de 24 V.
- IV. A tensão elétrica entre os pontos A e D é de 116 V.

Pode-se afirmar que estão corretas as afirmações:

- a. I e II
- b. II e III
- c. I e IV
- d. I e III

☒ II e IV

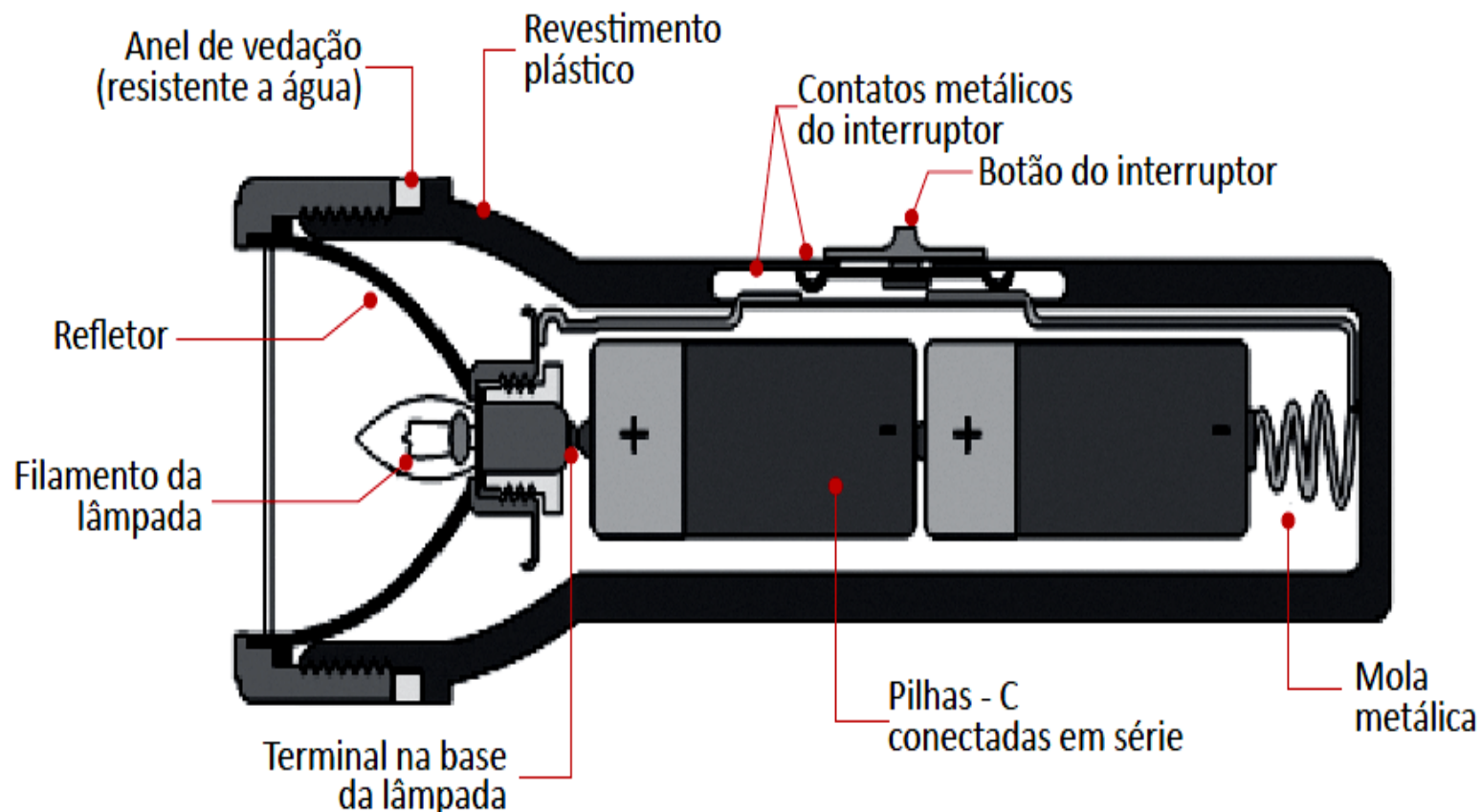


Questão ENEM – 2022

Uma lanterna funciona com três pilhas de resistência interna igual a $0,5\ \Omega$ cada, ligadas em série. Quando posicionadas corretamente, devem acender a lâmpada incandescente de especificações $4,5\ \text{W}$ e $4,5\ \text{V}$. Cada pilha na posição correta gera uma **f.e.m.** (força eletromotriz) de $1,5\ \text{V}$. Uma pessoa, ao trocar as pilhas da lanterna, comete o equívoco de inverter a posição de uma das pilhas. Considere que as pilhas mantêm contato independentemente da posição. Com esse equívoco, qual é a intensidade de corrente que passa pela lâmpada ao se ligar a lanterna?

- ☒ a) $0,25\ \text{A}$
- b) $0,33\ \text{A}$
- c) $0,75\ \text{A}$
- d) $1,00\ \text{A}$
- e) $1,33\ \text{A}$

3. (Uesc)



A figura representa o esquema de um circuito elétrico de uma lanterna. Considerando-se que a força eletromotriz e a resistência interna de cada pilha, respectivamente, são iguais a $3,0\text{ V}$ e $0,5\ \Omega$, a resistência elétrica da lâmpada é igual a $5,0\ \Omega$ e que da lanterna sai um feixe de luz cilíndrico, de raio igual a $5,0\text{ cm}$, pode-se afirmar que a intensidade luminosa da lâmpada da lanterna é igual, em W/m^2 , a:

A) $\pi^{-1} \cdot 10^4$

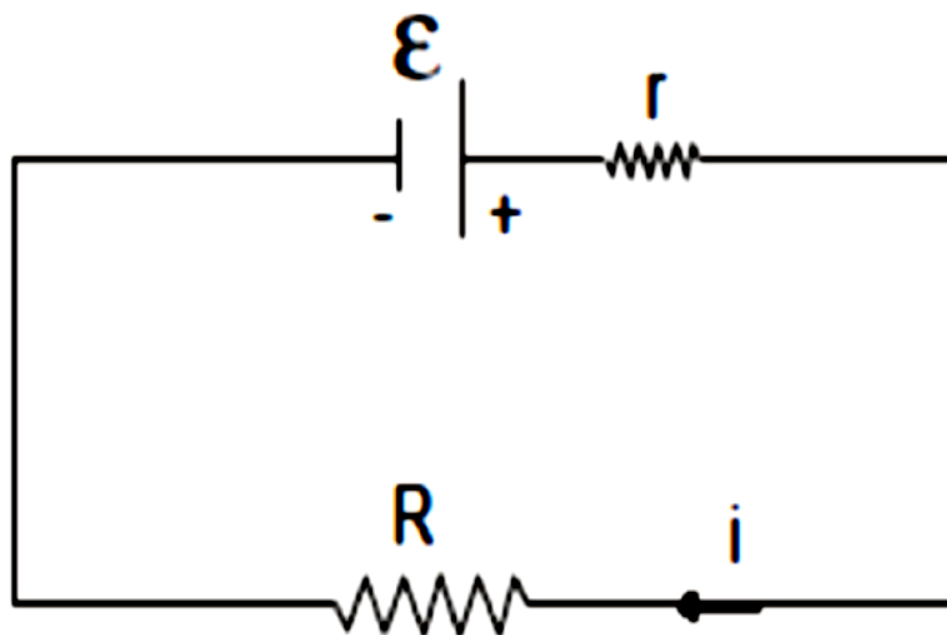
☒ B) $2\pi^{-1} \cdot 10^3$

C) $2,5\pi^{-1} \cdot 10^5$

D) $5\pi^{-1} \cdot 10^3$

E) $5\pi^{-1} \cdot 10^5$

Questão 13.



O circuito representado na figura é formado por um gerador de força eletromotriz ε e resistência interna r , ligado a um aparelho elétrico de resistência R , percorrido por uma corrente elétrica de intensidade i . Uma análise do circuito, desprezando-se a resistência dos fios, permite concluir:

- A) A corrente de curto-circuito é igual a $\frac{\varepsilon}{2r}$.
- B) A potência dissipada no circuito é igual a εi .
- ☒ C) A potência elétrica lançada no circuito assume valor máximo quando $R = r$.
- D) A potência elétrica máxima que o gerador lança no circuito é igual a $\varepsilon/4r$.
- E) O rendimento do gerador é de 100% quando ele lança potência máxima no circuito.