

## **Eletrodinâmica**

Parte 2

# Cronologia



Georg S. Ohm  
1789 - 1854

Lei de Ohm  
(1827)

$$R = \frac{\Delta U}{\Delta I}$$

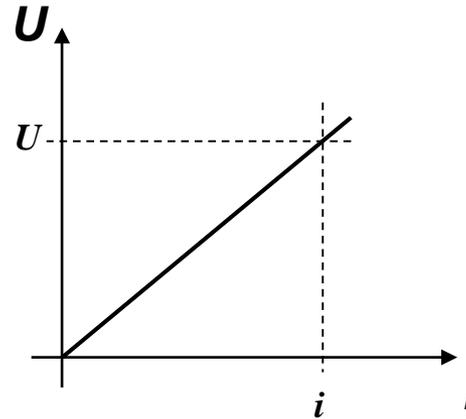


Gráfico  $U \times I$  para um resistor ôhmico

Desdobramento  
da Lei de Ohm

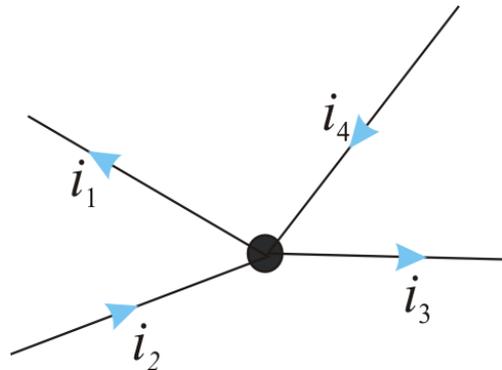
$$R = \rho \cdot \frac{l}{A}$$

$\rho \rightarrow$  resistividade elétrica do material



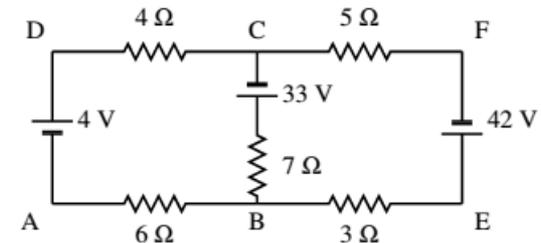
Gustav R. Kirchhoff  
1824 - 1887  
1845

Lei dos Nós

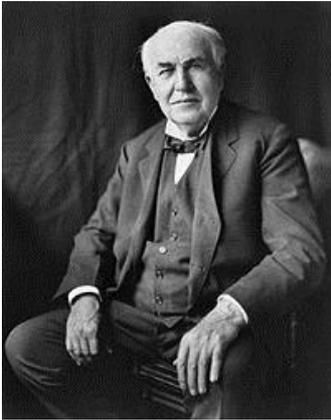


$$\sum I_{entram} = \sum I_{saem}$$

Lei das Malhas

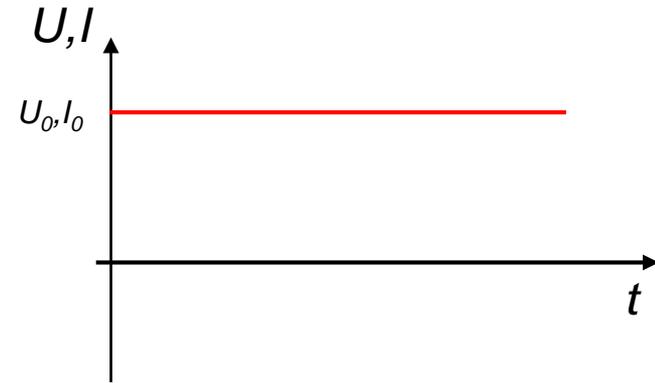


$$\sum \varepsilon_i = \sum (R \cdot I)_j$$



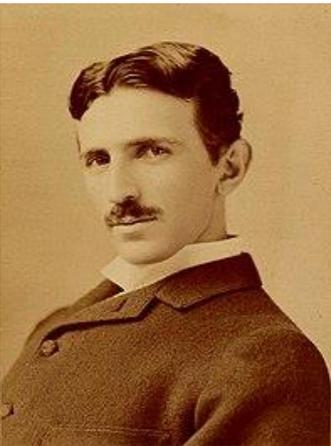
Thomas A. Edison  
1847 - 1931

Corrente  
Contínua  
(DC, CC)  
**1878**



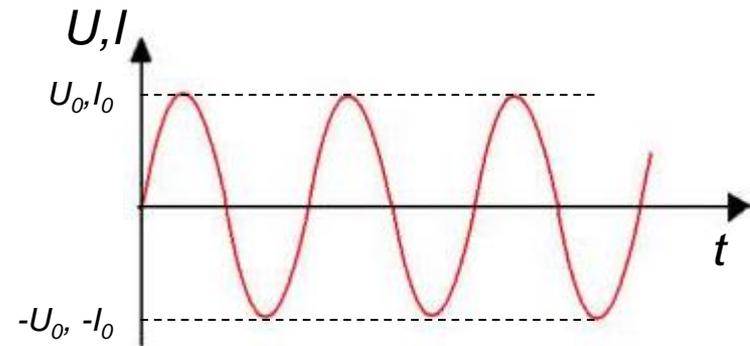
$$U(t) = U_0$$

$$I(t) = I_0$$



Nikola Tesla  
1856 - 1943

Corrente  
Alternada  
(AC, CA)  
**1887**



$$U(t) = U_0 \cdot \text{sen}(\omega \cdot t)$$

$$I(t) = I_0 \cdot \text{sen}(\omega \cdot t)$$

# Eletrodinâmica

É a parte do Eletromagnetismo responsável pelo estudo das cargas elétricas em movimento.

- Tensão Elétrica (U): representa a energia elétrica por unidade de carga elétrica.

$$U = (V_+ - V_-) \quad V = \frac{E_{elétrica}}{q} \quad [volt \rightarrow V]$$

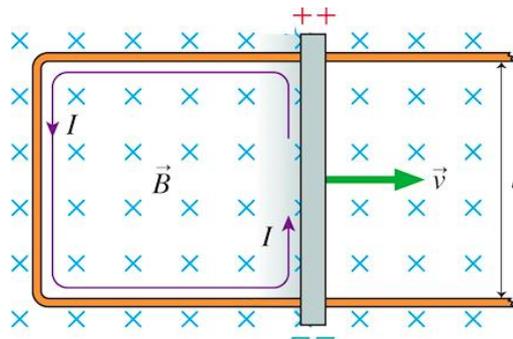
Maneiras de obtenção de corrente elétrica eletrônica

- Separação de cargas elétricas

Pilhas e baterias

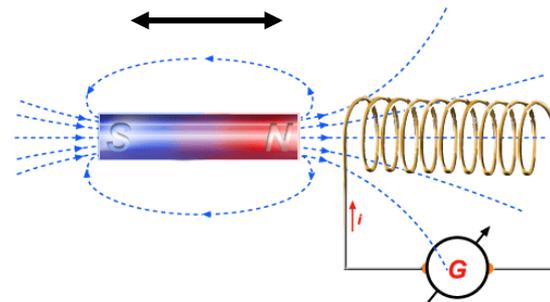


Força de Lorentz

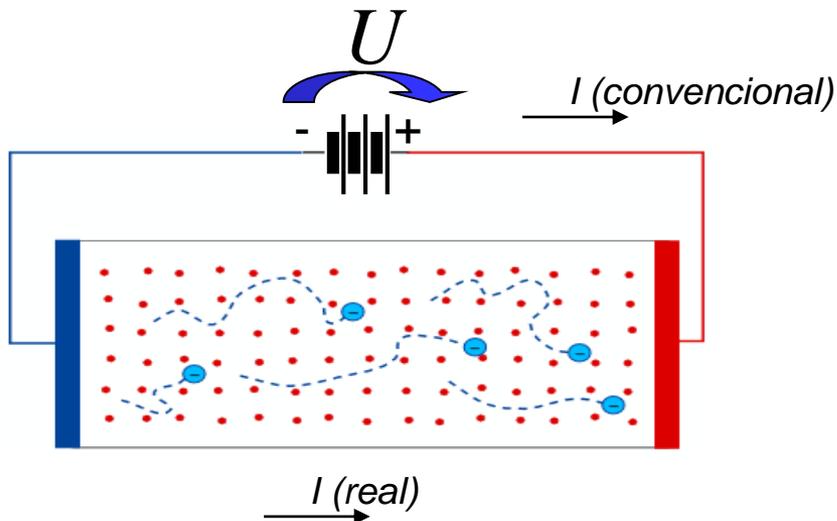
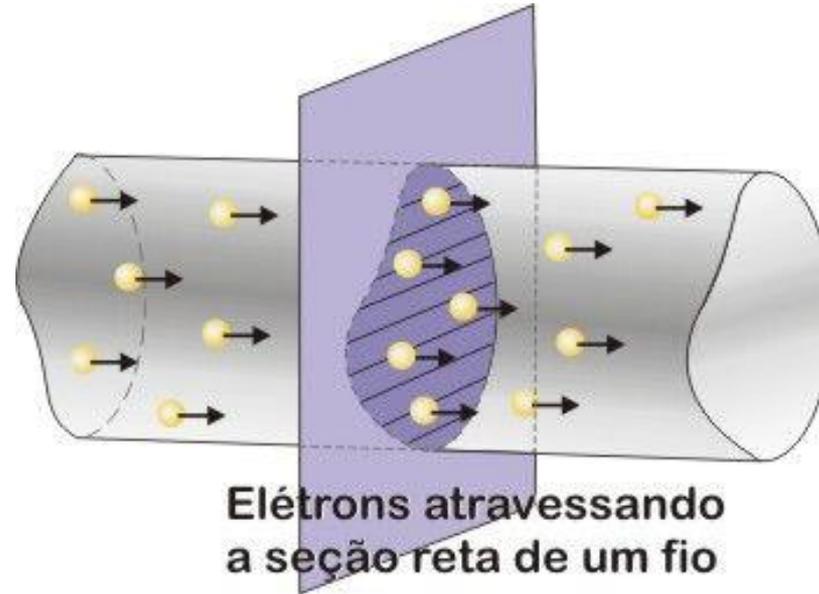


- Variação temporal de campo magnético

Lei de Faraday-Lenz



- **Corrente elétrica**: é o fluxo de cargas elétricas que passam por uma seção transversal do condutor, por unidade de tempo.

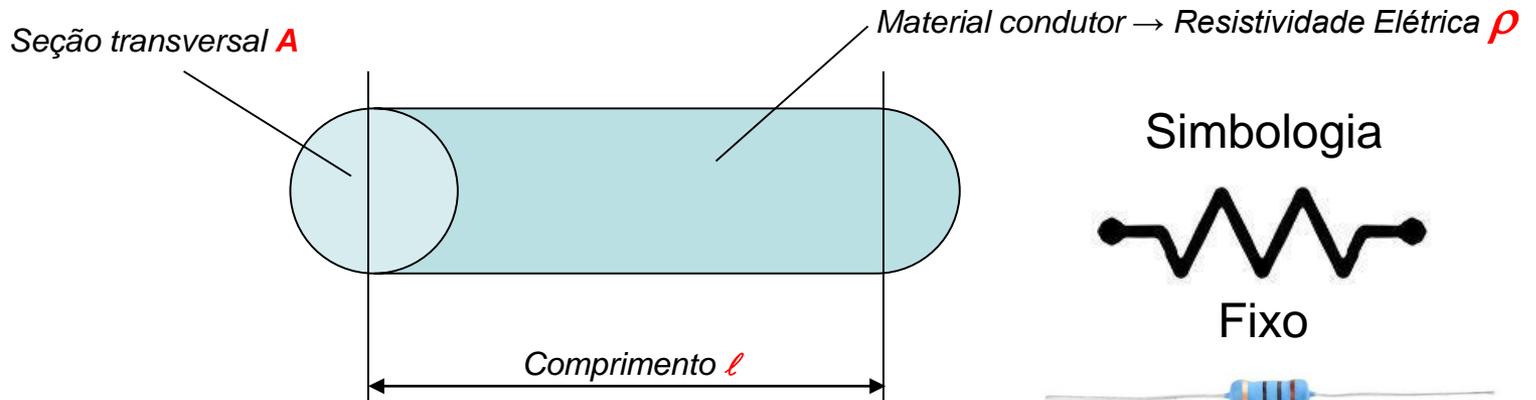


$$I = \frac{\Delta q}{\Delta t} \quad \text{onde} \quad \Delta q = n \cdot e$$

[ampère  $\rightarrow$  A]

# Lei de Ohm (experimental) (1827)

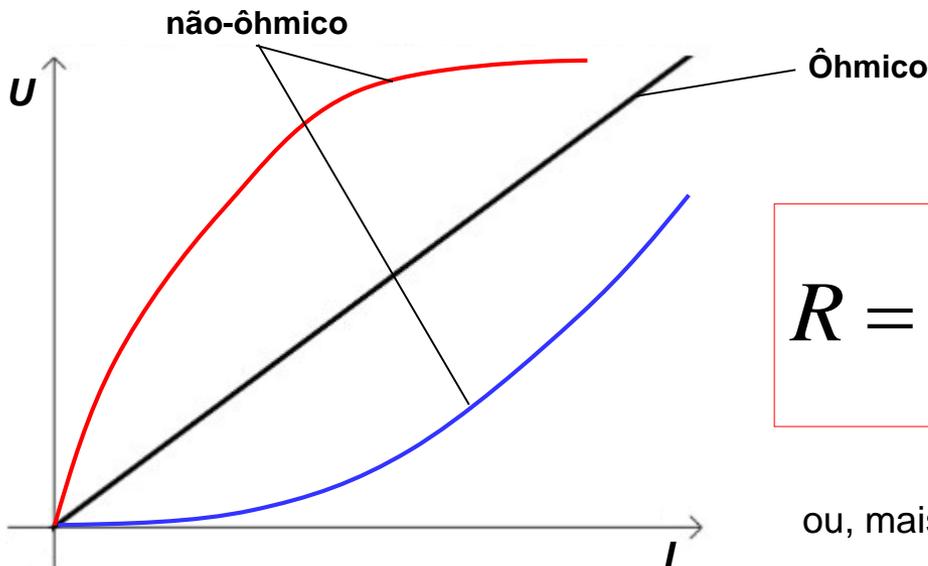
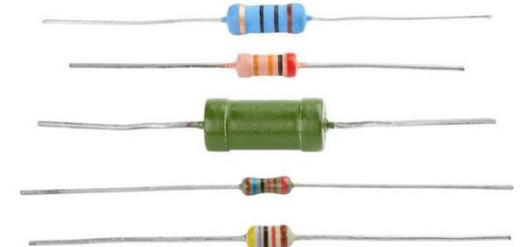
Resistor elétrico é um componente eletroeletrônico que serve para limitar corrente elétrica e, também, como divisor de tensão elétrica em um circuito.



Simbologia



Fixo



$$R = \frac{\Delta U}{\Delta I}$$

Resistência Elétrica →  $\left[\frac{V}{A}\right] \rightarrow [\Omega \text{ (ohm)}]$

ou, mais comumente, →

$$U = R.I$$

$$P_{el} = U \cdot I$$

, válida para quaisquer componentes de um circuito como, por exemplo, bateria, resistor, lâmpada.

Para o caso de um resistor *ôhmico* ( $U = R \cdot I$ )  $\rightarrow P_{el_R} = R \cdot I^2$ , que representa a taxa de *conversão* de energia *elétrica* em *térmica*, no resistor (Efeito Joule).

Unidade  $\rightarrow P_{el} = U \cdot I \rightarrow [V \cdot A] \rightarrow [watt] \rightarrow [W]$

Gráfico  $U \times I$  para um resistor *ôhmico*

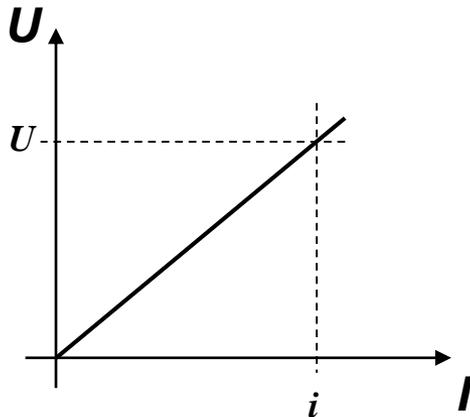
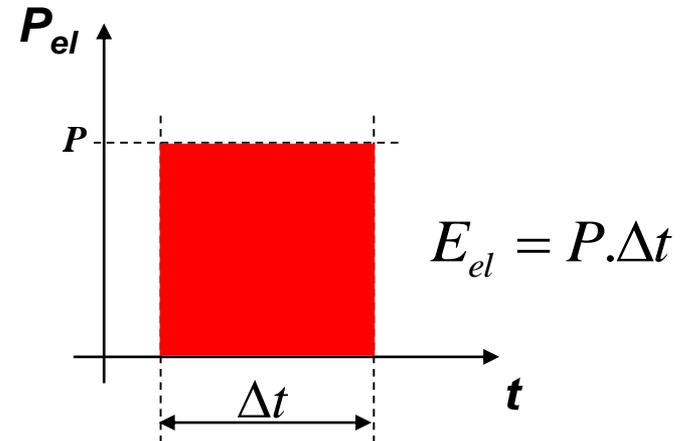
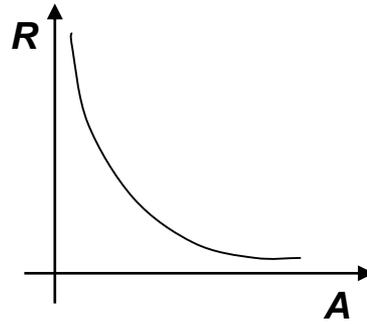
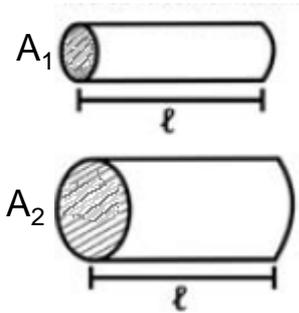


Gráfico  $P_{el} \times t$  para um resistor *qualquer*

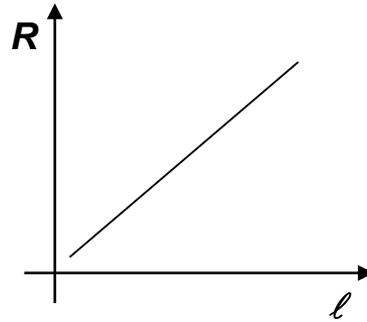
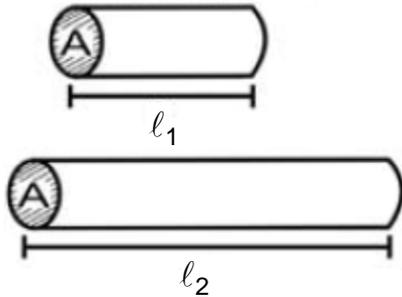


**Dependências na Lei de Ohm** →  $R = f(\ell, A, \text{material } \rho)$

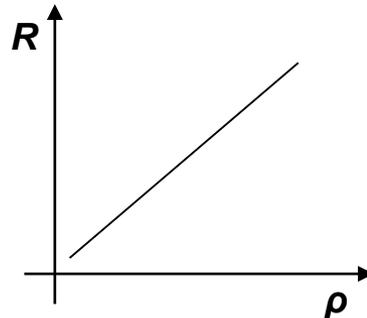
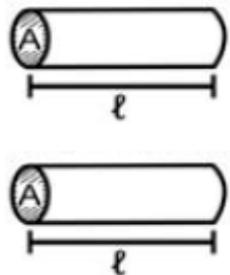
- Mantendo o comprimento  $\ell$  e o material condutor  $\rho$ , alterar a área da seção transversal  $A$ :



- Mantendo a área da seção transversal  $A$  e o material condutor  $\rho$ , alterar o comprimento  $\ell$ :



- Mantendo a área da seção transversal  $A$  e o comprimento  $\ell$ , alterar o material condutor  $\rho$ :



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

Dependências da Lei de Ohm →  $R = f(\ell, A, \text{material } \rho \text{ e da Temperatura})$

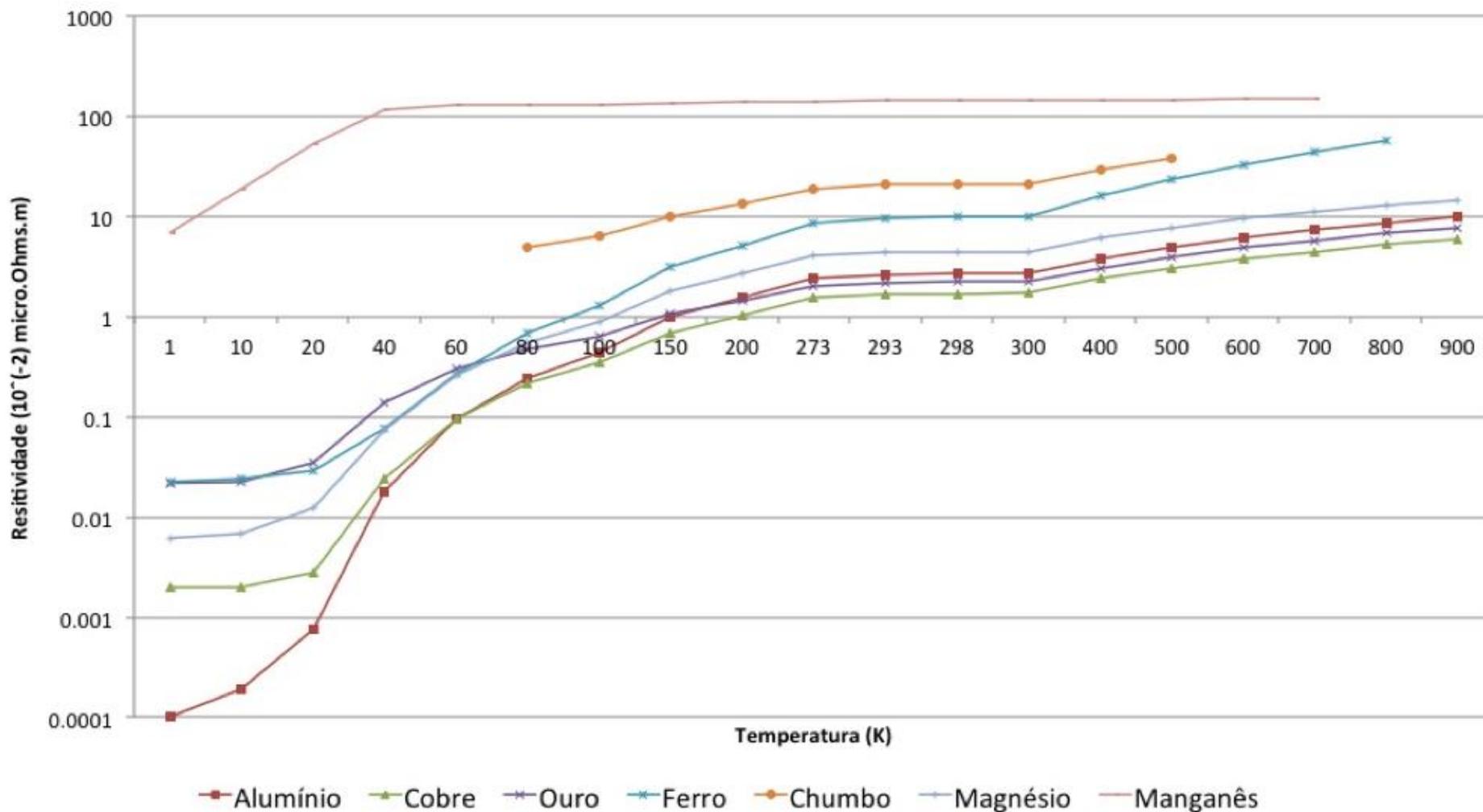
$$R(T) = R_0 \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta T)$$

onde  $\alpha$  → coeficiente de temperatura → [°C<sup>-1</sup>]

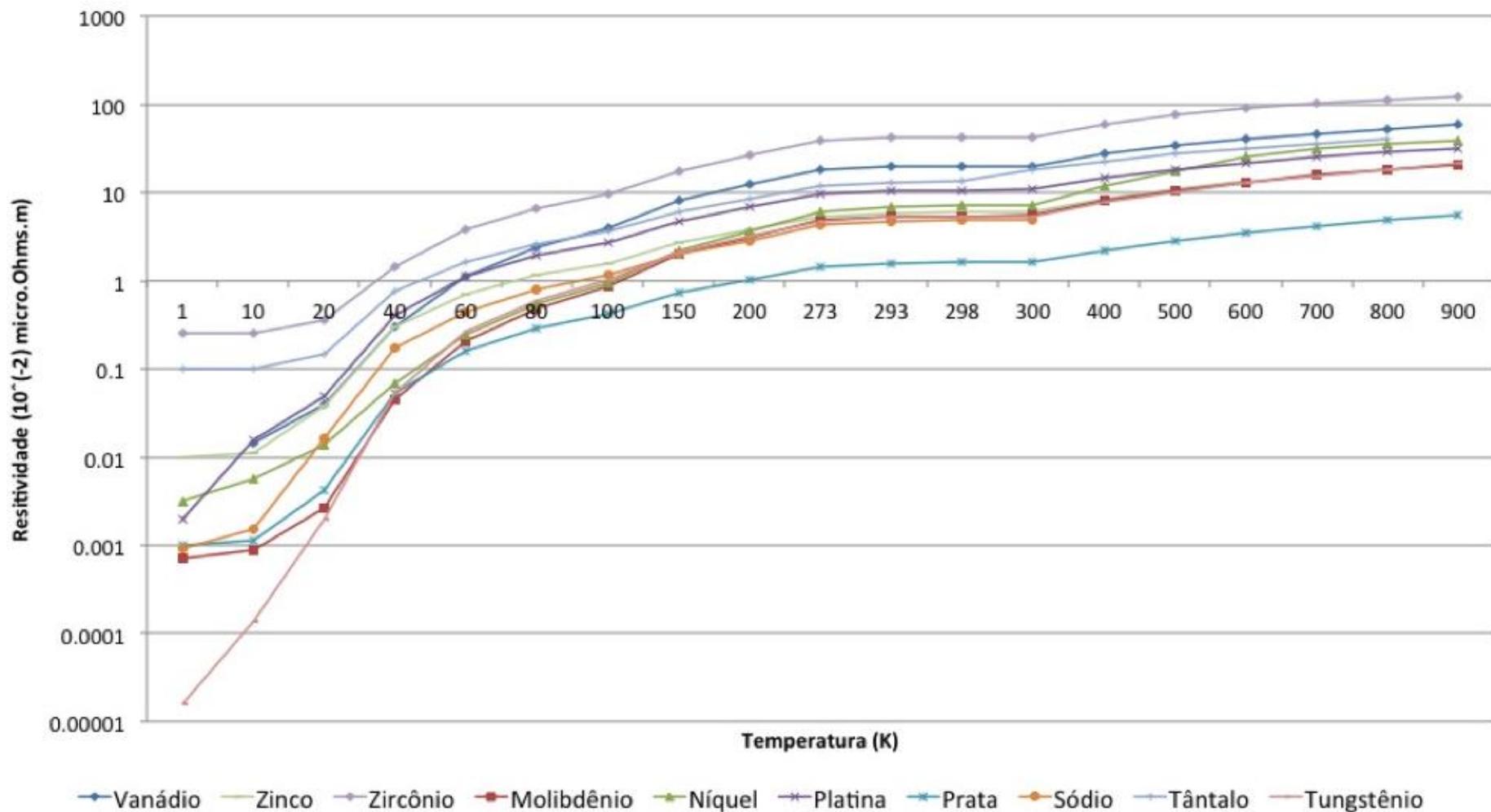
Material	Resistividade $\rho$ ( $\Omega \cdot m$ )	Coef. de Temp. (°C <sup>-1</sup> )
<b>Condutores</b>		
Prata	$1,58 \cdot 10^{-8}$	0,0061
Cobre	$1,67 \cdot 10^{-8}$	0,0068
Alumínio	$2,65 \cdot 10^{-8}$	0,0043
Tungstênio	$5,6 \cdot 10^{-8}$	0,0045
Ferro	$9,71 \cdot 10^{-8}$	0,0065
<b>Semicondutores</b>		
Carbono (grafite)	$(3 - 60) \cdot 10^{-5}$	-0,0005
Germânio	$(1 - 500) \cdot 10^{-3}$	-0,0500
Silício	0,1 - 60	-0,0700
<b>Isolantes</b>		
Vidro	$10^9 - 10^{12}$	
Borracha	$10^{13} - 10^{15}$	

A resistividade elétrica máxima teórica da água é de aproximadamente **182 k $\Omega \cdot m^2/m$  (ou 18,2 M $\Omega \cdot cm^2/cm$ ) a 25 °C.**

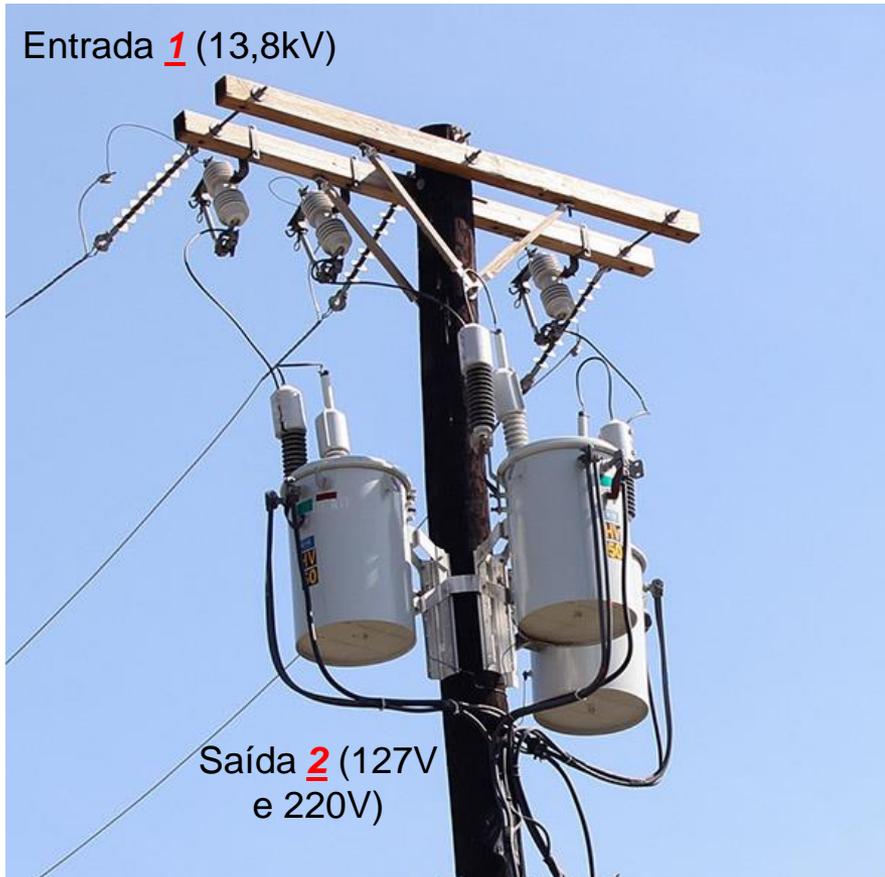
## Gráficos de Resistividade em função da Temperatura



## Gráficos de Resistividade em função da Temperatura



# Transformador



$$P_{el}(entrada) = P_{el}(saída)$$

$$U_1 \cdot i_1 = U_2 \cdot i_2$$

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{i_2}{i_1} > 1 \quad \left\{ \begin{array}{l} = 108,6 \\ \text{ou} \\ = 62,7 \end{array} \right.$$

Lembrando de que

$$R = \rho \cdot \frac{\ell}{A} \quad \text{e} \quad U = R \cdot i$$

$$R = \rho \cdot \frac{\ell}{A} \quad (1) \quad \text{e} \quad U = R \cdot i \quad (2)$$

$$U_1 \cdot i_1 = U_2 \cdot i_2 \quad (3)$$

$$(2) \text{ em } (3) \rightarrow R_1 \cdot i_1^2 = U_2 \cdot i_2^2$$

$$\frac{R_1}{R_2} = \left( \frac{i_2}{i_1} \right)^2 \quad (4)$$

$$(1) \text{ em } (4) \rightarrow \frac{\rho_1 \cdot \frac{\ell_1}{A_1}}{\rho_2 \cdot \frac{\ell_2}{A_2}} = \left( \frac{i_2}{i_1} \right)^2$$

$$\frac{\cancel{\rho_1} \cdot \cancel{\ell_1} \cdot A_2}{\cancel{\rho_2} \cdot \cancel{\ell_2} \cdot A_1} = \left( \frac{i_2}{i_1} \right)^2$$

$$\rho_1 = \rho_2 = \rho_{Cu}$$

$$\ell_1 = \ell_2 = \ell \quad (\text{Extensão do fio do poste até consumidor})$$

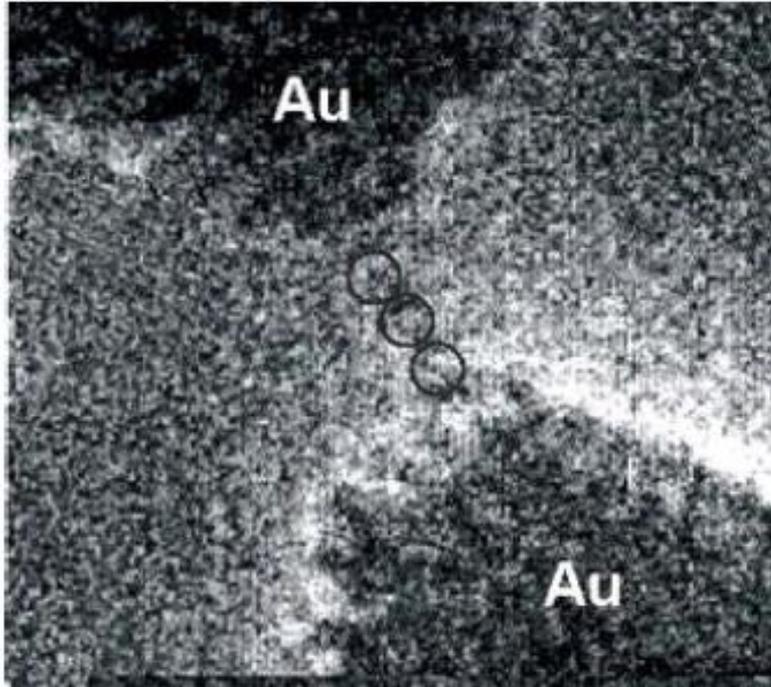
$$\frac{A_2}{A_1} = \left( \frac{i_2}{i_1} \right)^2 > 1$$

$$\text{Como } A = \pi \cdot r^2 \quad r \rightarrow \text{raio do fio}$$

$$\text{Finalmente, } r_2 > r_1$$

# Exercícios

1) (Unicamp-2001)



O tamanho dos componentes eletrônicos vem diminuindo de forma impressionante. Hoje podemos imaginar componentes formados por apenas alguns átomos. Seria esta a última fronteira? A imagem a seguir mostra dois pedaços microscópicos de ouro (manchas escuras) conectados por um fio formado somente por três átomos de ouro.

Esta imagem, obtida recentemente em um microscópio eletrônico por pesquisadores do Laboratório Nacional de Luz Síncrotron, localizado em Campinas, demonstra que é possível atingir essa fronteira.

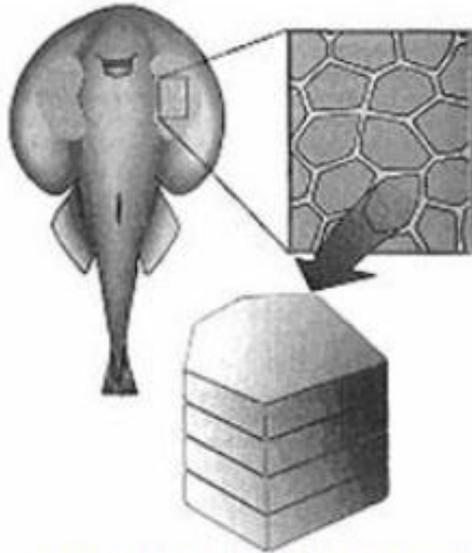
a) Calcule a resistência  $R$  desse fio microscópico, considerando-o como um cilindro com três diâmetros atômicos de comprimento. Lembre-se que, na Física tradicional, a resistência de um cilindro é dada por

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

onde  $\rho$  é a resistividade,  $L$  é o comprimento do cilindro e  $A$  é a área da sua seção transversal. Considere a resistividade do ouro  $\rho = 1,6 \times 10^{-8} \Omega\text{m}$ , o raio de um átomo de ouro  $2,0 \times 10^{-10} \text{m}$  e aproxime  $\pi \cong 3,2$ .

b) Quando se aplica uma diferença de potencial de  $0,1\text{V}$  nas extremidades desse fio microscópico, mede-se uma corrente de  $8,0 \times 10^{-6} \text{A}$ . Determine o valor experimental da resistência do fio. A discrepância entre esse valor e aquele determinado anteriormente deve-se ao fato de que as leis da Física do mundo macroscópico precisam ser modificadas para descrever corretamente objetos de dimensão atômica.

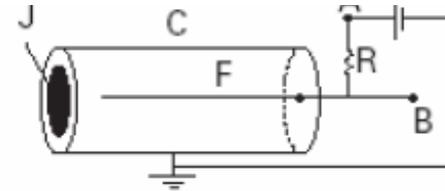
2) (Vunesp-2008) A arraia elétrica (gênero Torpedo) possui células que acumulam energia elétrica como pilhas. Cada eletrócito pode gerar uma ddp de  $10^{-4}$  V, e eles ficam arrumados em camadas, como aparece na figura.



Considere que um mergulhador tem uma resistência elétrica corporal baixa, de  $2\,000\ \Omega$ , e que uma corrente elétrica fatal, nessas condições, seja da ordem de  $20\ \text{mA}$ . Nesse caso, o número de camadas de eletrócitos capaz de produzir essa corrente fatal será igual a

- 400 000.
- 480 000.
- 560 000.
- 800 000.
- 1 000 000.

3) (Fuvest-2003) A figura representa uma câmara fechada C, de parede cilíndrica de material condutor, ligada à terra.



Em uma de suas extremidades, há uma película J, de pequena espessura, que pode ser atravessada por partículas. Coincidente com o eixo da câmara, há um fio condutor F mantido em potencial positivo em relação à terra. O cilindro está preenchido com um gás de tal forma que partículas alfa, que penetram em C, através de J, colidem com moléculas do gás podendo arrancar elétrons das mesmas. Neste processo, são formados íons positivos e igual número de elétrons livres que se dirigem, respectivamente, para C e para F. O número de pares elétron-ion formados é proporcional à energia depositada na câmara pelas partículas alfa, sendo que para cada  $30\ \text{eV}$  de energia perdida por uma partícula alfa, um par é criado. Analise a situação em que um número  $n = 2 \times 10^4$  partículas alfa, cada uma com energia cinética igual a  $4,5\ \text{MeV}$ , penetram em C, a cada segundo, e lá perdem toda a sua energia cinética. Considerando que apenas essas partículas criam os pares elétron-ion, determine:

NOTE/ADOTE

- A carga de um elétron é  $e = -1,6 \times 10^{-19}\ \text{C}$
- elétron-volt (eV) é uma unidade de energia
- $1\ \text{MeV} = 10^6\ \text{eV}$

- o número N de elétrons livres produzidos na câmara C a cada segundo.
- a diferença de potencial V entre os pontos A e B da figura, sendo a resistência  $R = 5 \times 10^7\ \Omega$ .

## Resolução do exercício 2:

1 eletrócito



$$U_{\text{eletrócito}} = 10^{-4} \text{ V}$$

$$R_{\text{merg}} = 2 \cdot 10^{+3} \Omega$$

$$I_{\text{fatal}} = 20 \cdot 10^{-3} \text{ A}$$

$$U = R \cdot I$$

$$U_{\text{fatal}} = R_{\text{merg}} \cdot I_{\text{fatal}}$$

$$U_{\text{fatal}} = 2 \cdot 10^{+3} \cdot 20 \cdot 10^{-3}$$

$$U_{\text{fatal}} = 40 \text{ V}$$

$$U_{\text{fatal}} = 40 \text{ V} \rightarrow U_{\text{fatal}} = n \cdot U_{\text{eletrócito}} \rightarrow 40 = n \cdot 10^{-4} \rightarrow$$

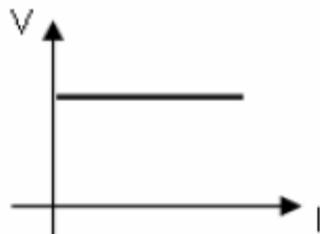
$$n = 4 \cdot 10^{+5} \text{ eletrócitos}$$

5) (VUNESP-2008) A resistência elétrica de certos metais varia com a temperatura e esse fenômeno muitas vezes é utilizado em termômetros. Considere um resistor de platina alimentado por uma tensão constante. Quando o resistor é colocado em um meio a  $0^{\circ}\text{C}$ , a corrente que passa por ele é  $0,8\text{mA}$ . Quando o resistor é colocado em um outro meio cuja temperatura deseja-se conhecer, a corrente registrada é  $0,5\text{mA}$ . A relação entre a resistência elétrica da platina e a temperatura é especificada através da relação  $R = \beta(1 + \alpha T)$ , onde  $\alpha = 4 \cdot 10^{-3}\text{C}^{-1}$ .

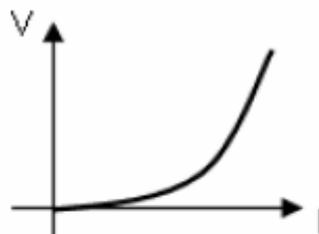
Calcule a temperatura desse meio.

6) (Uniupe-2002) Diferentes intensidades de diferença de potencial são aplicadas entre as bordas de um fio de material que obedece a lei de Ohm. Para cada potencial aplicado é medida a corrente que passa pelo fio. Assinale o gráfico que representa este experimento.

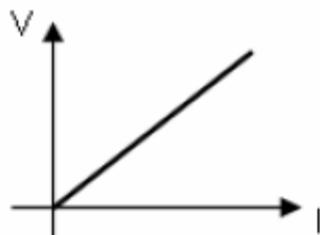
a)



c)



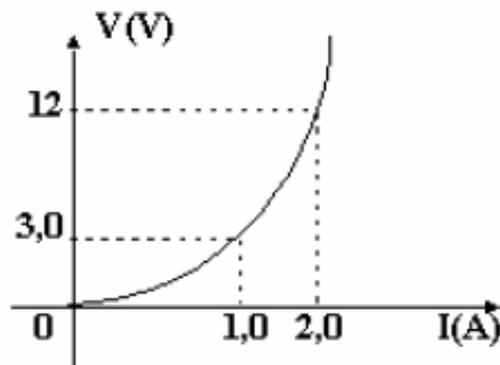
b)



d)



7) (Unirio-1998) Um condutor, ao ser submetido a uma diferença de potencial variável, apresenta o diagrama  $V \times I$  representado abaixo. Sobre esse condutor, considerando a temperatura constante, é correto afirmar que:



a) é ôhmico, e sua resistência elétrica é  $3,0 \Omega$ .

b) é ôhmico, e sua resistência elétrica é  $6,0 \Omega$ .

c) não é ôhmico, e sua resistência elétrica é  $3,0 \Omega$  quando a intensidade da corrente elétrica é  $1,0 \text{ A}$ .

d) não é ôhmico, e sua resistência elétrica é  $3,0 \Omega$  quando a intensidade da corrente elétrica é  $2,0 \text{ A}$ .

e) não é ôhmico, e sua resistência elétrica é  $6,0 \Omega$  quando a intensidade da corrente elétrica é  $1,0 \text{ A}$ .

# Referências

- <https://www.infoescola.com/eletricidade/leis-de-kirchhoff/>
- <https://exerciciosdefisicaensinomedio.blogspot.com/2016/09/exercicios-de-corrente-eletrica.html>
- <http://portaldoprofessor.mec.gov.br/fichaTecnicaAula.html?aula=3397>
- <http://souvestibulando.com/provas/exercicio.php?ida=92&ide=165&idp=5>
- [http://projetomedicina.com.br/site/attachments/article/557/exercicios\\_fisica\\_eletrodinamica\\_primeira\\_lei\\_de\\_ohm\\_gabarito.pdf](http://projetomedicina.com.br/site/attachments/article/557/exercicios_fisica_eletrodinamica_primeira_lei_de_ohm_gabarito.pdf)
- <http://www.antoniolima.web.br.com/aulas/Resistividade.html>
- [http://efisica.if.usp.br/eletricidade/basico/corrente/var\\_resist\\_temperatura/](http://efisica.if.usp.br/eletricidade/basico/corrente/var_resist_temperatura/)
- <http://prolecge.com/productos/>
- <https://www.if.ufrgs.br/novocref/?contact-pergunta=chuveiro-eletrico-por-que-nao-levamos-choque-se-agua-esta-em-contato-com-a-parte-eletrificada-do-resistor-de-aquecimento>
- [https://en.wikipedia.org/wiki/Properties\\_of\\_water#Electrical\\_conductivity](https://en.wikipedia.org/wiki/Properties_of_water#Electrical_conductivity)
- <https://alunosonline.uol.com.br/fisica/diferenca-entre-monofasico-bifasico-trifasico.html>
- <https://docplayer.com.br/9516929-Termos-principais-utilizados-em-transformadores.html>