



**Universidade de São Paulo
Instituto de Física**



Física Experimental B
4323202

Experiência: Curvas Características

Valdir Scarduelli
Rafael Paranhos
Juliana Yoneda

2022

Eletricidade

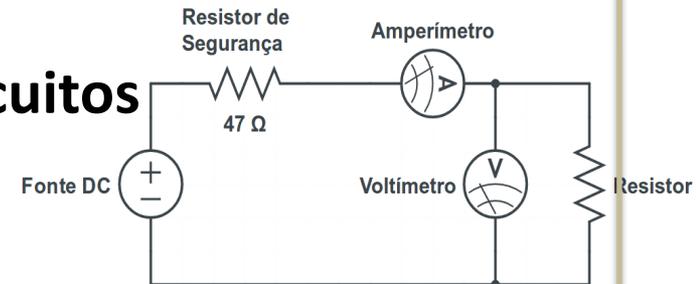


→ Medida de grandezas elétricas

Corrente
Resistência
Tensão



→ Elementos e montagem de circuitos



→ Curvas Características

Resistor
Lâmpada

→ Verificação da Lei de Stefan-Boltzmann

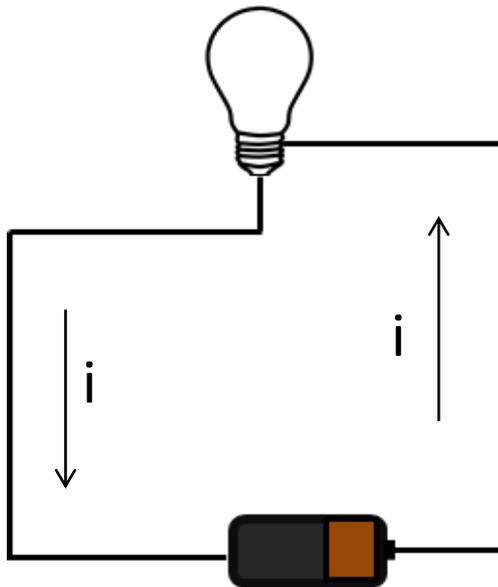


O que é um circuito?

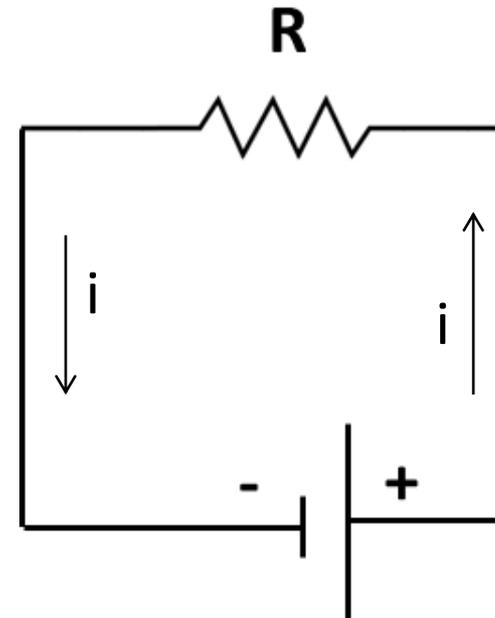
→ Interconexão de componentes elétricos formando um caminho fechado percorrido por um fluxo ordenado de partículas carregadas

Corrente i

$$I = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{|\Delta Q|}{\Delta t} = \frac{dQ}{dt}$$



≈



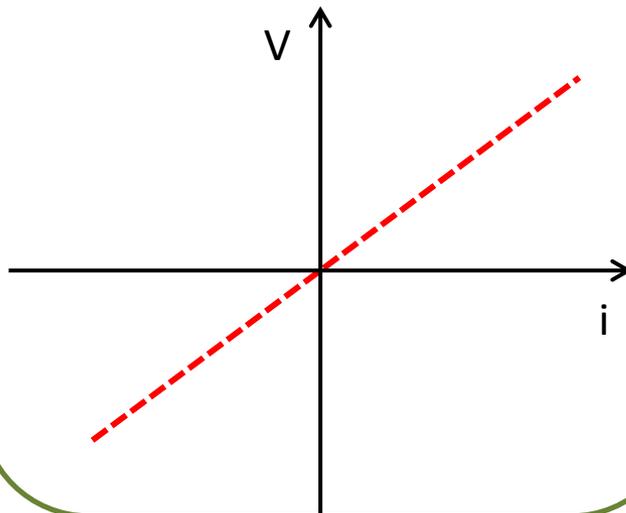
Elemento Resistivo

Oferece uma dificuldade (resistância) à passagem de corrente

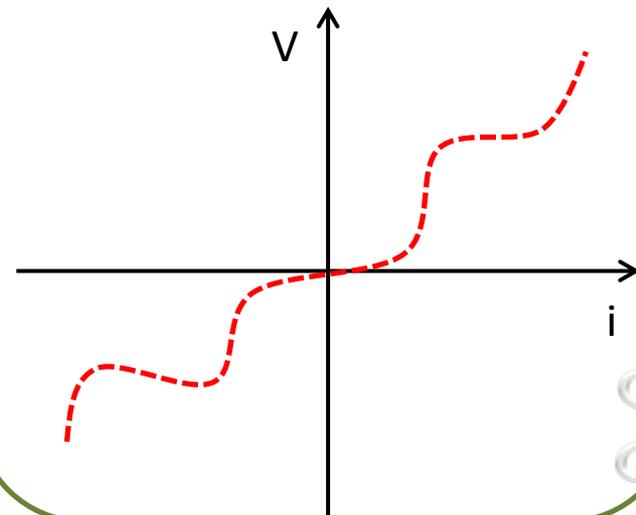
Definição $R = \frac{V}{i}$

Lei de Ohm $V = R i$

Ôhmico



Não ôhmico



Multímetro

V - Voltímetro
Tensão (DC)

V - Voltímetro
Tensão (AC)

A - Amperímetro
Corrente (DC)

Ω - Ohmímetro
Resistência

10A

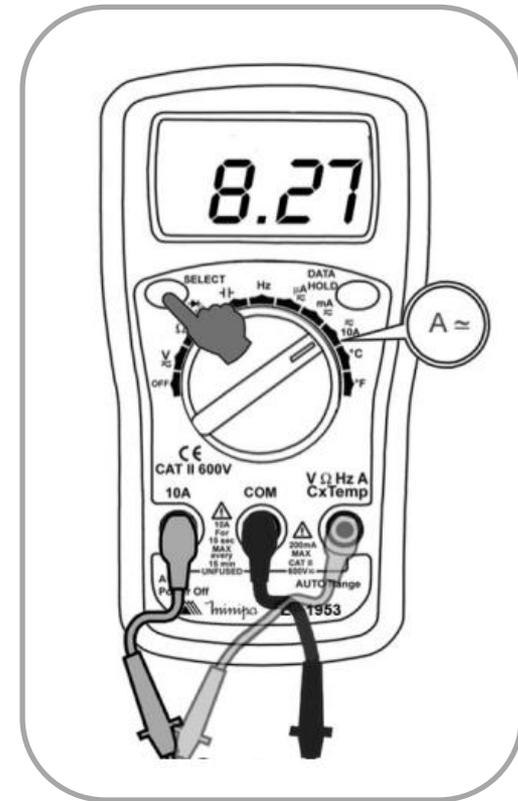
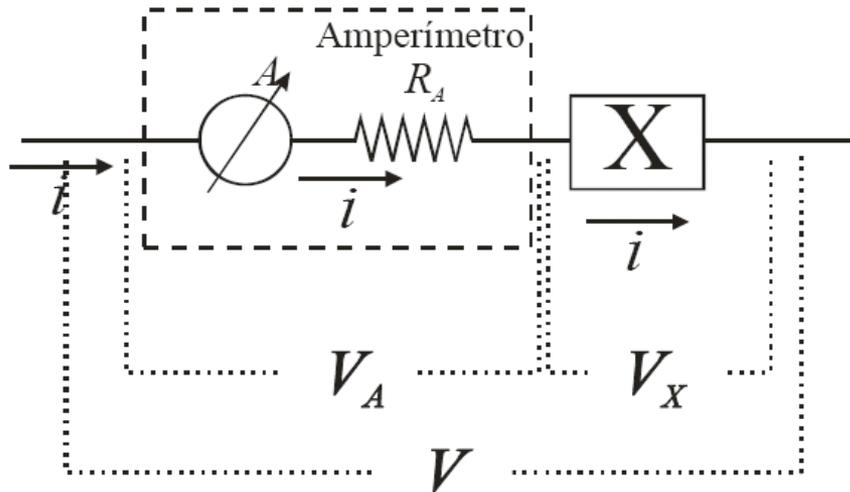
V Ω mA

COMUM



Amperímetro

→ Colocado em série



$$V = V_A + V_X$$

$$i = i_A = i_X$$

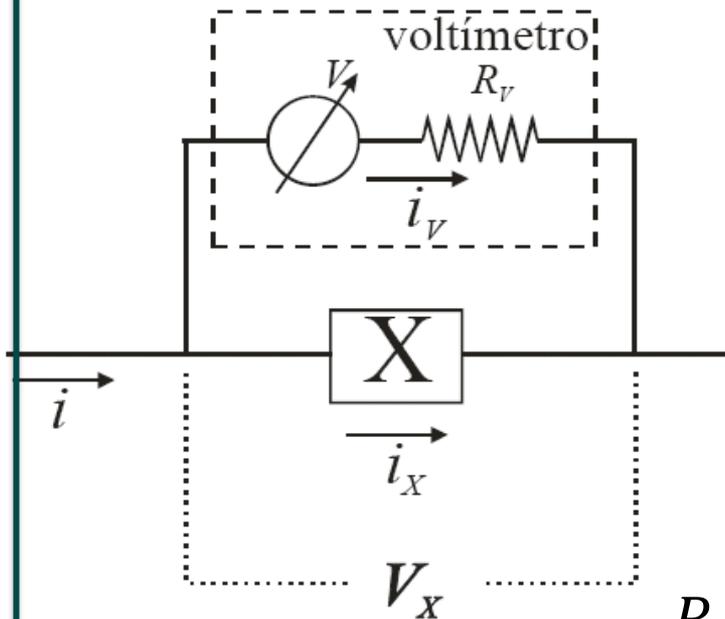
$$R = \frac{V}{i} = \frac{V_A + V_X}{i} = R_A + R_X$$

$$\rightarrow R_A \ll R_X$$



Voltímetro

→ Colocado em paralelo



$$V_x = V_V$$

$$R_X i_X = R_V i_V$$

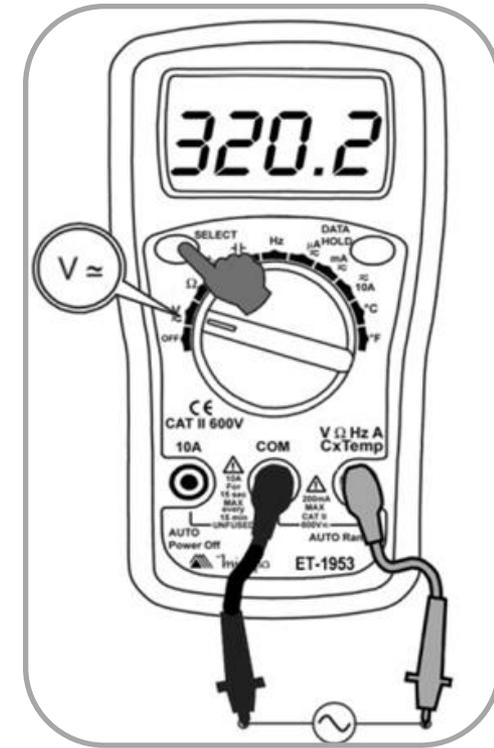
$$i_V = \frac{R_X i_X}{R_V}$$

$$i = i_X + i_V$$

$$R = \frac{V_X}{i_V + i_X} = \frac{R_X i_X}{i_X \left(1 + \frac{R_X}{R_V}\right)} = \frac{R_X R_V}{R_X + R_V}$$

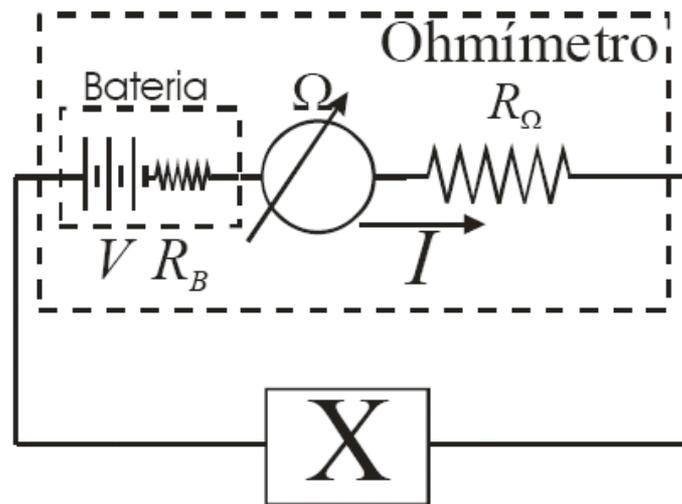
$$\rightarrow R_V \gg R_X$$

$$i_X \gg i_V$$



Ohmímetro

→ Colocado em paralelo



$$i = \frac{V}{R_X + R_B + R_\Omega}$$

$$R_X = \frac{V}{i} - R_B - R_\Omega$$

$$\rightarrow R_X \gg R_B + R_\Omega$$



Incerteza

Multímetro:

Manual → <http://portal.if.usp.br/labdid/pt-br/manuais>

Incerteza estatística: porcentagem
Incerteza sistemática: dígitos

0,2% + 3D



Incerteza

E se mudar de escala?

Exemplo → Medida de tensão **1,840V (Escala 2V)**

$$0,2\% + 3D$$

Estatística

0,2% do valor medido

$$\frac{0,2 * 1,840}{100} = 0,004V$$

Sistemática

3 algarismos na última casa decimal

$$0,003V$$

$$0,007$$





Parte Experimental



Resistores fornecidos:

R_x	1 Ω	1 K Ω	6,8 M Ω	47 Ω
P_{res}				

$$i_{m\acute{a}x} = \sqrt{P_{res}/R_x}$$

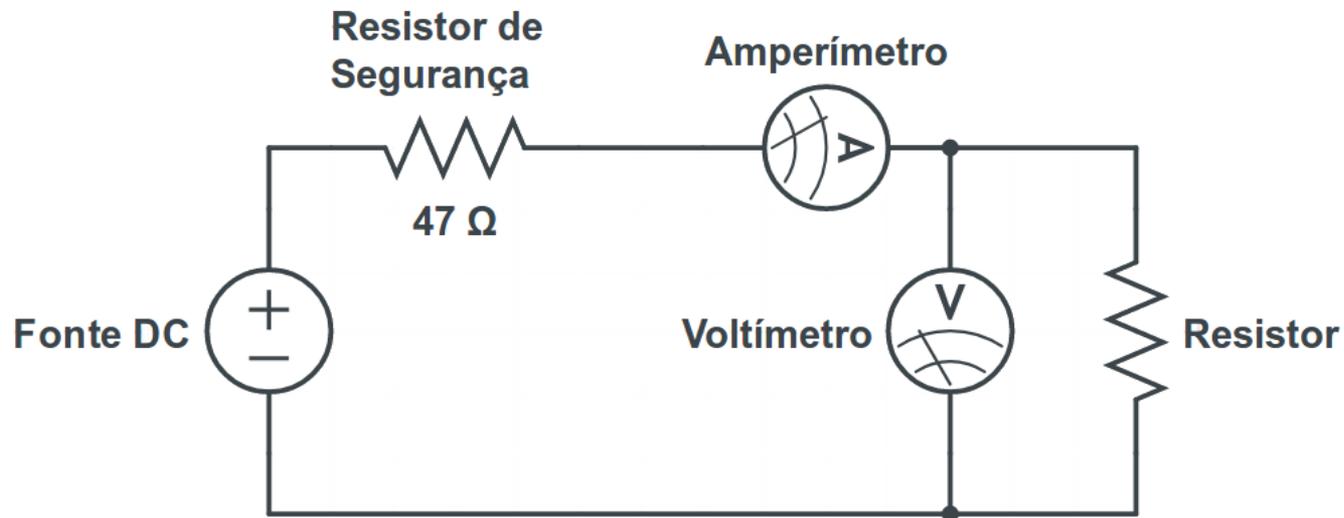
Tabela 1

Valor nominal [Ω]	Potência [W]	$i_{m\acute{a}x}$ [A]
1	10	
1K	10	
6,8 M	1/4	
47	5	

O que acontece se eu tiver 2 elementos no circuito ?

Comparação dos valores medidos com o nominal

Monte o circuito:



Fonte DC:

Corrente

Tensão

Ajuste grosso

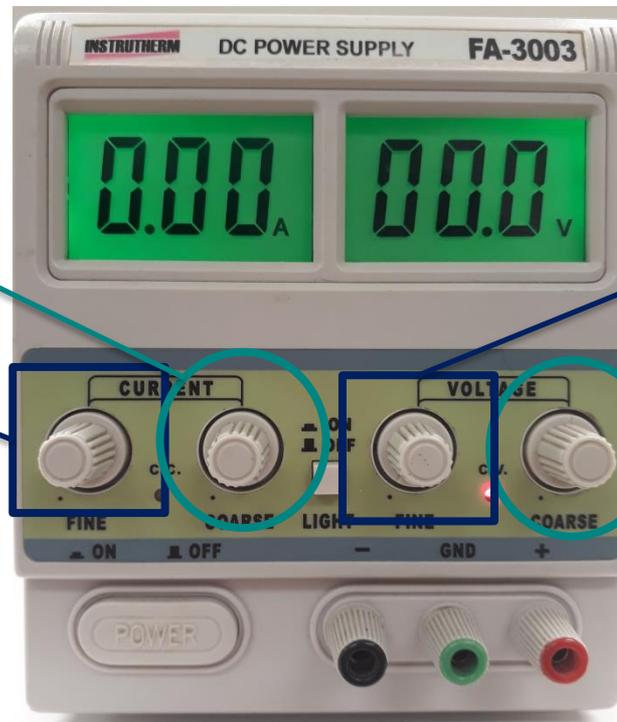
Ajuste fino

Ajuste fino

Ajuste grosso

Maximizar!

Zerar!



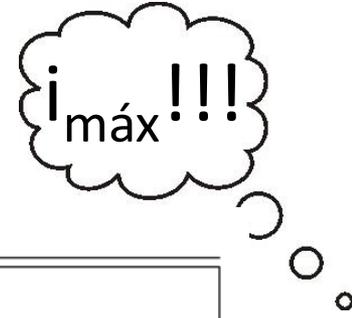


Tabela 2

Valor nominal [Ω]	Circuito 01			
	Tensão [V]	σ_V	Corrente [A]	σ_A
1				
1K				
6,8 M				

Tabela 3

→ Calcular R

$$V = R i$$

Valor nominal [Ω]	Circuito 01		
	R_{calc} [Ω]	σ_R	Desvio %
1			
1K			
6,8 M			



Desconectar!!!!

→ Utilizar o multímetro na função ohmímetro

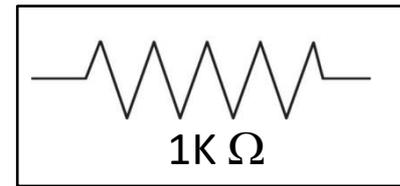
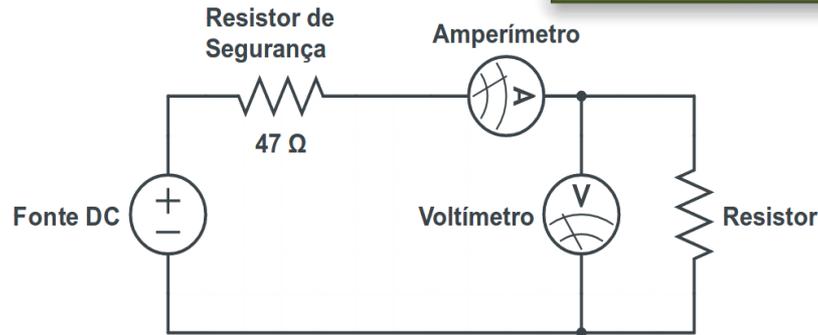
Tabela 4

Valor nominal [Ω]	Circuito 01		
	R_{medido} [Ω]	σ_R	Desvio %
1			
1K			
6,8 M			



Curvas Características

Resistor



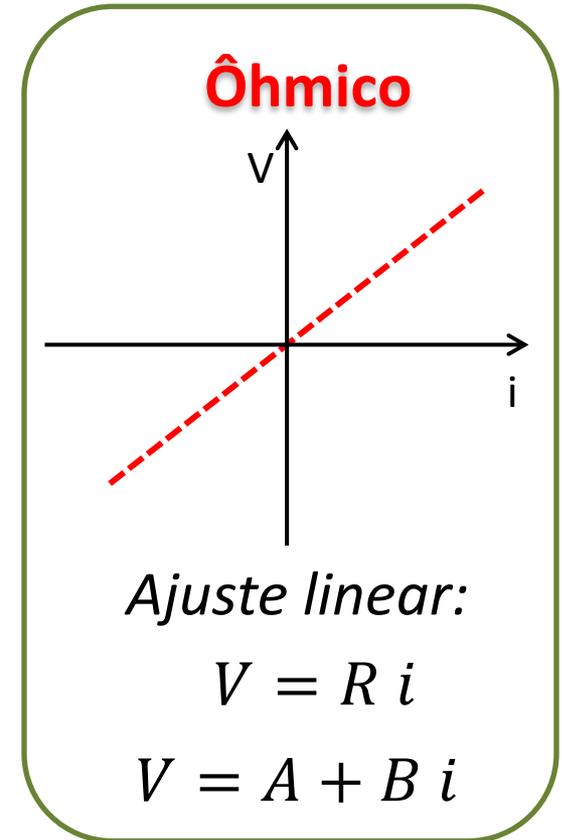
Resistor [Ω]			
Tensão [V]	σ_V	Corrente []	σ_A



Curvas Características

Resistor

- Construir a curva característica
- Verifique se o elemento pode ser considerado ôhmico
- Determine sua resistência pelo método gráfico

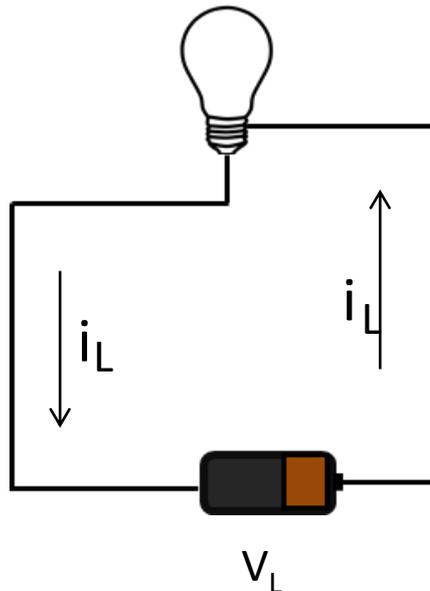


Resistência (R) = coeficiente angular (B)

Lâmpada incandescente



- Usar a Lâmpada como o elemento resistivo
- Valor da resistência depende da temperatura do filamento de tungstênio
- Ao conectar, o circuito irá transferir uma potência elétrica



Potência elétrica

$$P_L = i_L V_L$$

Lâmpada incandescente



Essa potência elétrica é dissipada:

→ **Condução térmica** (chuveiro elétrico)

- O calor é trocado por contato direto entre dois corpos

→ **Convecção** (panela de água)

- Troca de calor através do movimento do fluido aquecido

→ **Irradiação** (Sol)

- Emissão de radiação eletromagnética

Qualquer corpo aquecido emite e absorve radiação!



Lâmpada incandescente



Lâmpada:
Filamento + gás

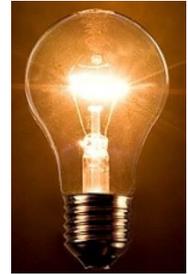
Condução pelo filamento/suporte (despreza)

Convecção no gás T mais baixas

Irradiação do filamento aquecido T mais altas



Lâmpada incandescente



→ Convecção

A potência perdida por convecção é mais significativa para temperaturas mais baixas. Nessas temperaturas, a lâmpada também emite no infravermelho, mas a convecção predomina.

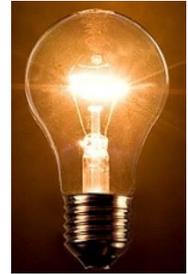
Foi medido empiricamente e se verifica que: $P_{convec} \propto (T - T_0)^\alpha$

onde T é a temperatura do filamento, T_0 é a temperatura ambiente e o coeficiente α é da ordem de 5/4.

B. S. N. Prasad and Rita Mascarenhas, Am. J. Phys. 46, 420 (1978)

Para temperaturas mais altas, a emissão por radiação deve predominar

Lâmpada incandescente



→ Irradiação

Em 1879 J. Stefan verificou empiricamente que a potência emitida na forma de radiação por um objeto era proporcional à quarta potência de sua temperatura:

$$P_{rad} = \varepsilon A \sigma T^4$$

$$\sigma = 5.670367(13) \times 10^{-8} W m^{-2} K^{-4}$$

sendo σ denominado constante de Stefan-Boltzmann, A é a área da superfície do corpo emissor e $0 \leq \varepsilon \leq 1$ é um coeficiente que indica a emissividade do corpo aquecido.

Em 1884 Boltzmann demonstrou essa lei teoricamente para o caso de um corpo negro – i.e., um absorvedor ideal de radiação eletromagnética.

Lâmpada incandescente



Se assumirmos que toda potência elétrica P_L seja emitida como radiação:

$$P_{elétrico} = P_{rad} = \varepsilon A \sigma T^4$$

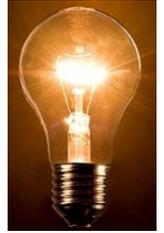
$$\text{Linearizando: } \log(P_{elétrico}) = \beta + \alpha \log(T)$$

$$\text{Como determinar a potência elétrica: } P_L = i_L V_L$$

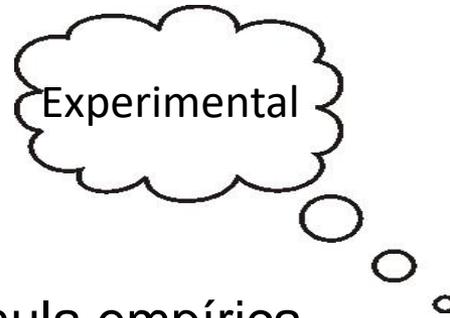
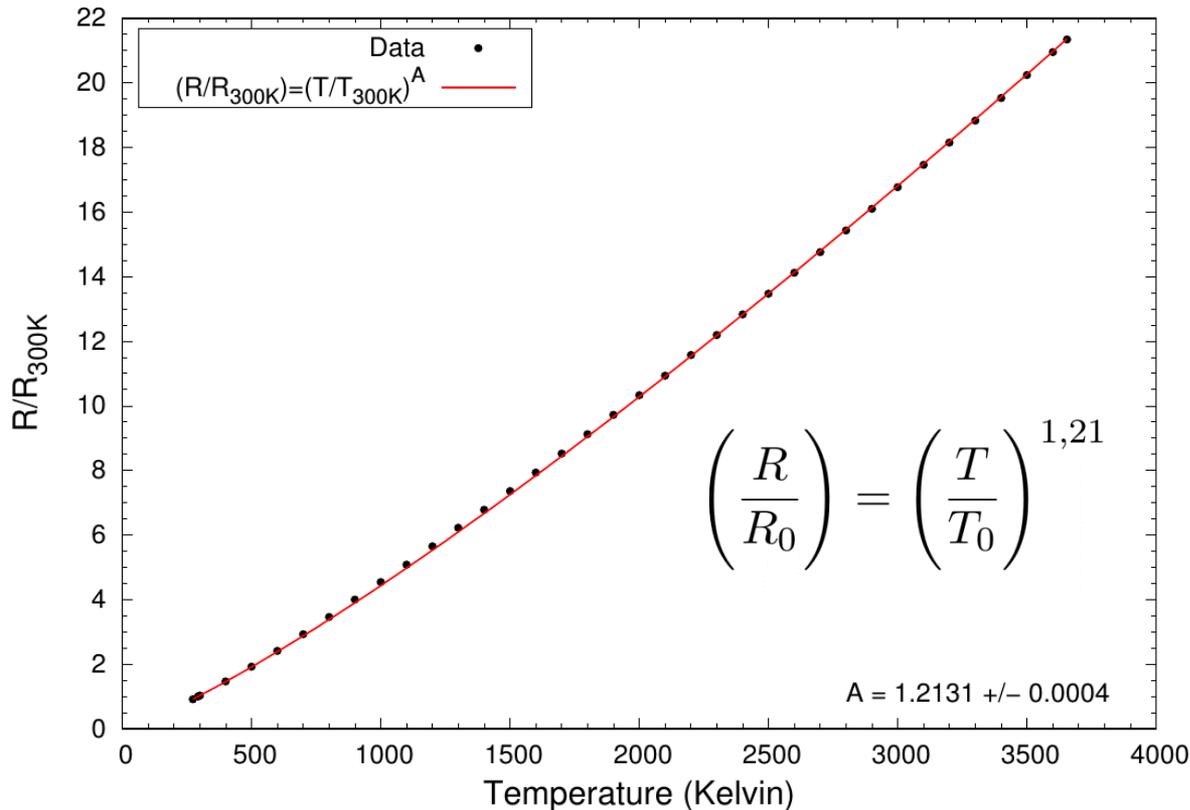
→ Como determinar a Temperatura???



Lâmpada incandescente



→ Temperatura do filamento da lâmpada de tungstênio



Fórmula empírica,
obtida a partir de
dados experimentais

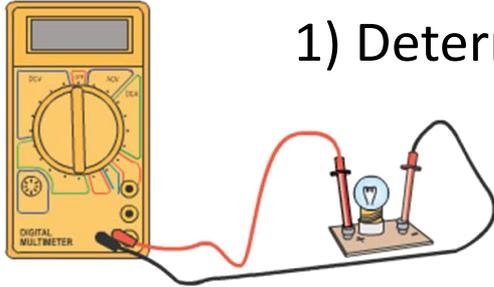
R= resistência do filamento na temperatura T

R₀= resistência do filamento na temperatura T₀ → Como medir ???

Curva Característica: Lâmpada



1) Determinar R_0 pelo método direto: ohmímetro



2) Curva característica da lâmpada

3) Verificação da Lei de Stefan-Boltzmann

$V_L \pm \sigma_V$	$I_L \pm \sigma_I$	$R_L = V/I \pm \sigma_R$	$R/R_{300} \pm \sigma_{R/R_{300}}$	$T[K] \pm \sigma_T$	$Pot \pm \sigma_{Pot}$

$$\left(\frac{R}{R_0}\right) = \left(\frac{T}{T_0}\right)^{1,21}$$

$$\log(P_{elétrico}) = \beta + \alpha \log(T) \rightarrow \text{Determinar } \alpha$$

Lâmpada incandescente



- Determinar a resistência R_0 da lâmpada
 - Ohmímetro

- Determinar a curva característica (gráfico $V \times i$)

- Verificação do expoente da Lei Stefan-Boltzmann

Bom Experimento!



Referências

D. Halliday, R. Resnick e J. Merrill. *Fundamentos de Física –3 Eletromagnetismo*. Livros Técnicos e Científicos Editora S. A., Rio de Janeiro (1991)

P. A. Tipler, *Física 3*, Ed. Guanabara 2, Rio de Janeiro (1978)

APOSTILA DE LABORATÓRIO DE FÍSICA 3 (FEP213) de Nobuko Ueta, Manfredo H. Tabakniks, José Manuel de V. Martins e José Henrique Vuolo, editada em 1993.

<http://portal.if.usp.br/labdid/pt-br/manuais>