



Física Experimental III

Notas de aula: <http://www.dfn.if.usp.br/~suaide>

LabFlex: <http://www.dfn.if.usp.br/curso/LabFlex>

Aula 3

Prof. Alexandre Suaide

Ramal: 7072

Ed. Oscar Sala (Pelletron), sala 246



Análise com consistência de modelo

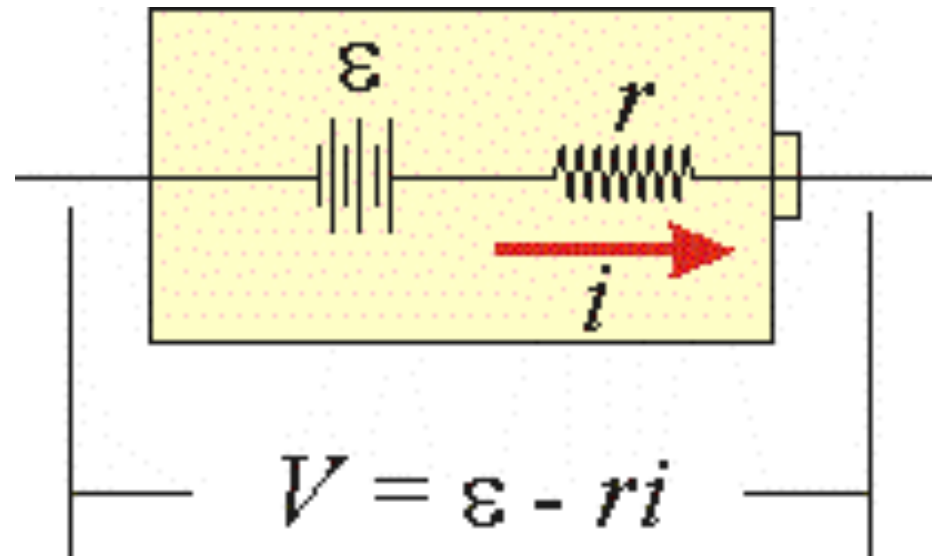
- Quando analisamos dados devemos ter em mente as seguintes idéias:
 - Qual o modelo que queremos aplicar a estes dados?
 - O que este modelo prevê?
 - As grandezas derivadas dos dados também se ajustam ao modelo proposto?
- Tem havido a prática de sempre buscar a melhor função para o ajuste
 - Estas funções são consistentes com o modelo?
 - Qual o significado disto do ponto de vista físico?

Um modelo para a pilha

- Construindo um modelo simples para a pilha
 - A tensão elétrica vem de reações químicas
 - Podemos assumir que esta tensão é constante e depende das características químicas
 - Quando passa corrente pela pilha há resistência pois o material que a compõe não é condutor ideal
 - Então a tensão medida exteriormente sofre uma queda por haver esta resistência

Um modelo para a pilha

- Construindo um modelo simples para a pilha



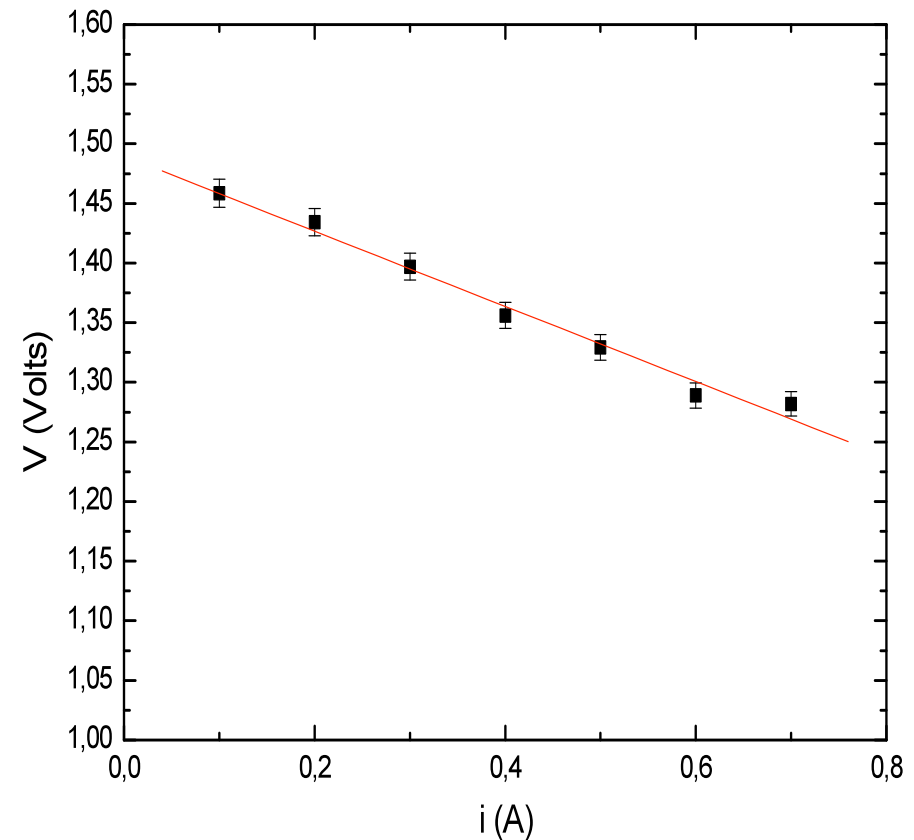
- Vamos testar este modelo com dados e realizar previsões

Curva característica da pilha

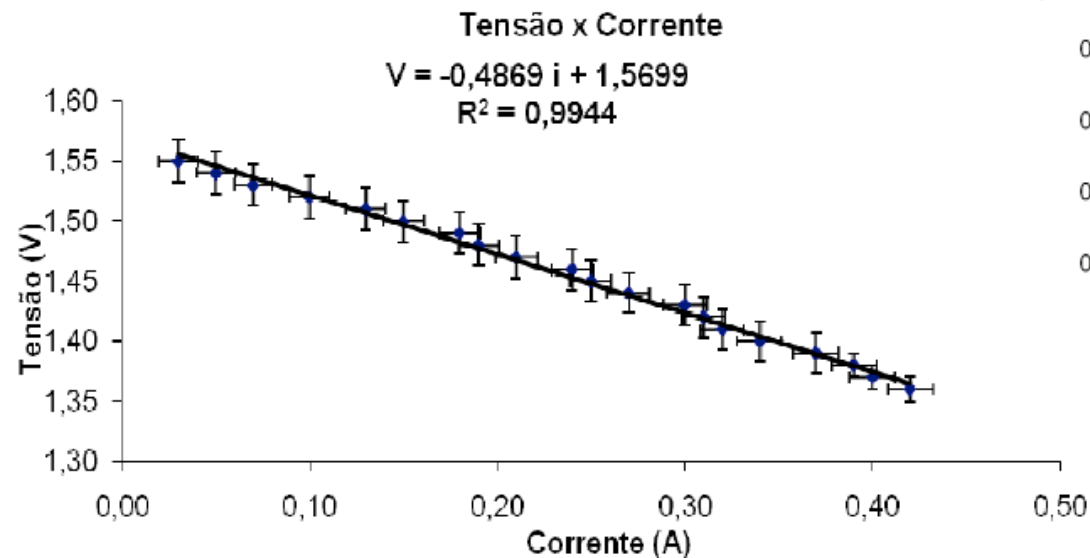
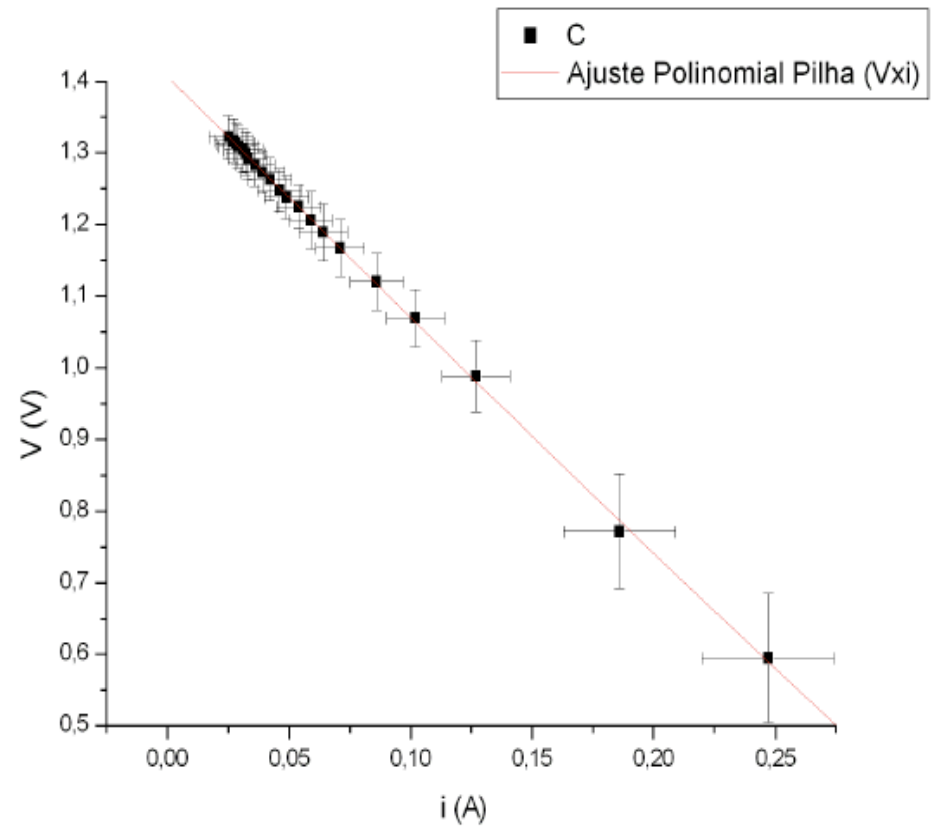
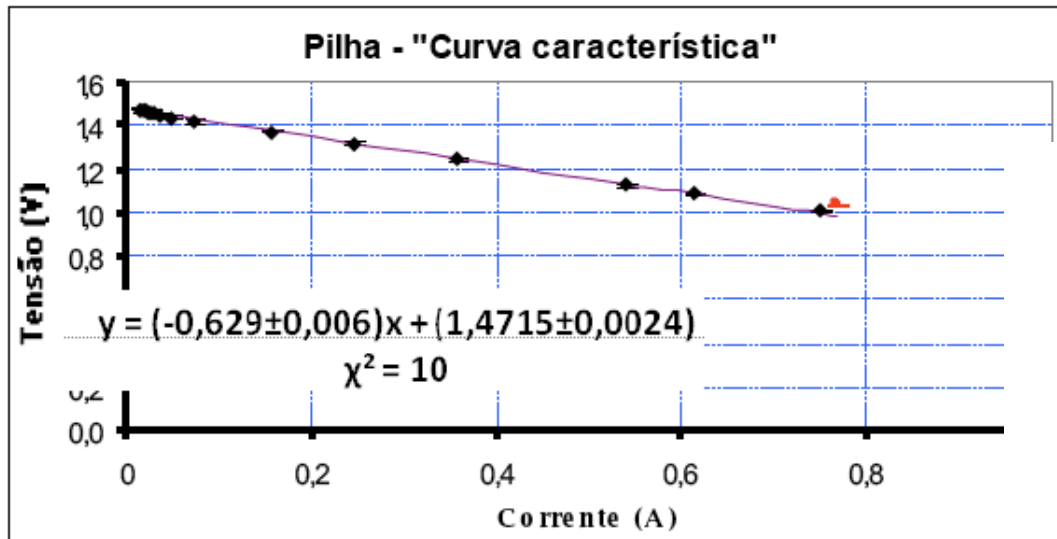
- Se o modelo for razoável, esperamos obter uma reta da forma

$$V = \varepsilon - ri$$

- Onde ε e r podem ser extraídos a partir do ajuste da expressão acima nos dados experimentais.
- Primeiro passo, analisar as curvas características



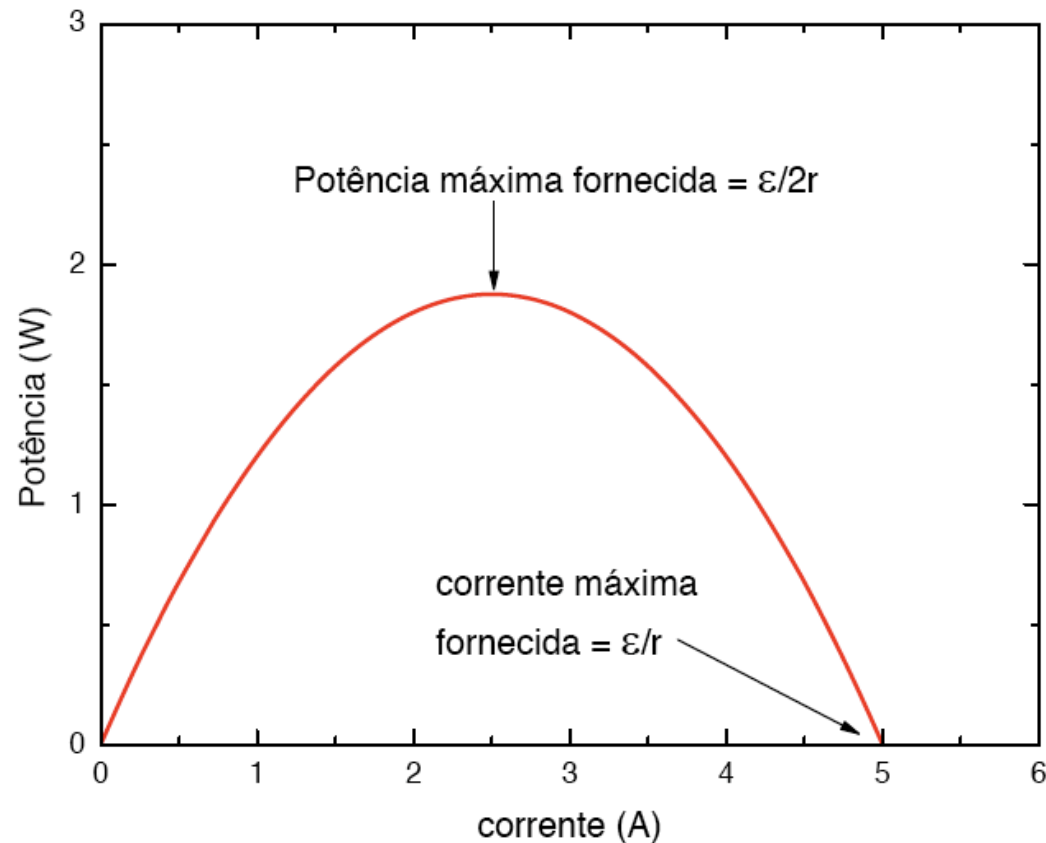
Curvas características



Potência fornecida por uma pilha

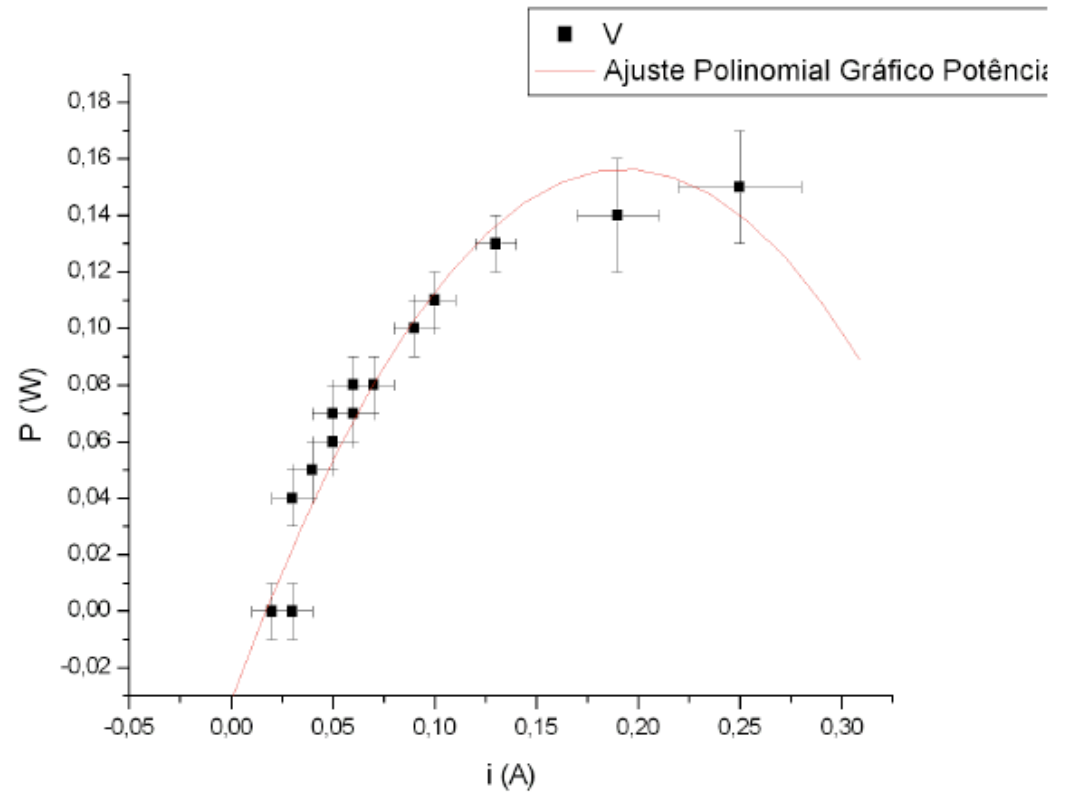
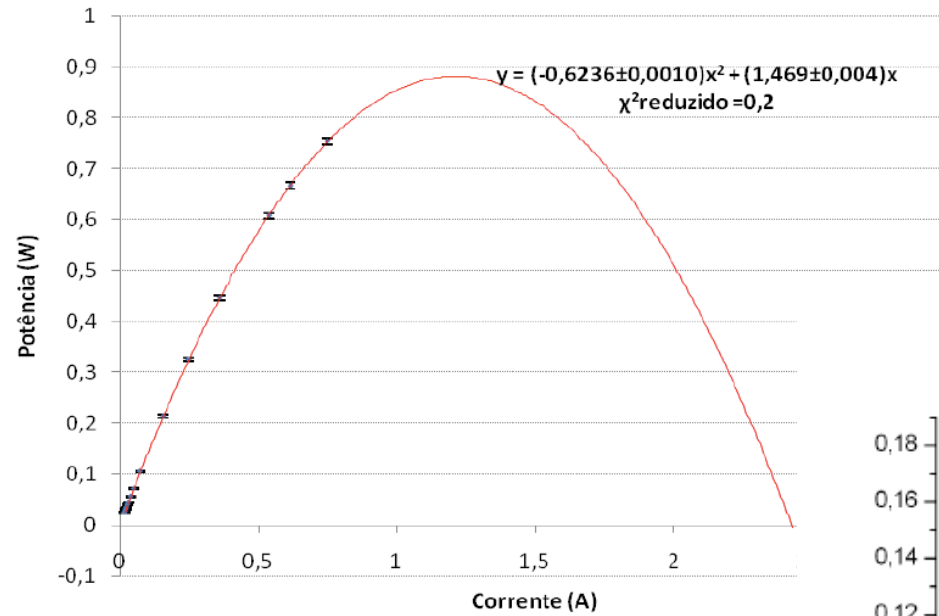
- Podemos escrever que

$$P = Vi = (\varepsilon - ri) \cdot i = \varepsilon i - ri^2$$

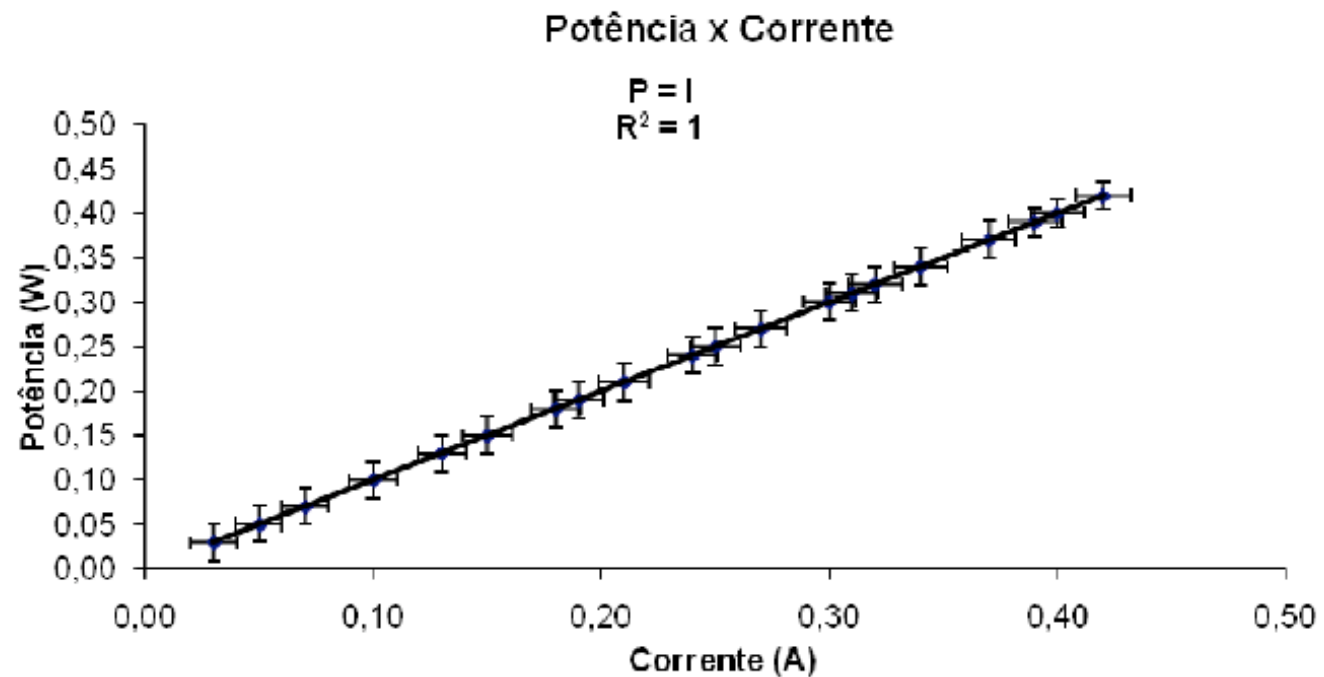
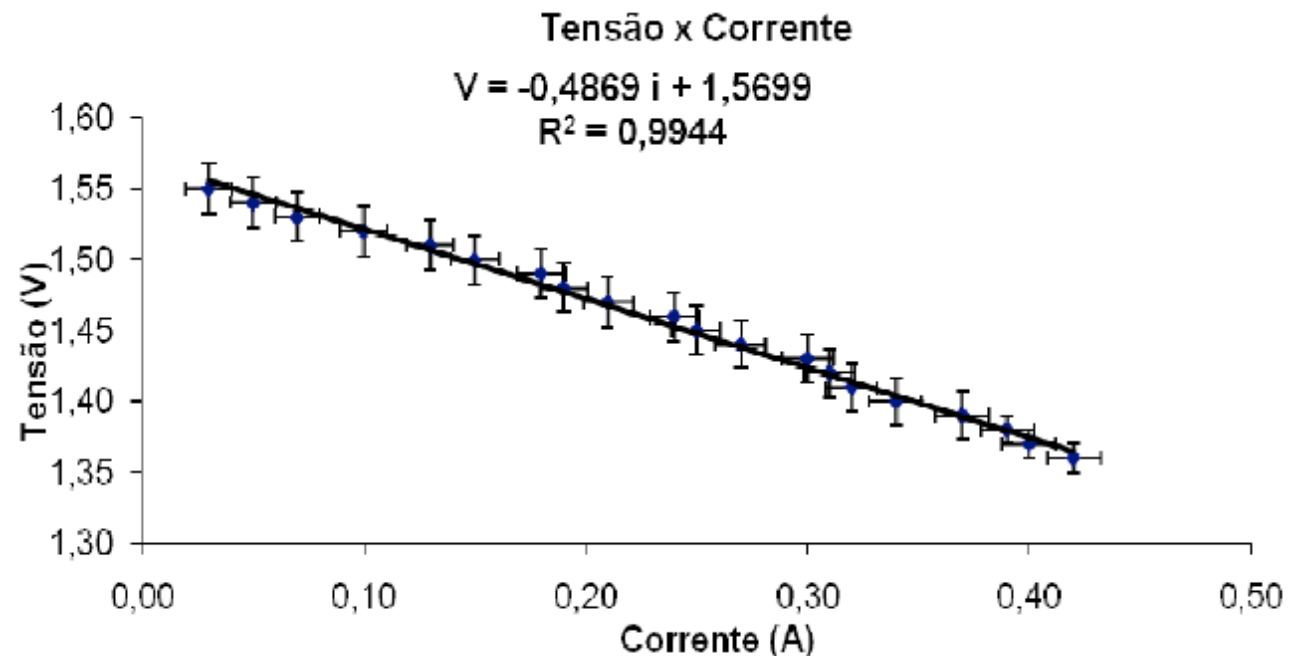


Gráficos de potência

Pilha - Potência x Corrente

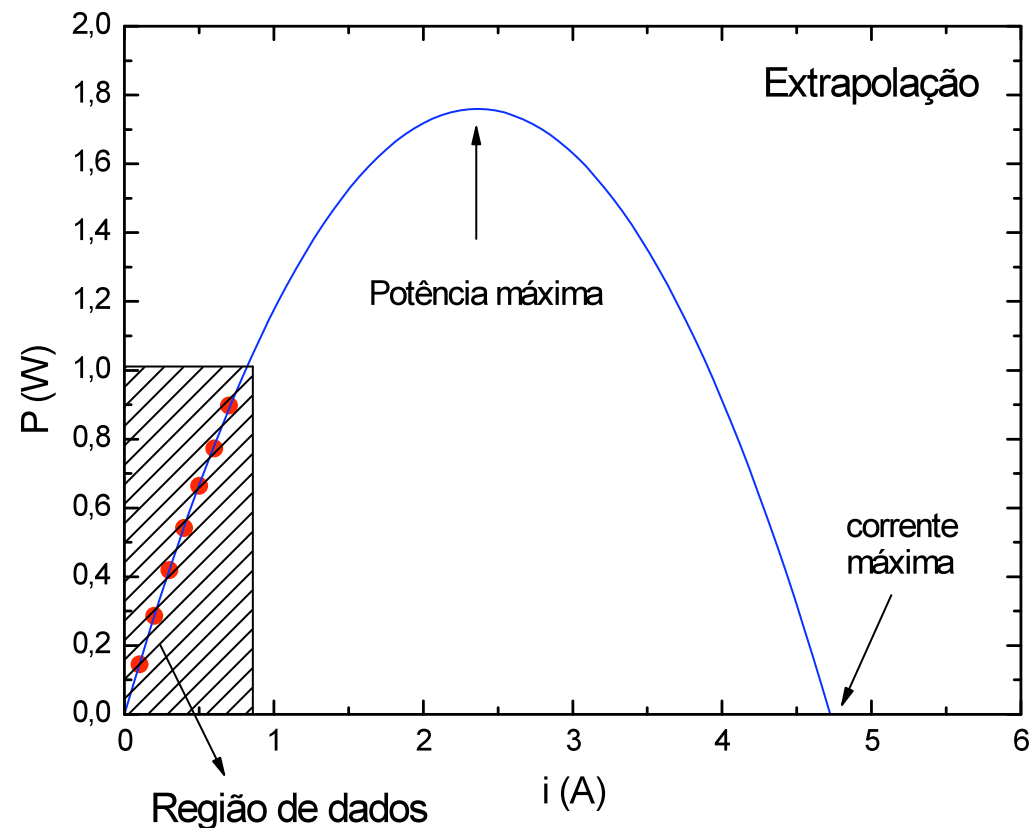


Consistência física



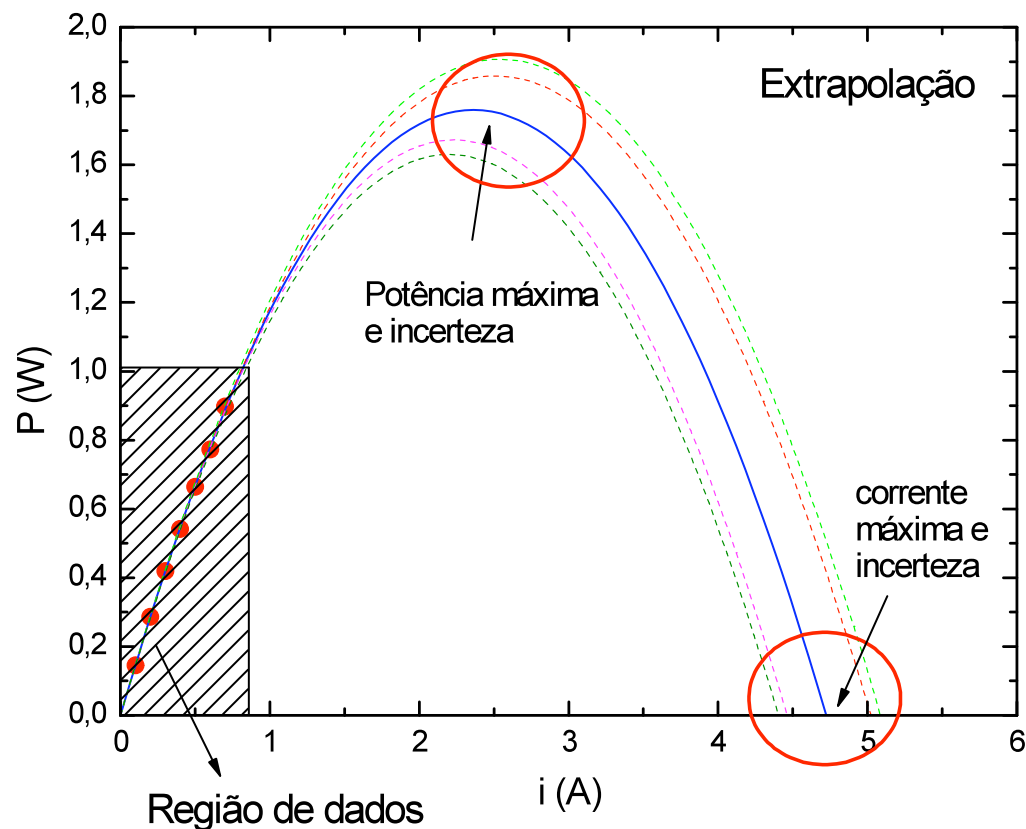
Extrapolação de curvas

- Muitas vezes o experimento impõe limitações quanto ao alcance dos dados. Temos que fazer extrapolações.

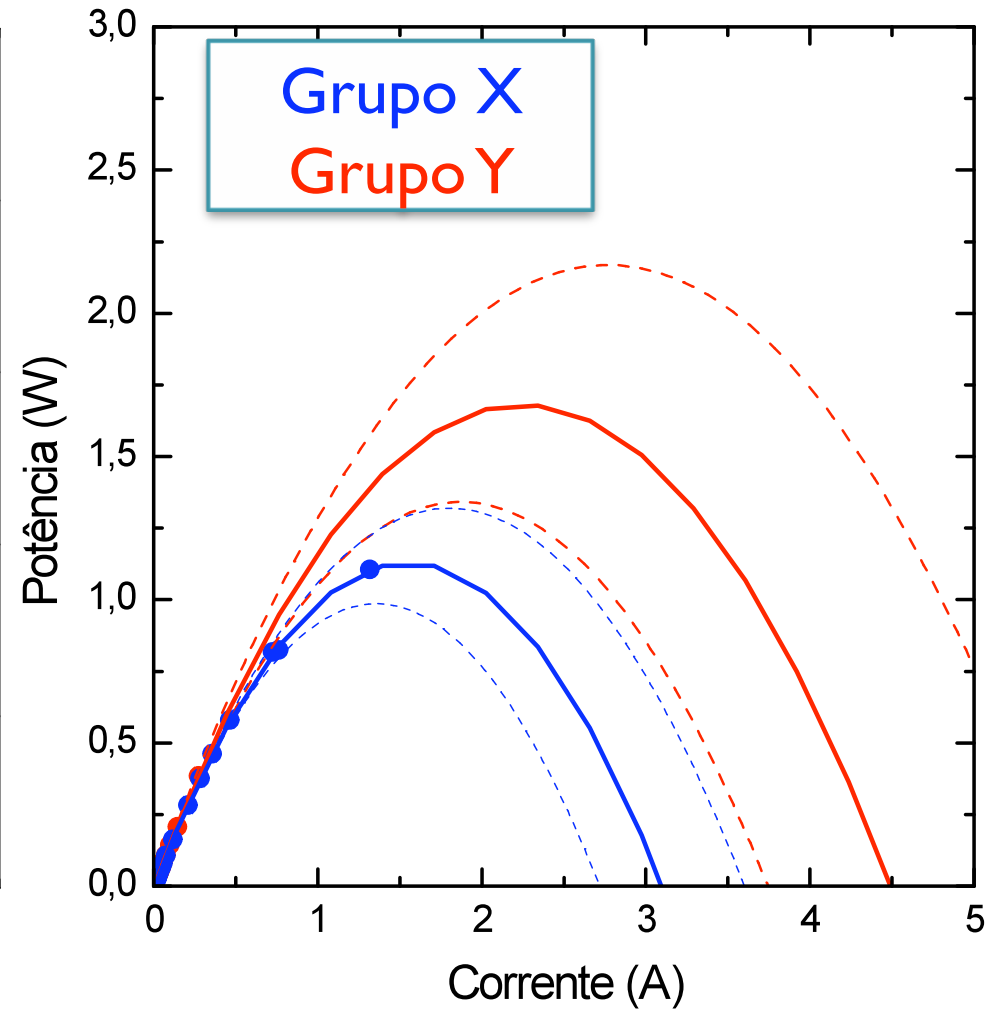
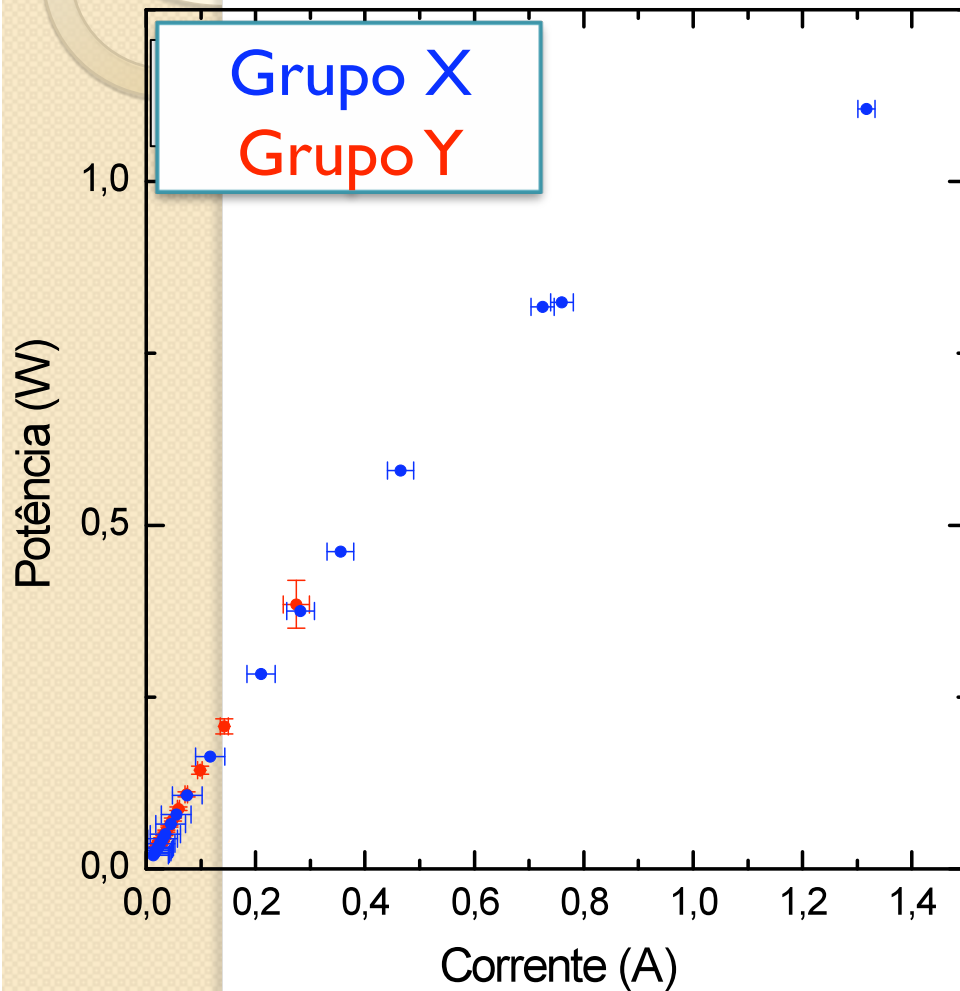


Extrapolação de curvas

- Como obter a incerteza na potência máxima na corrente máxima?
- Curvas abaixo:
 - $P(\varepsilon+\sigma_\varepsilon, r+\sigma_r)$; $P(\varepsilon-\sigma_\varepsilon, r-\sigma_r)$; $P(\varepsilon+\sigma_\varepsilon, r-\sigma_r)$ e $P(\varepsilon-\sigma_\varepsilon, r+\sigma_r)$



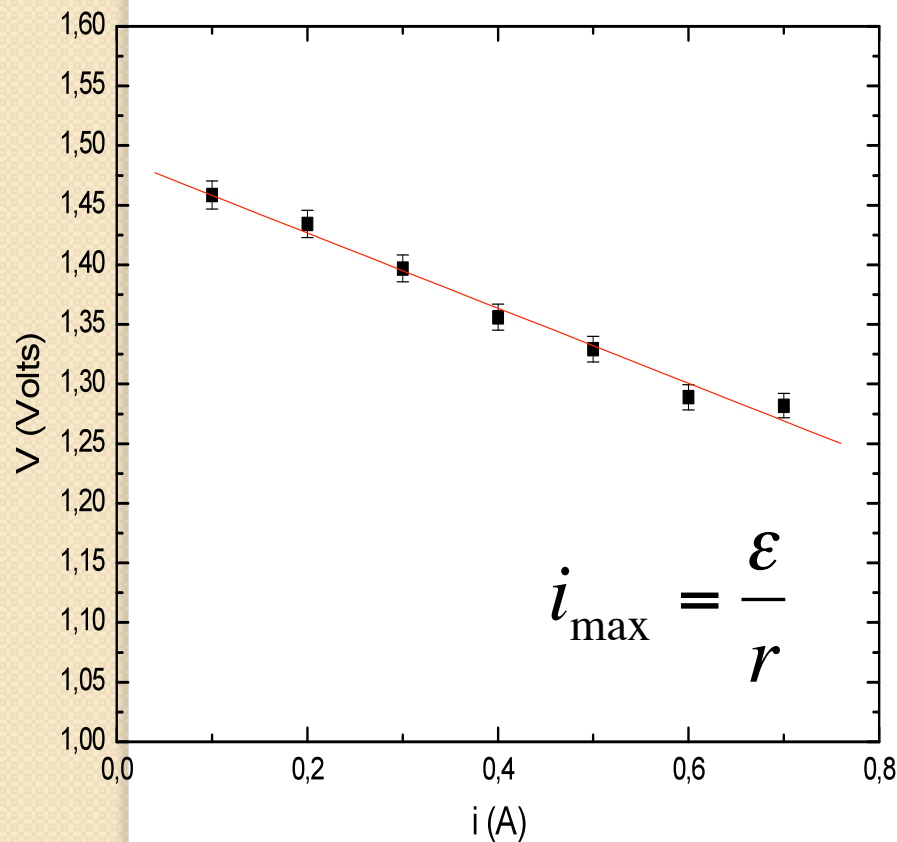
Comparação dos resultados. Incertezas em extrapolações



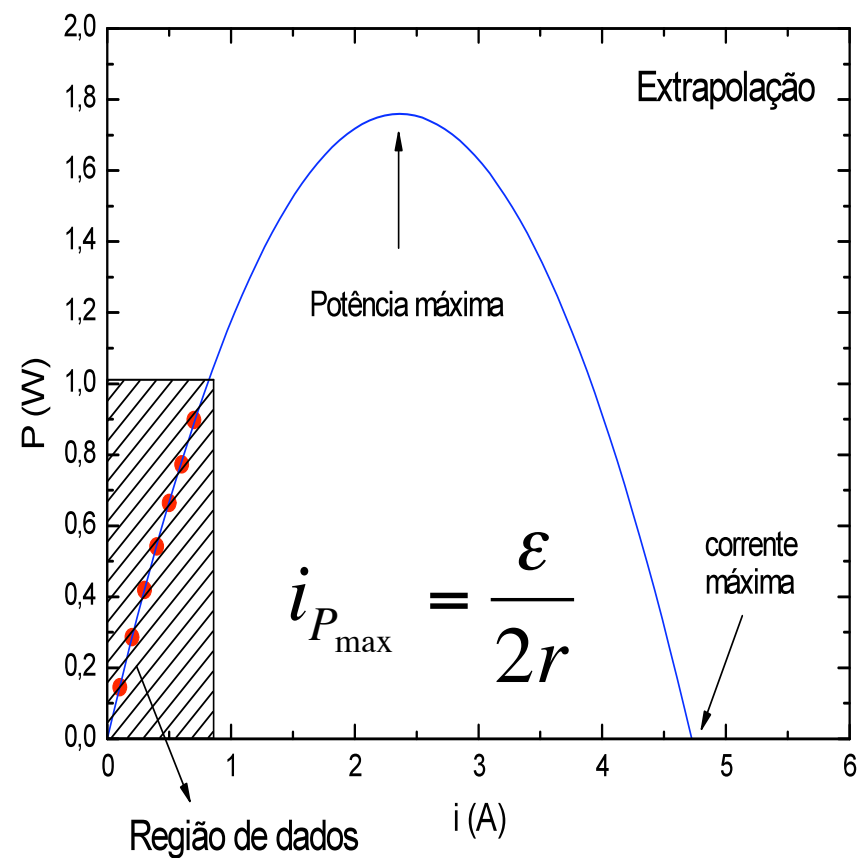
Comparação de resultados: teste de consistência da análise

- Os parâmetros obtidos dos ajustes são consistentes

$$V = \varepsilon - ri$$




$$P = \varepsilon i - ri^2$$



Resultados

ε [V]	R [Ω]	P _{MAX} [W]
1,3981 \pm 0,0005	0,8129 \pm 0,0026	0,609
1,569	0,4869	1,26
1,423 \pm 0,006	0,56 \pm 0,06	0,90
1,390 \pm 0,002	0,593 \pm 0,023	0,81
1,4306 \pm 0,0019	0,460 \pm 0,008	1,11
1,4715 \pm 0,0024	0,629 \pm 0,006	0,86
1,50 \pm 0,06	1,5 \pm 0,3	0,375
1,388 \pm 0,008	0,68 \pm 0,08	0,71
1,403 \pm 0,014	3,31 \pm 0,25	0,15

Valores em vermelho foram calculados pelo prof usando a expressão $P = \varepsilon^2/4r$



Lâmpada incandescente:

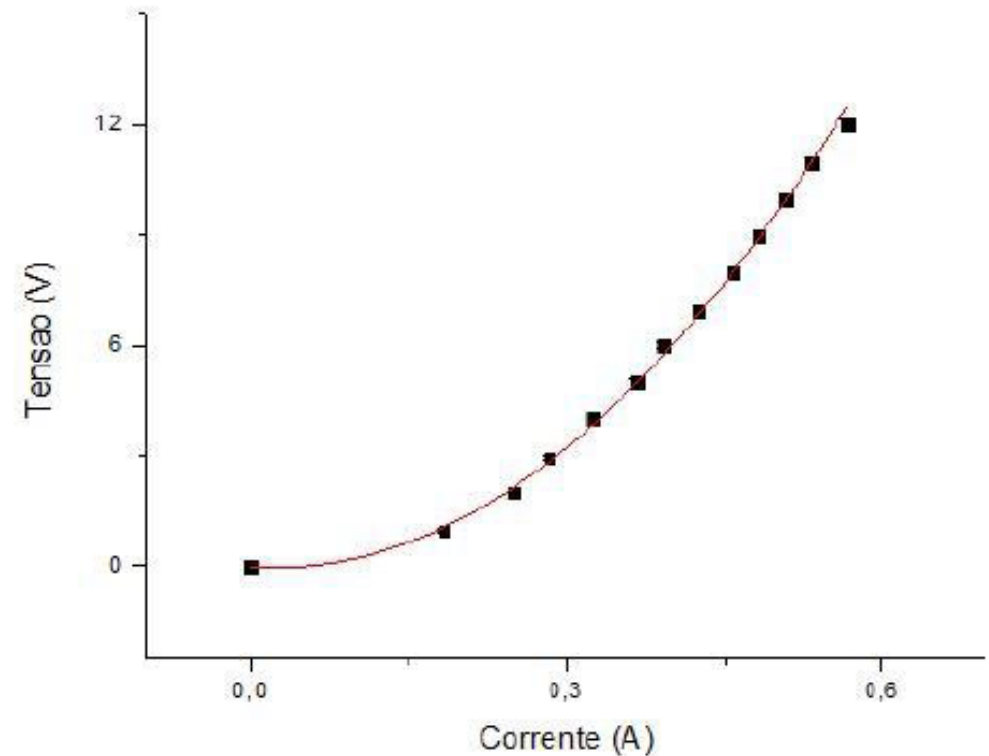
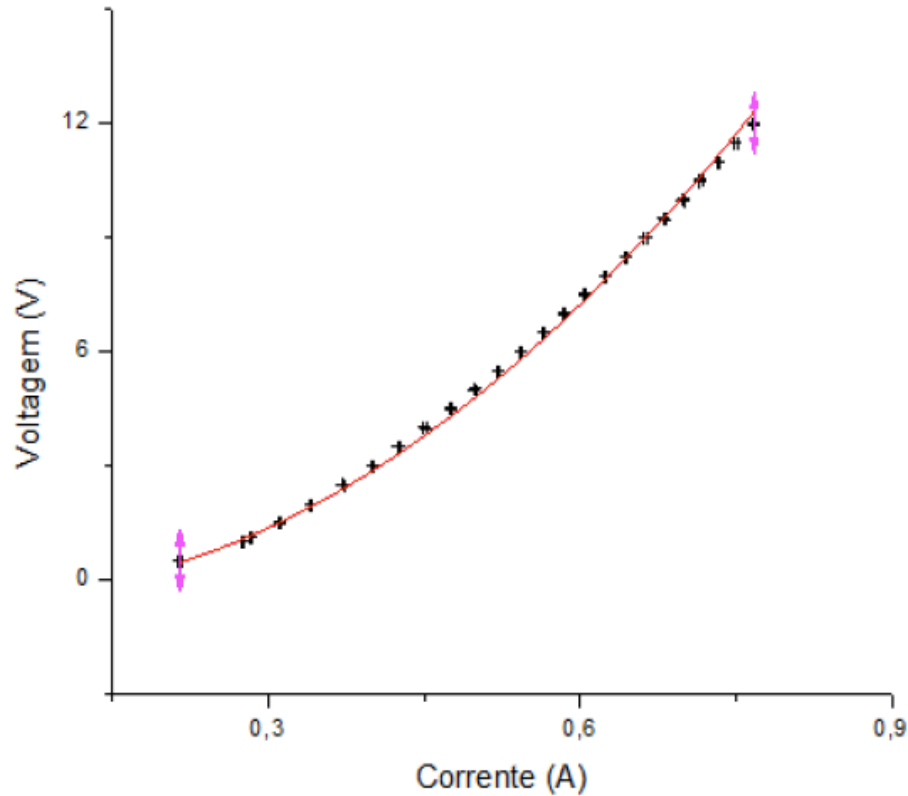
Potência, temperatura, troca de calor



Curvas características

A lâmpada não é ôhmica.

Precisa de ajuste de reta para demonstrar isso?



Resistência da lâmpada

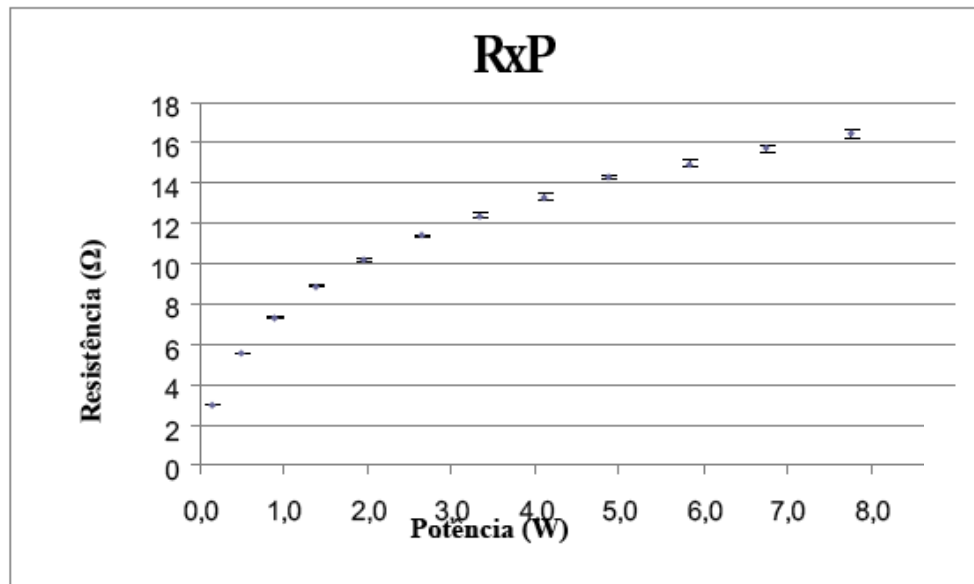
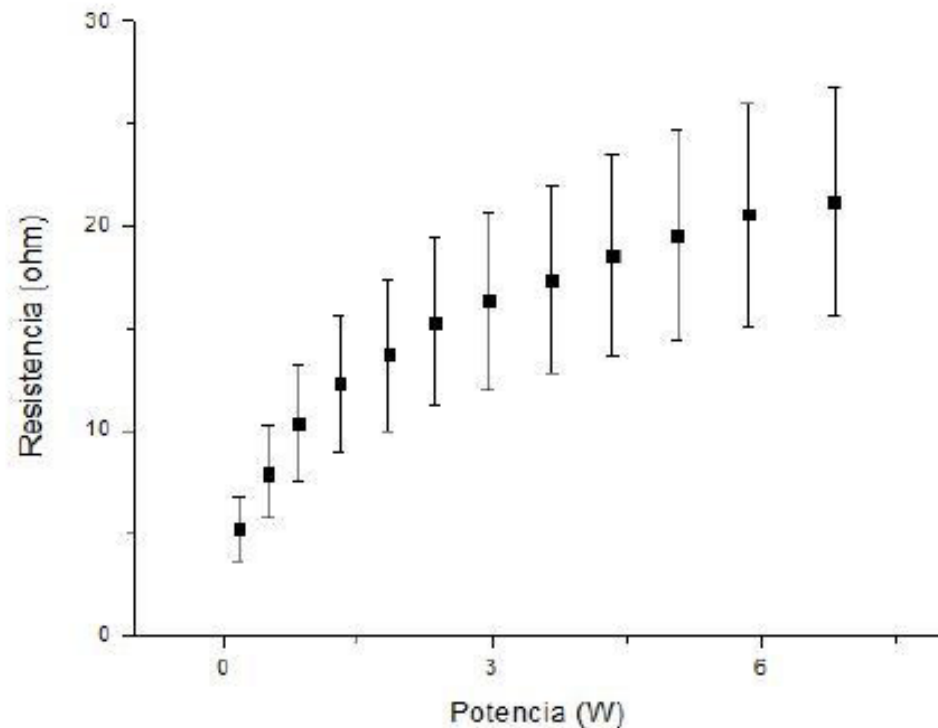


Gráfico 2 – resistência apresentada em função da potência fornecida.

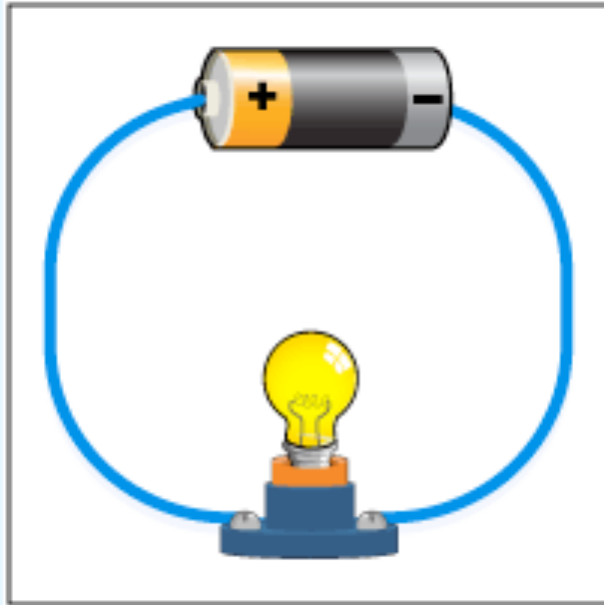
Resistência aumenta com potência

Porque as incertezas são tão discrepantes?

Tentem melhorar a medida de R. Vai ajudar muito nessa semana!!!!



E o circuito lâmpada + pilha?



Posso medir?

O que acontece se eu colocar voltímetros e amperímetros nesse circuito? A corrente no circuito será a mesma?

Como determinar a corrente e tensão na lâmpada?

No circuito acima temos que

$$V_L = V_P$$

$$i_L = i_P$$

Curvas características

E o circuito lâmpada + pilha?

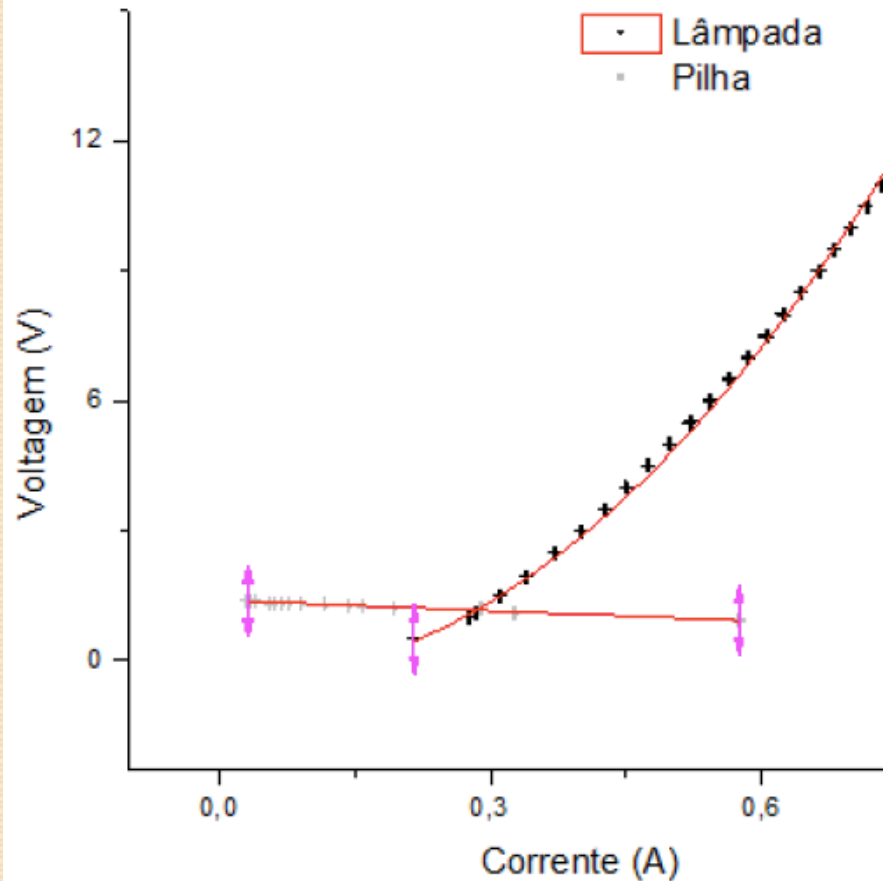
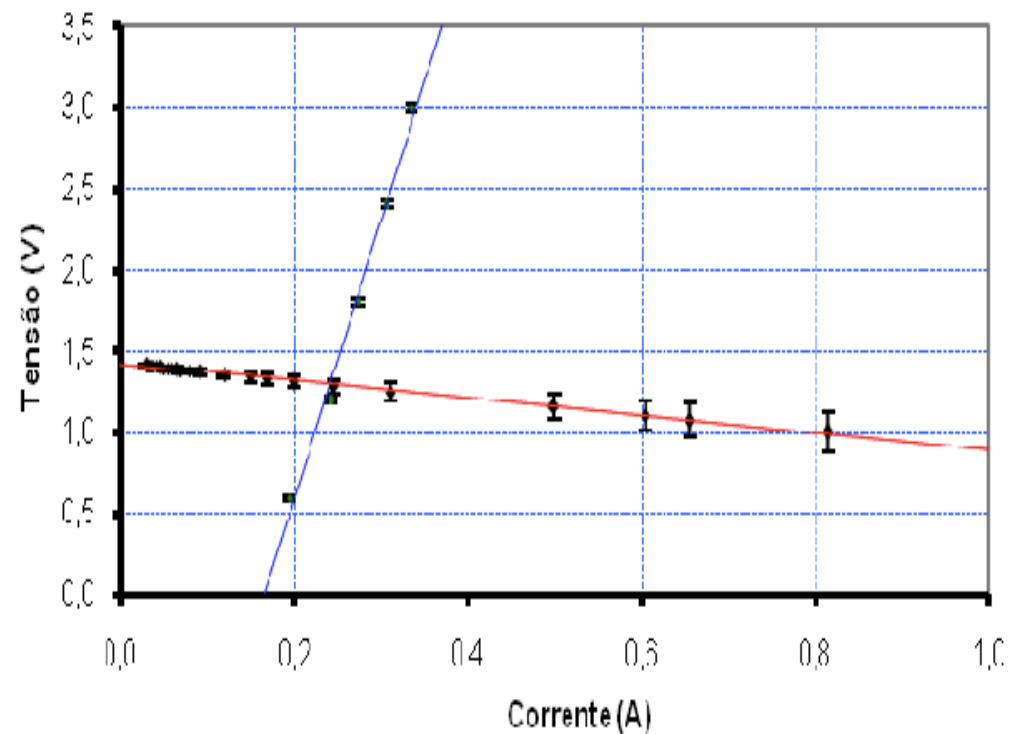


Gráfico 6 - Intersecção entre as curvas características da lâmpada e da pilha



Quando a lâmpada acende?

P [W]	I [A]
$0,3192 \pm 0,0019$	$0,2840 \pm 0,0011$
$0,34 \pm 0,10 / 0,41 \pm 0,11$	
	$0,27 \pm 0,08$
$0,96 \pm 0,06$	
$0,284 \pm 0,012$	$0,268 \pm 0,011$
	$0,439 \pm 0,002$
$0,67 / 0,26$	$0,17 - 0,45$
1,5	0,35
0,5	



Transferência de energia (calor) para o meio

- Ao transferir potência para uma lâmpada (ou resistor) esta potência tem que ser dissipada. Como?
- 3 métodos de troca de calor
 - Condução térmica
 - Convecção
 - Irradiação

Troca de calor com o meio

- 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

Troca de calor em uma lâmpada comum

- Filamento aquecido + gás
 - Irradiação do filamento aquecido
 - Condução pelo filamento/suporte
 - Convecção no gás
- Como investigar estas hipóteses?
 - Medindo potência em função da temperatura da lâmpada
 - O que nós esperamos desta curva?
 - O que é esperado para condução, convecção e irradiação?



Condução e convecção

- Lei de Fourier para condução de calor
 - Transferência de energia entre moléculas de um corpo devido à diferença de temperatura
 - Fluxo de calor é proporcional à diferença de temperatura

$$\vec{q} = -k\nabla T \quad \xrightarrow{1 \text{ dimensão}} \quad q \sim -k \frac{\Delta T}{\Delta x}$$

\vec{q} = fluxo de calor [W/m²]

k = condutividade do material

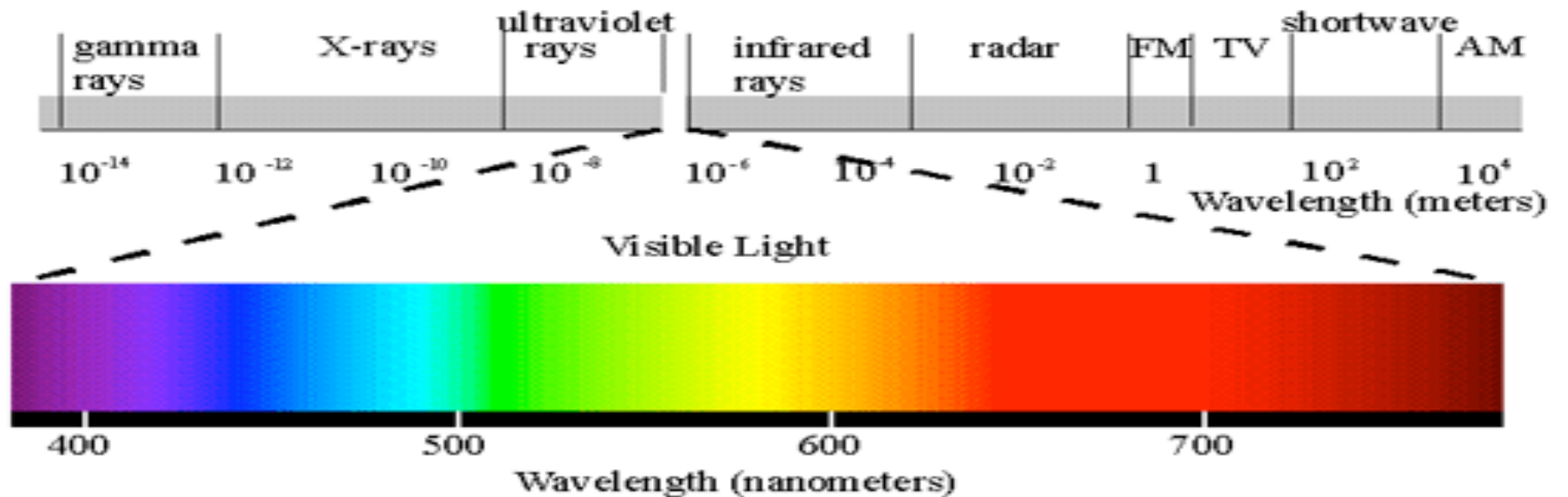
Condução e convecção

- Convecção ocorre com movimento de matéria.
Depende de vários fatores
 - Forma do volume
 - Direção de convecção (vertical/horizontal)
 - Gás ou líquido
 - Propriedades do fluido: densidade, viscosidade, condutividade térmica, calor específico, etc.
 - Velocidade de convecção: laminar ou turbulento
 - Se há evaporação, condensação, etc.

$$P_{convecção} = C\Delta T^\alpha$$

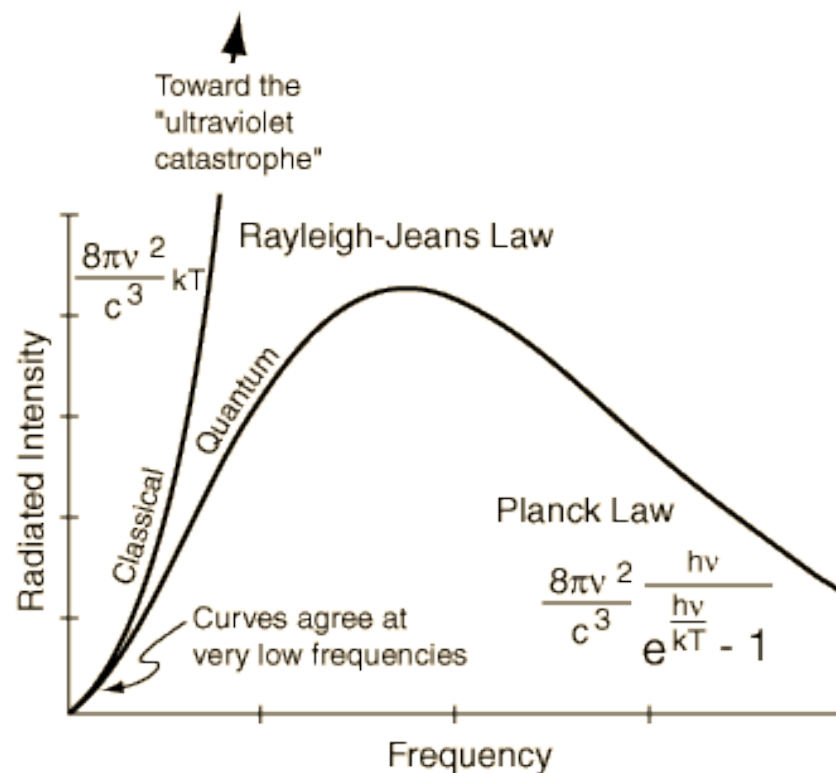
O que é irradiação térmica?

- Qualquer corpo emite radiação eletromagnética
 - Agitação das moléculas (cargas) gera radiação EM.
 - Os comprimentos de onda desta radiação dependem da temperatura do corpo
 - Luz visível corresponde a uma pequena faixa de comprimentos de onda



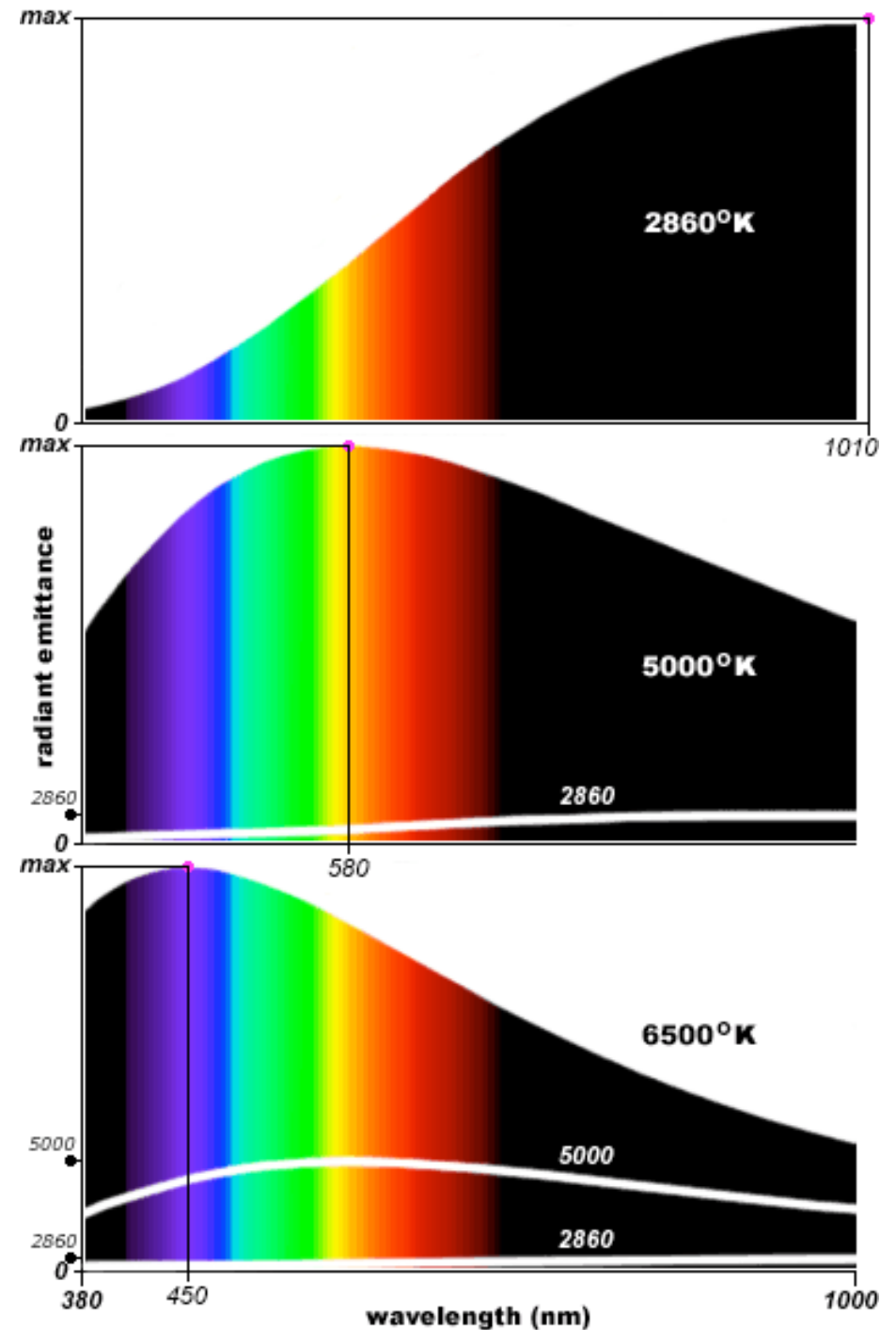
Irradiação eletromagnética: O corpo negro

- Final do séc. XIX
 - Revolução industrial, metalurgia
 - Estudar como corpos aquecidos emitiam radiação como forma de aprimorar processos industriais
 - Vários modelos mas todos incompletos
- Planck desvenda o problema em 1901
 - Radiação de corpo negro
 - Iniciou a Mecânica Quântica



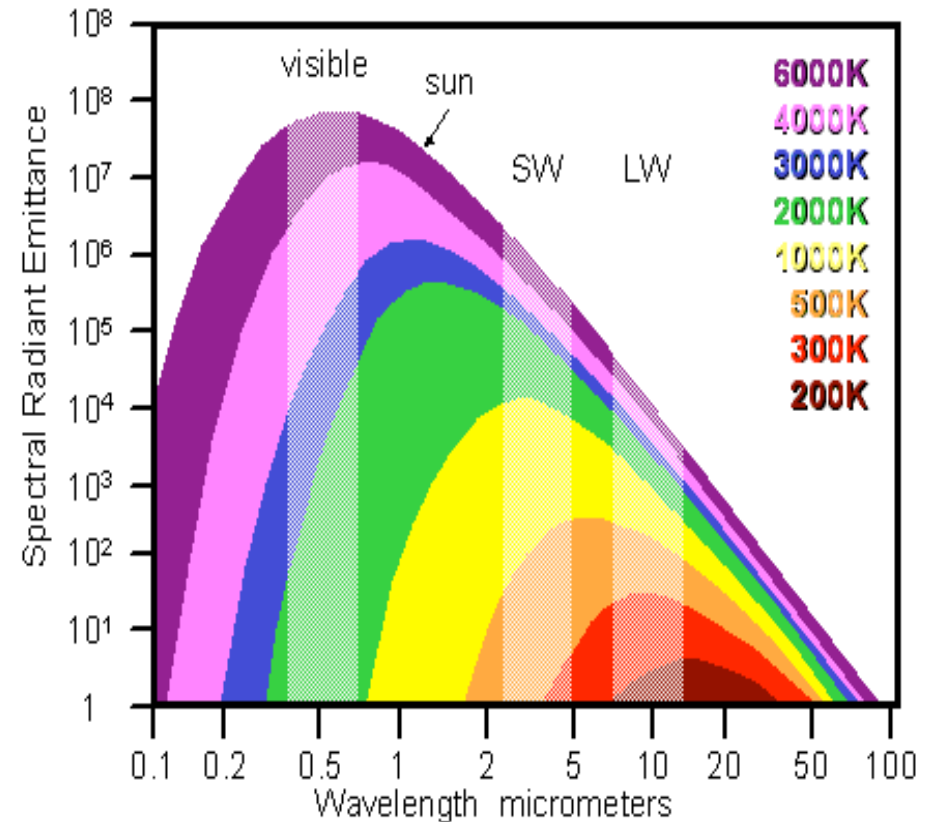
Temperatura de cor

- Corpos mais frios emitem muito no infra-vermelho
- Corpos mais quentes emitem mais para o visível e ultra-violeta
- Dependendo da cor do corpo, podemos associar uma temperatura



Lei de Stephan-Boltzmann

- Quanto maior a temperatura, maior a potência emitida
- Comprimento de onda máximo depende da temperatura
- Um corpo negro que dissipa potência (por unidade de área) por radiação EM o faz em uma proporção tal que:



$$P / S = \sigma T^4$$

Balanço energético por emissão / absorção de radiação

- Um corpo a temperatura T em um meio em temperatura T_0 .
 - Emite radiação para o meio mas também absorve radiação do próprio meio.
- Emissão de radiação (Lei de S.B.)
 - ε é a emissividade total do corpo e depende de forma, material, etc. $\varepsilon = 1$ significa um corpo negro ideal. S é a área do corpo.

$$P_{emitida} = \varepsilon S \sigma T^4$$

- Absorção de radiação do meio (Lei de S.B.)
 - μ é a absorptância total do corpo e depende de forma, material, etc. $\mu = 1$ significa um corpo negro ideal.

$$P_{absorvida} = \mu S \sigma T_0^4$$

Balanço energético por emissão /absorção de radiação

- O balanço energético resulta em

$$P_{liquida} = P_{emitida} - P_{absorvida}$$

$$P_{liquida} = S\sigma(\epsilon T^4 - \mu T_0^4)$$

- Na prática, como não sabemos muitas das constantes:

$$P_{liquida} = K_1 T^4 - K_2 T_0^4$$

- Ou, se $T \gg T_0$.

$$P_{liquida} \approx K_1 T^4$$

Considerando todos efeitos

- Levando em consideração os três métodos de troca de calor

$$P_{total} = P_{condução} + P_{convecção} + P_{irradiação}$$

- Podemos usar (?) argumentos físicos e SUPOR que a condução seja baixa, ou seja:

$$P_{total} = P_{convecção} + P_{irradiação}$$

Considerando todos efeitos

- Assim, temos que:

$$P_{total} = C\Delta T^\alpha + K_1T^4 - K_2T_0^4$$

- Assim, para estudar os mecanismos de troca de calor de uma lâmpada precisamos estudar a dependência da potência com a temperatura do filamento

Como estudar essa dependência?

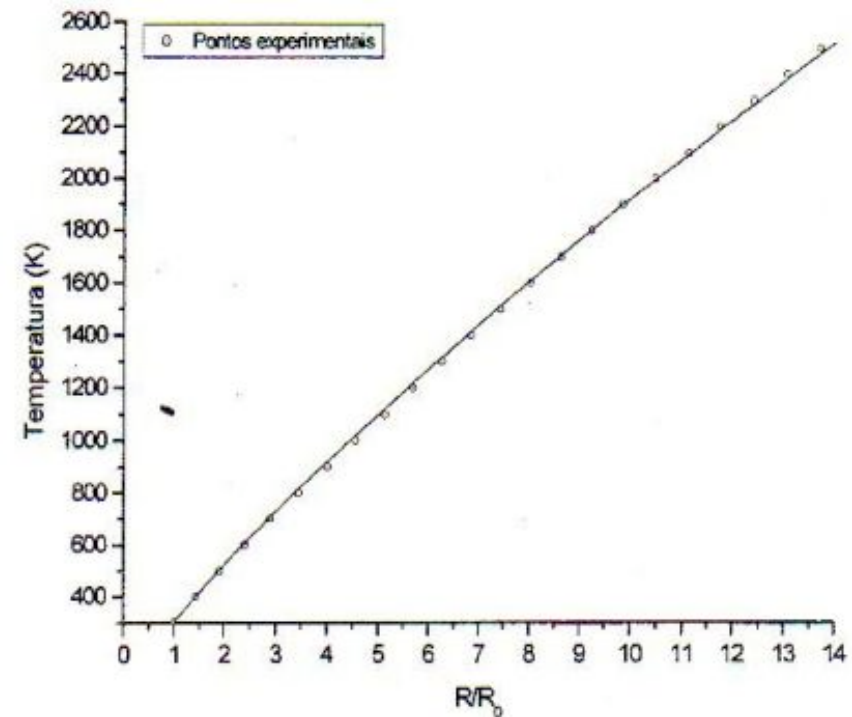
- Precisamos medir P . Como?
 - Utilizamos o nosso conhecimento de circuitos elétricos
 - $P = V i$
- Precisamos medir T . Como?
 - Termômetro?
 - A temperatura do filamento é a mesma do invólucro da lâmpada?
 - Que outras alternativas nós temos?

Dependência da resistência do tungstênio com a temperatura do filamento

- Fórmula empírica, obtida a partir de dados experimentais

$$\frac{R}{R_0} = \left(\frac{T}{T_0} \right)^{1,24}$$

- R = resistência do filamento na temperatura T (Kelvin)
- R_0 = resistência do filamento na temperatura T_0 (Kelvin)
 - T_0 = temperatura ambiente
 - Depende da fabricação da lâmpada



Ver link “outros documentos” no site do LabFlex para referências experimentais

Como medir R_0 ? Não posso esquentar a lâmpada

- Ohmímetro
 - A potência do ohmímetro é realmente baixa para assegurar que a lâmpada não esquentou?
- Extrapolação da curva para correntes muito pequenas
 - Da curva característica posso obter $R \times i$ e extrapolar para $i = 0$.
 - Qual a precisão desse procedimento?
- Realizar medidas em correntes realmente baixas
 - Como limitar a corrente?
 - Utilizando um resistor elevado entre 5 e 10 k Ω .
 - Qual a precisão desse método já que $V_{l\grave{a}mpada} \ll V_R$?



Objetivos da semana

- Estudar quais os mecanismos de consumo de energia pela lâmpada.
 - Quais são os mecanismos principais de transferência de calor?
 - Convecção, irradiação?
 - Iniciar o estudo da irradiação térmica de uma lâmpada.
 - A Lei de S.B. se aplica à lâmpada?
 - Quando de irradiação se torna importante como mecanismo de transferência de energia?

Atividades

- Medir o valor de R_0 da lâmpada usando os três métodos discutidos
 - Compare os resultados e discuta qual é o resultado mais adequado a ser utilizado
 - Cuidado com lâmpada quente – Isso aumenta o R_0 .
- Obter o gráfico mais adequado de potência em função da temperatura da lâmpada
 - Há convecção? Há irradiação? Discuta o gráfico obtido

Atividades

- Havendo convecção, estabeleça um procedimento para subtrair a potência correspondente do gráfico. Discuta esse procedimento.
 - Dica: O mecanismo de convecção depende de ΔT enquanto irradiação depende de T .
 - Dica: Veja “outros documentos” no site para um artigo de um experimento parecido a esse.
- Obtenha o gráfico de $P_{\text{irradiação}}$ em função da temperatura do filamento.
 - Faça o ajuste necessário e discuta se essa potência é compatível com a lei de S.B.