

# Exp. 1 – Lâmpada

## Parte 4 – Pilha e Lâmpada

### Aula 04 - 2009

<http://www.fap.if.usp.br/~hbarbosa>

**Prof. Henrique Barbosa**  
**Edifício Basílio Jafet - Sala 100**

**Tel. 3091-6647**

**[hbarbosa@if.usp.br](mailto:hbarbosa@if.usp.br)**

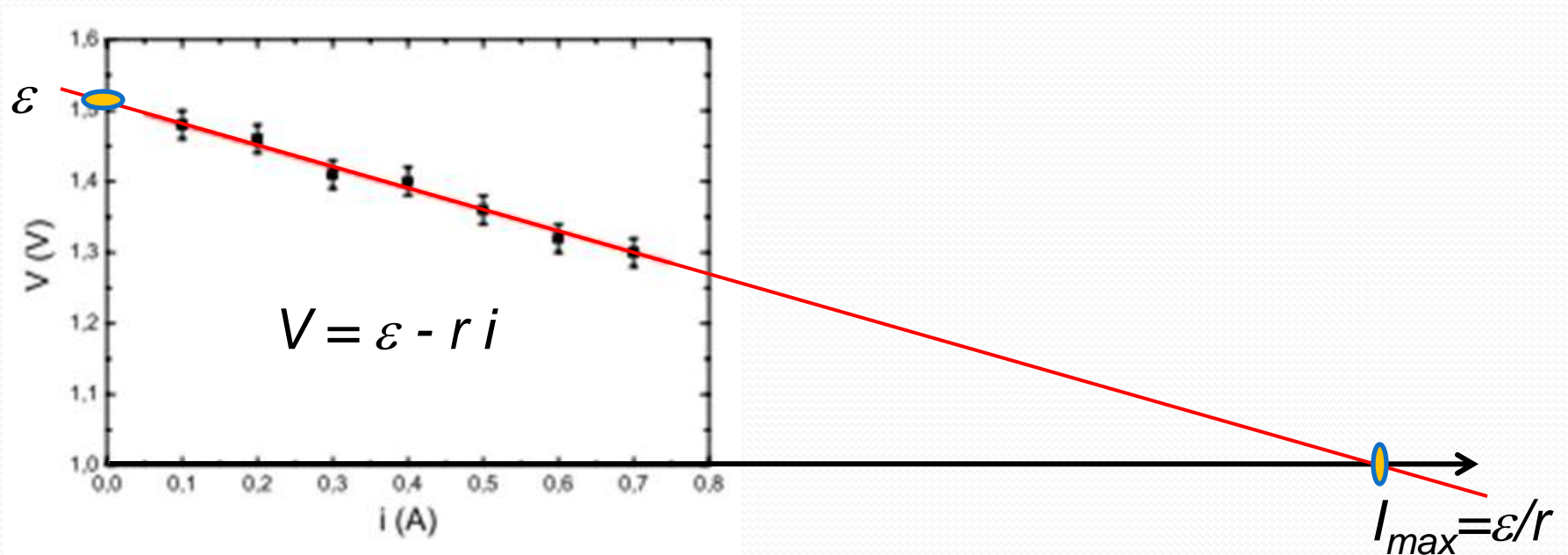


# SUMÁRIO DA AULA 4

- Ajuste das curvas  $V \times i$  e  $P \times i$ 
  - Quando se pode usar mínimos quadrados?
- Potência dissipada pela lâmpada
  - Discutir os resultados da última aula
- Radiação emitida por uma lâmpada
  - Potência emitida por uma lâmpada
  - Corpo negro
  - A Lâmpada
  - O espectrofotômetro
  - Atividades de semana

# Consistência da análise

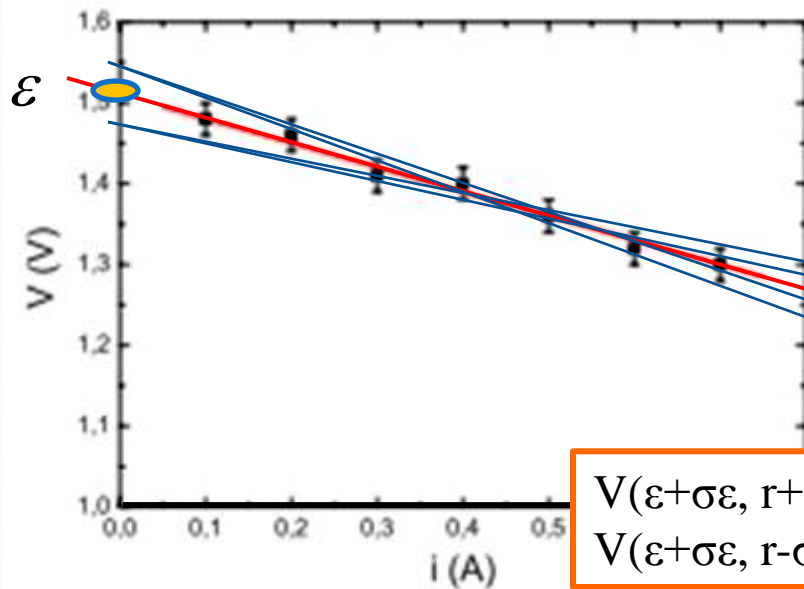
- Medimos  $V$  e  $i$ 
  - De maneira independente, com erros não correlacionados
- Há uma dependência linear.
  - Podemos usar MMQ para determinar os parâmetros  $\varepsilon, r$
  - $\varepsilon \pm \Delta\varepsilon$  e  $r \pm \Delta r$



# Consistência da análise

- $\varepsilon \pm \Delta\varepsilon$  e  $r \pm \Delta r$
- Mas qual o erro em  $I_{\max}$  ?
  - Podemos propagar os erros?
  - **NÃO! Pois  $\varepsilon$  e  $r$  não são independentes!!**

$$V = \varepsilon - r i$$



$V(\varepsilon + \sigma_\varepsilon, r + \sigma_r)$ ;  $V(\varepsilon - \sigma_\varepsilon, r - \sigma_r)$ ;  
 $V(\varepsilon + \sigma_\varepsilon, r - \sigma_r)$  e  $V(\varepsilon - \sigma_\varepsilon, r + \sigma_r)$

After 5 iterations the fit converged.  
 final sum of squares of residuals : 1.24456e-008  
 rel. change during last iteration : -5.58296e-015

degrees of freedom (FIT\_NDF) : 28  
 rms of residuals (FIT\_STDFIT) : 2.10828e-005  
 reduced chisquare) = WSSR/ndf : 4.44485e-010

Final set of parameters Asymptotic Standard Error  
 =====

a	= -0.000277589	+/- 3.313e-006	(1.194%)
b	= 0.00340543	+/- 1.072e-005	(0.3148%)

correlation matrix of the fit parameters:

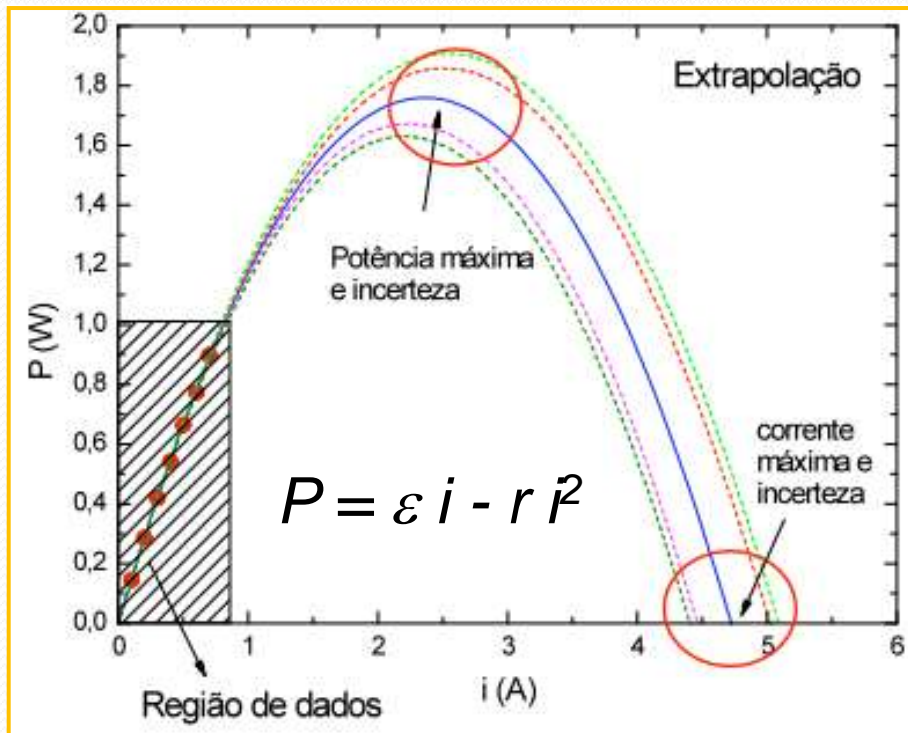
	a	b
a	1.000	
b	-0.933	1.000

Podemos calcular:  $I_{\max} = \varepsilon / r \dots$  Não podemos calcular  $\Delta I_{\max}$  pela propagação!

$I_{\max} = \varepsilon / r$

# Consistência da análise

- Porque o ajuste de  $P \times i$  não dá exatamente o mesmo resultado que o ajuste de  $V \times i$  ??
- Medimos  $V$  e  $i$ , mas calculamos  $P=V*i$  e  $\Delta P = P \sqrt{(\frac{\Delta I}{I})^2 + (\frac{\Delta V}{V})^2}$ 
  - $P$ ,  $i$ , e suas incertezas, **NÃO** são independentes!!



**NÃO** podemos usar o *Método dos Mínimos Quadrados* (MMQ) !!

O correto é usar algo como *Máximo Vero Semelhança*....

Como antes, também não podemos calcular  $\Delta P_{max}$  e  $\Delta I_{max}$  por propagação de erros se houver correlação entre os parâmetros)

# Experiência 1: Lâmpada

Queremos entender como uma lâmpada incandescente funciona. Para isso teremos 4 semanas:

## 1. Circuitos de Corrente Contínua

- Como medir grandezas elétricas?
- Os instrumentos de medida influenciam no resultado de uma medida? Como escolher o instrumento certo?

## 2. Pilha e Lâmpada

- Como varia a tensão de uma pilha ou em uma lâmpada em função da corrente?

## 3. Potência de uma lâmpada

- Como varia a potência da lâmpada em função da temperatura do filamento?

## 4. Radiação emitida por uma lâmpada

- Como varia a radiação emitida pela lâmpada em função do comprimento de onda da luz?

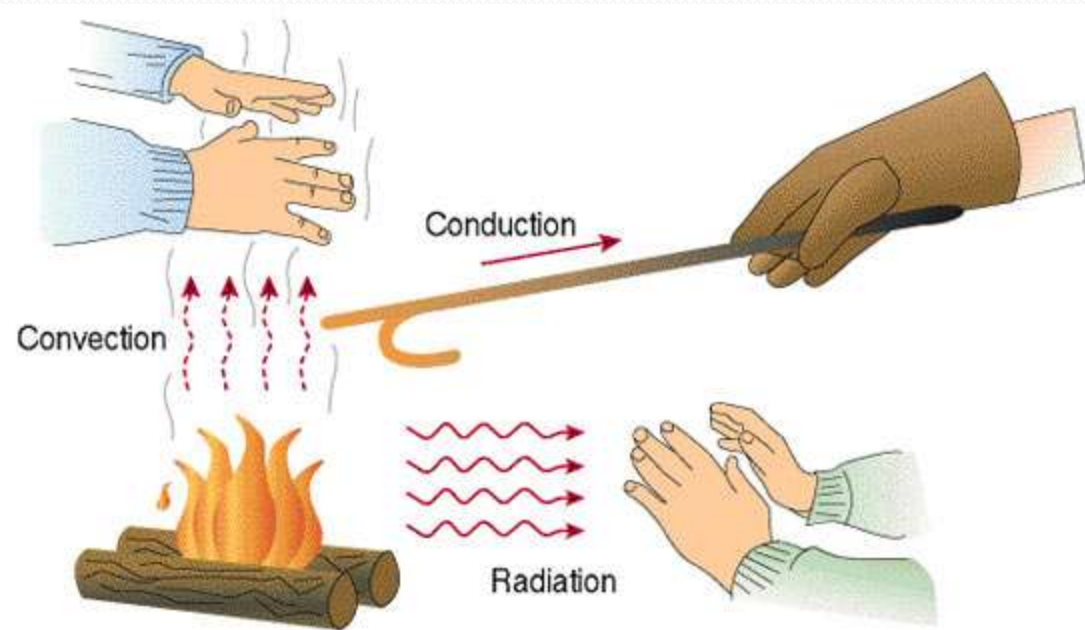
# Problema a ser investigado



- Quando utilizamos uma lâmpada transferimos potência elétrica ( $P = V i$ ) para a lâmpada.
- Como esta potência é utilizada?
  - Existe uma relação entre a potência e o aquecimento da lâmpada?
  - Isso pode alterar as características elétricas da lâmpada, como resistência?
- Como é a luz emitida por uma lâmpada?

# Transferência de Calor (física 2)

- Ao transferir potência para uma lâmpada esta potência tem que ser dissipada (assumindo que a temperatura do objeto está em equilíbrio).
- Como?
- 3 métodos de troca de calor
  - Condução térmica
  - Convecção
  - Irradiação





# Troca de calor em uma Lâmpada

- 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

- 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

$$\vec{q} = -k\nabla T \xrightarrow{1D} q = -k_x \frac{\Delta T}{\Delta x}$$

$\vec{q}$  = fluxo de calor [W/m<sup>2</sup>]

k = condutividade do material

# 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:

$$P_C \propto (T - T_0)^n$$

- Onde  $T$  é a temperatura do filamento,  $T_0$  é a temperatura ambiente e o coeficiente  $n$  é da ordem de 1,38.
  - B. S. N. Prasad and Rita Mascarenhas, Am. J. Phys. 46, 420 (1978).
- Para temperaturas mais altas, a emissão por radiação deve predominar

# Radiação

- Um corpo a temperatura  $T$  em um meio a temperatura  $T_0$ .
  - Emite radiação para o meio mas também absorve radiação do próprio meio!
- Emissão de radiação (Lei de S.B.)

$$P_{emitida}^{Total} = \epsilon \sigma T^4$$

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

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

- $\mu$  é a absorptância total do corpo e depende de forma, material, etc.  $\mu = 1$  significa um corpo negro ideal.

# Balanço de Energia

- A potência elétrica transferida de um circuito para o filamento de uma lâmpada, percorrido por uma corrente  $i$  e sob tensão  $V$  é dada por:

$$P = V \cdot i$$

- A energia correspondente a essa potência se transforma em calor no filamento, e, **em regime estacionário**, é **totalmente** perdida por condução, convecção e irradiação.
- Podemos usar argumentos físicos e SUPOR que a condução seja baixa, ou seja:

$$P_{\text{total}} \approx P_{\text{convecção}} + P_{\text{irradiação}}$$

- Assim, temos que:

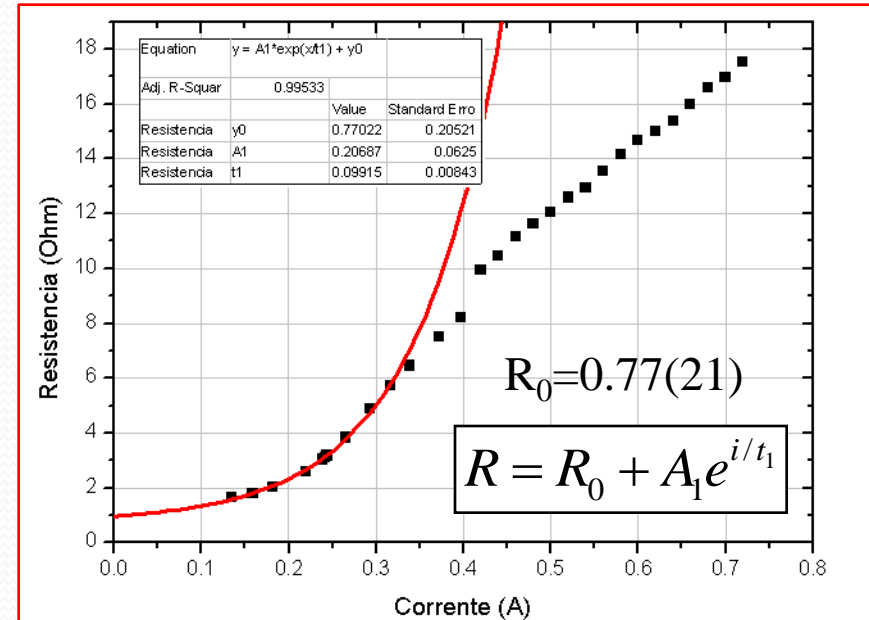
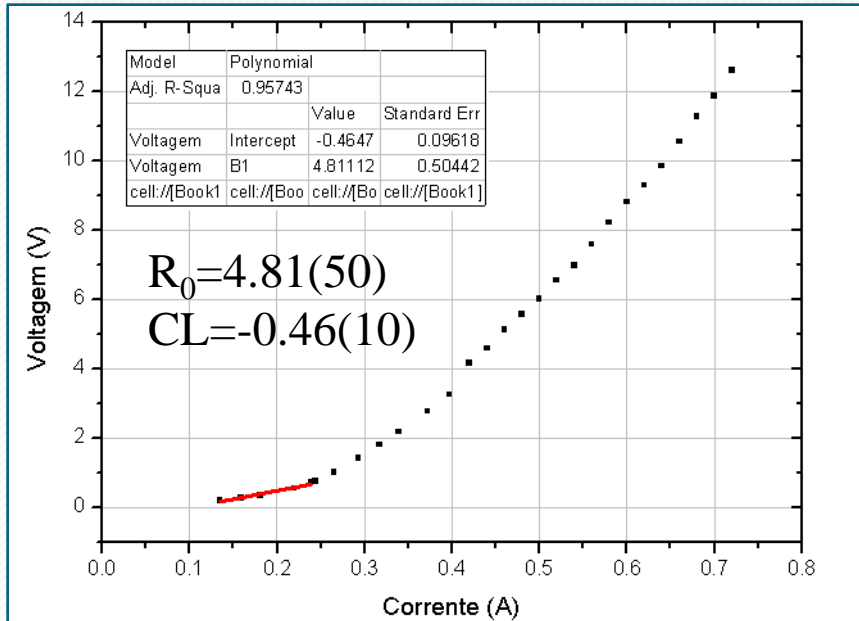
$$P_{\text{total}} = A \cdot (T - T_0)^\alpha + B \cdot T^4 - C \cdot T_0^4$$

# Como medir $R_0$ ?

$$\frac{R}{R_0} = \left( \frac{T}{T_0} \right)^{1.24}$$

- 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 $\Omega$ .
  - Qual a precisão desse método já que  $V_{\text{lâmpada}} \ll V_R$ ?

# R<sub>0</sub> com extrapolação



Uma maneira era extrapolar **linearmente** a curva de  $V \times i$ , pegando apenas os pontos de menor corrente.

Cuidados:

- coef. linear compatível com zero
- precisa de pontos suficientes

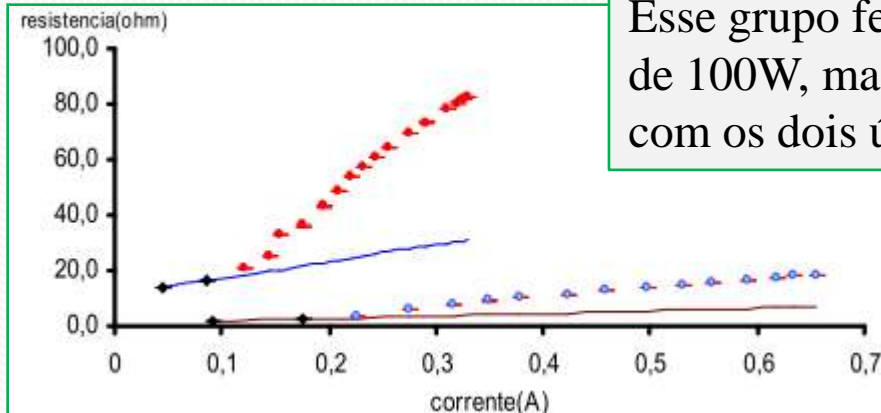
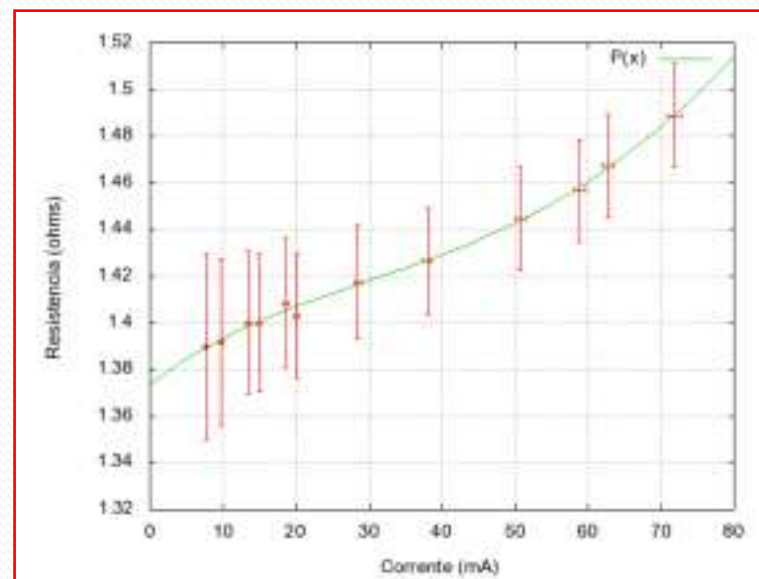
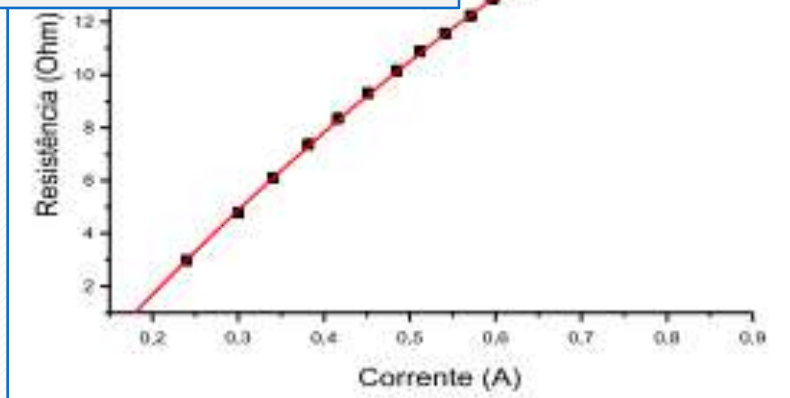
Outra maneira era calcular a resistência e tentar encontrar uma função para extrapolar para  $i=0$

Cuidados

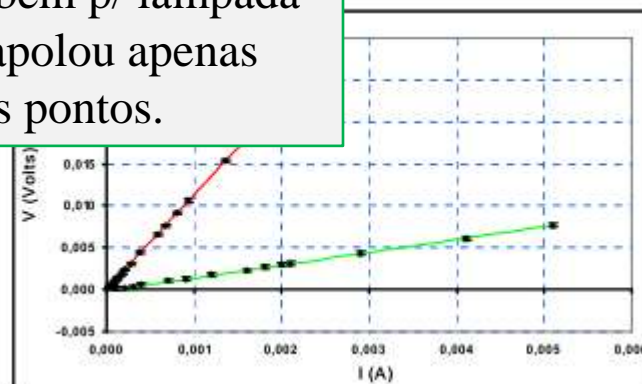
- A função escolhida deve ser adequada ao nosso modelo físico: **R** diminui se **i** diminui

# $R_0$ com extrapolação

A menor corrente foi de 150mA...  
a extrapolação fica ruim, não dá  
pra ver o trecho linear.  
Não conseguiram extrapolar...



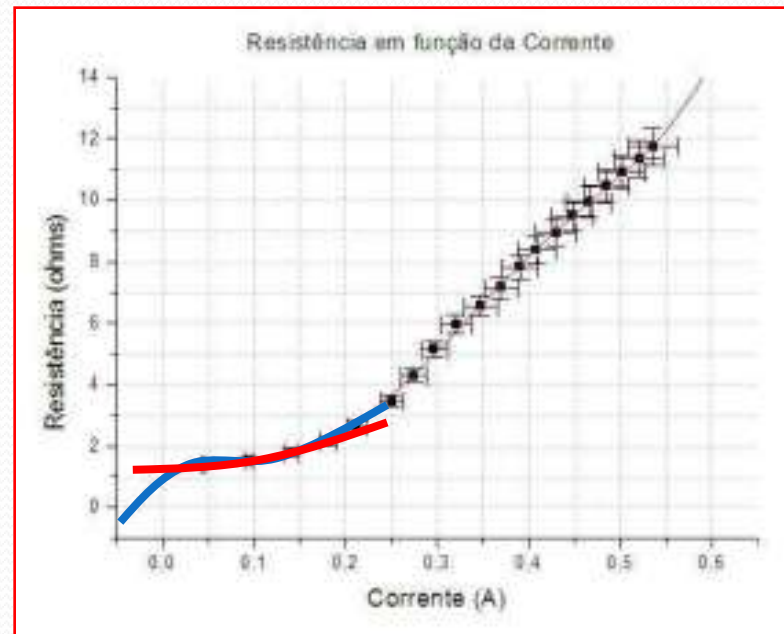
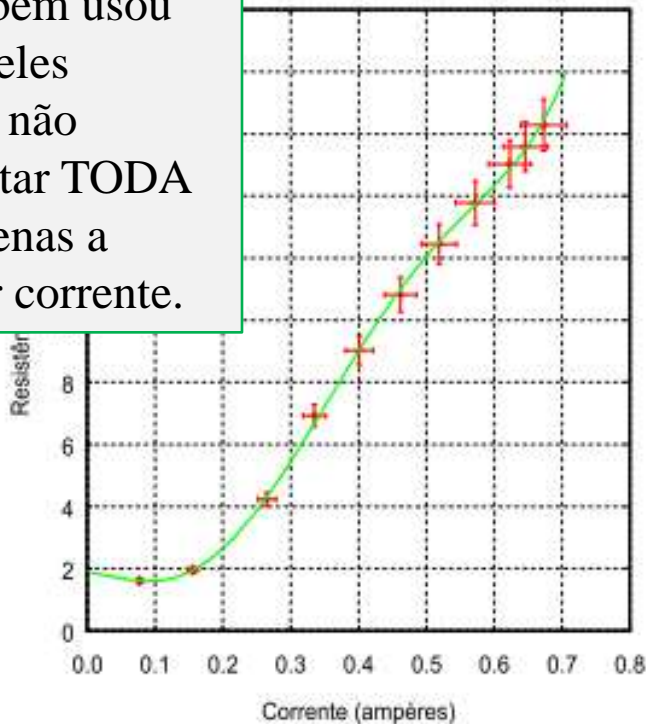
Esse grupo fez também p/ lâmpada  
de 100W, mas extrapolou apenas  
com os dois últimos pontos.



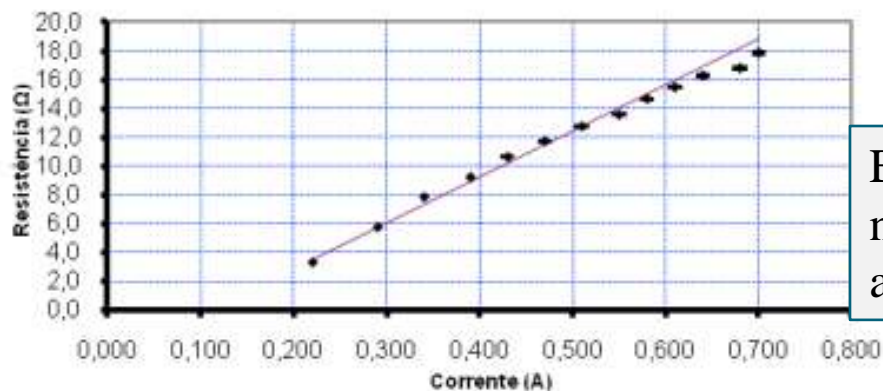


# $R_0$ com extrapolação

Esse grupo também usou grau 5... Faltou eles perceberem que não precisavam ajustar TODA a curva, mas apenas a região de menor corrente.

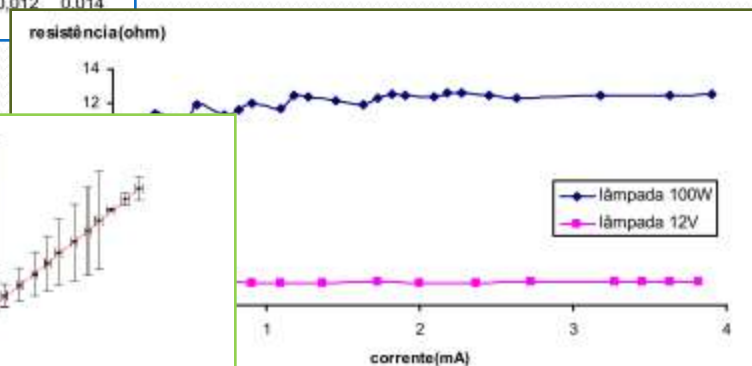
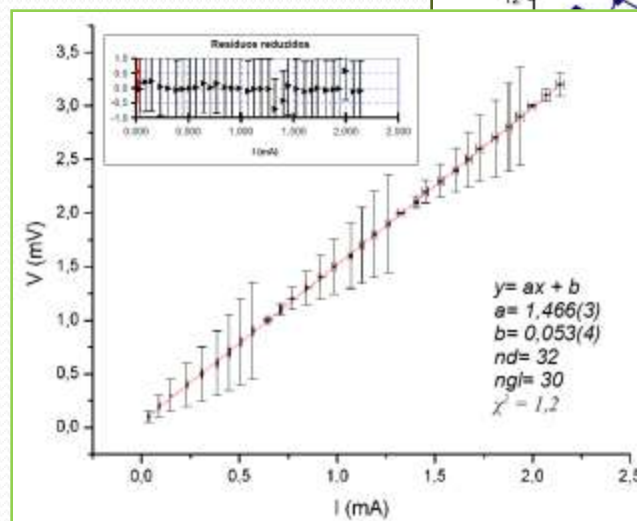
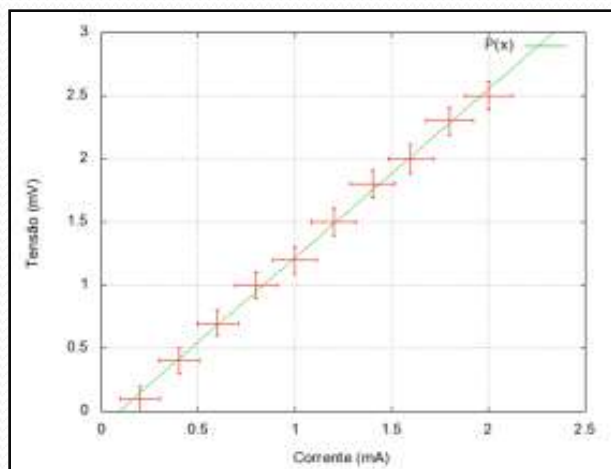
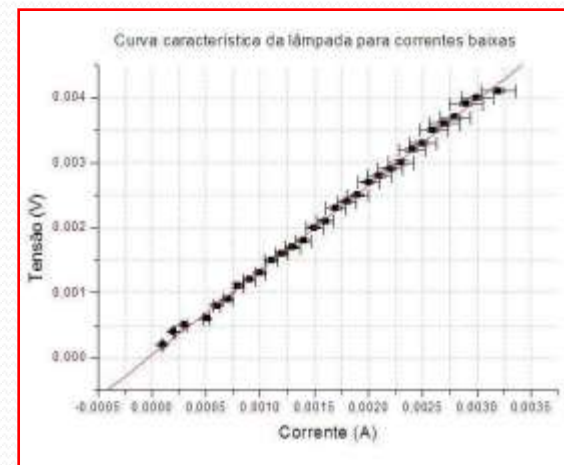
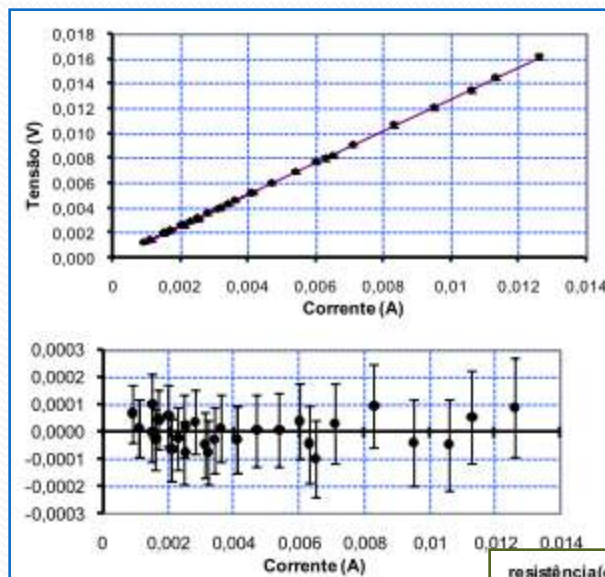
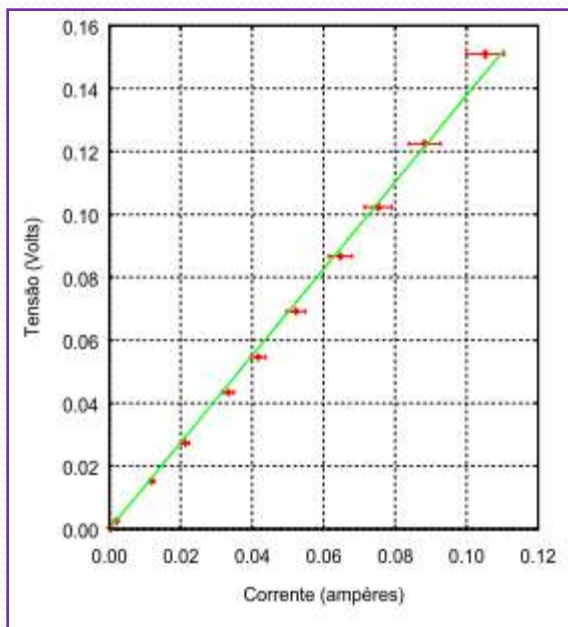


Usaram um polinômio de grau 5... Bom ajuste onde há dados, muito ruim para extrapolar...



Extrapolando essa reta dá  $-3.4\Omega$ ... Mas notem a tendência nos resíduos (não analisados).

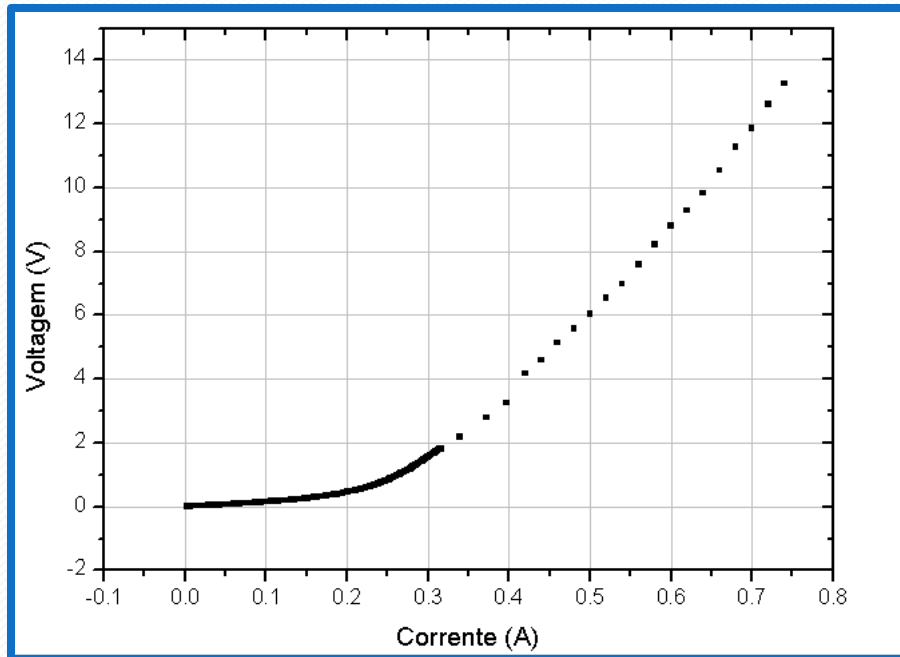
# R<sub>0</sub> com corrente baixa



# $R_0$ (ohm) - Comparação

Multímetro	Extrapolação	Baixa corrente	Outros
1.50(31)	0.99(44)	1,307(11)	
--	--	--	1.158(48)
1,70(31)	--	1,2802(83)	
1,40(31)	0,7954(21)	--	
1.60(31)	1,87(66)	1,378(14)	
1.7(1)	1,3735(75)	1,336(21)	
1,5(???)	--	--	
1,70(31)	1,510(39)	--	
1,7(4)	1,585(41)	1,466(3)	
--	--	1,5855 (79)	

# Curva Característica da Lâmpada

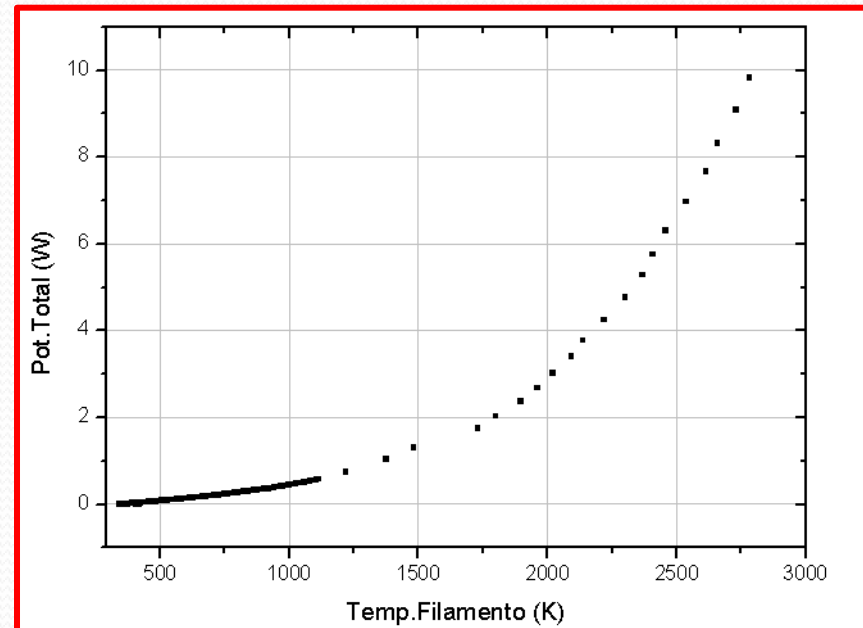


• Potência:

•  $P = V i$

• Temperatura:

•  $\frac{R}{R_0} = \left( \frac{T}{T_0} \right)^{1.24}$



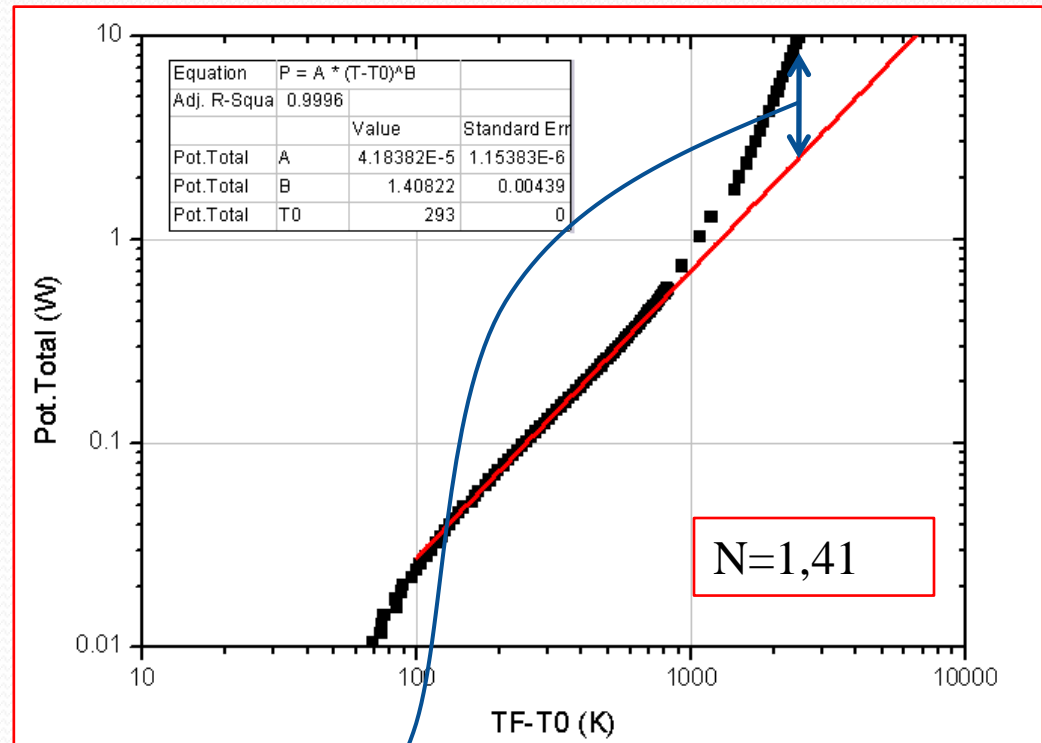
# Potência perdida por convecção

- Para baixas temperaturas a potência irradiada é desprezível

$$P \approx P_C \propto (T - T^0)^n$$

$$\log(P) \propto n \log(T - T^0)$$

- Do ajuste da parte linear da curva obtemos n



Subtraindo a potência perdida por convecção (extrapolação do ajuste) da potência total obtém-se a potência irradiada (para altas temperaturas)

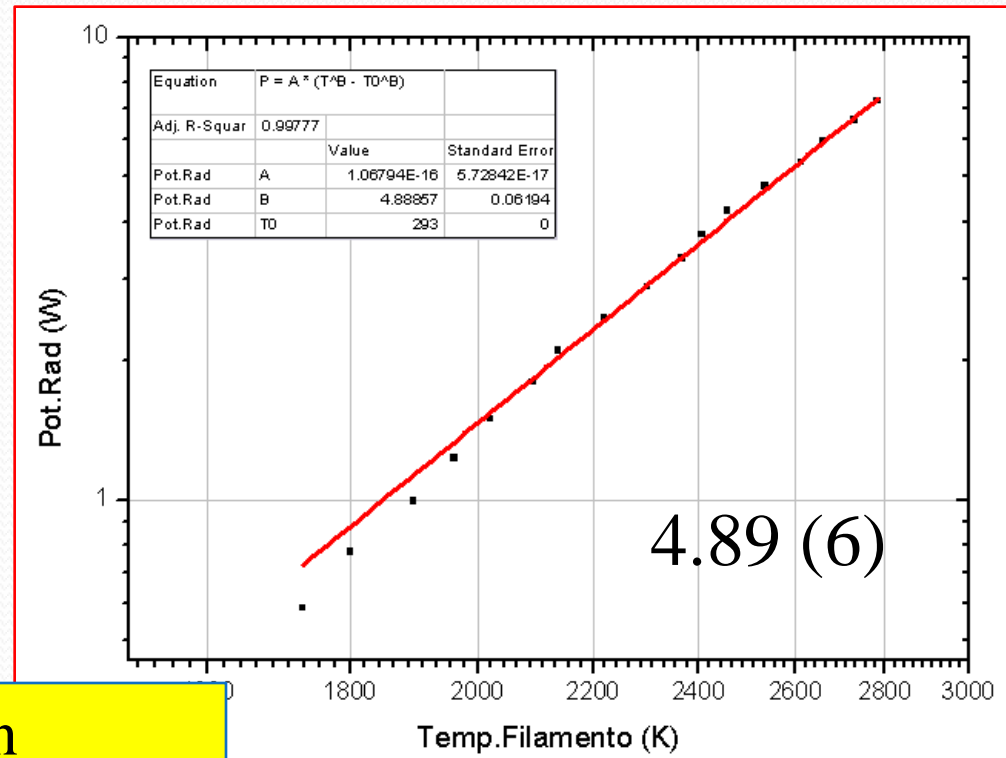
# Potência irradiada

- Para altas temperaturas

$$P - P_C = P_{\text{rad}} = \sigma T^4$$

$$\log(P_{\text{rad}}) = \log(\sigma) + 4 \log(T)$$

- Do ajuste podemos verificar se o expoente é realmente 4.



Lei de Stefan-Boltzmann

$$P_{\text{rad}} = \sigma T^4$$

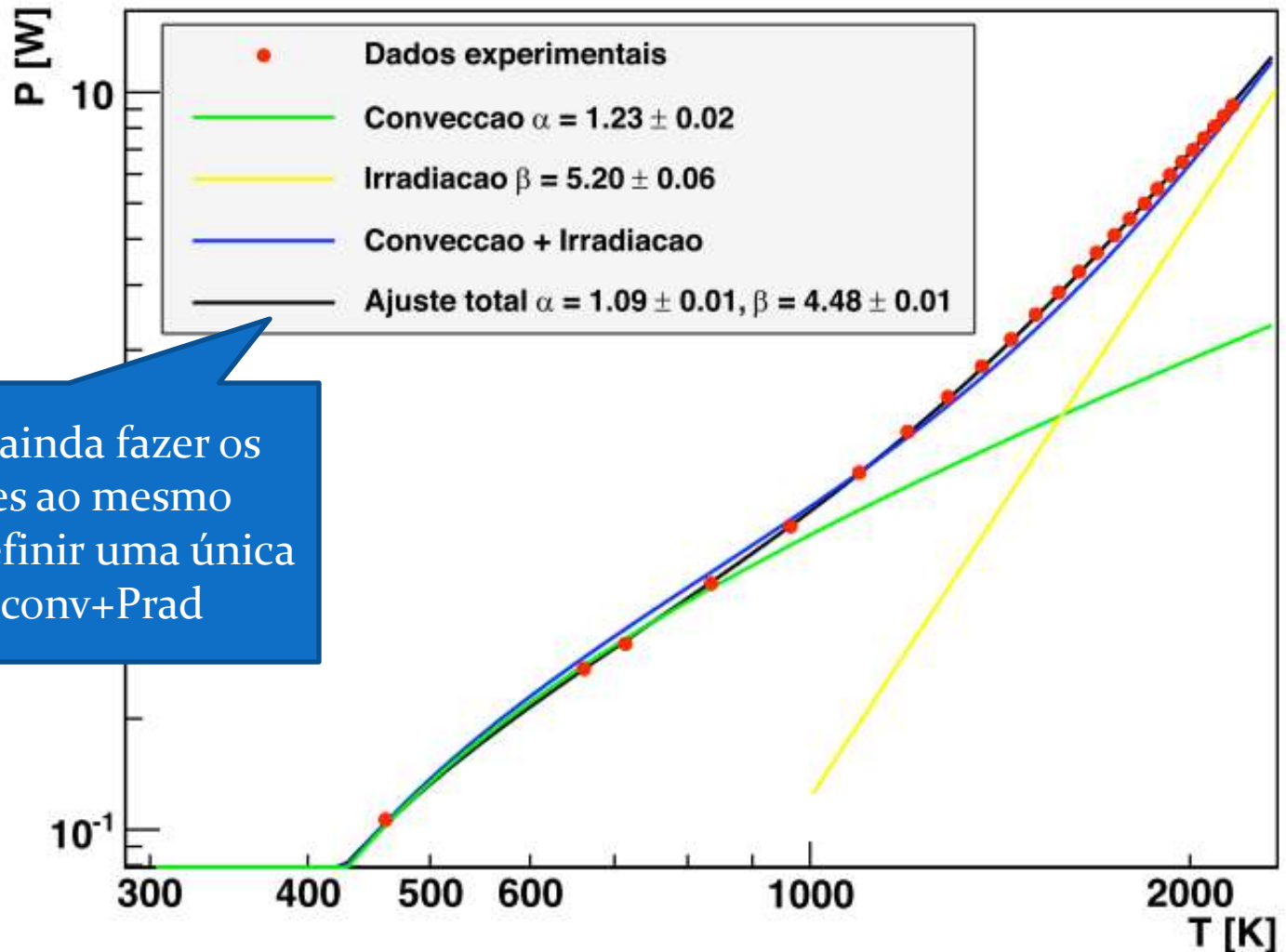
Expoente obtido do ajuste

$$P_{\text{rad}} \propto T^{4,89}$$

A lâmpada pode ser tratada como um corpo negro?

# Resultado Final dos 2 ajustes

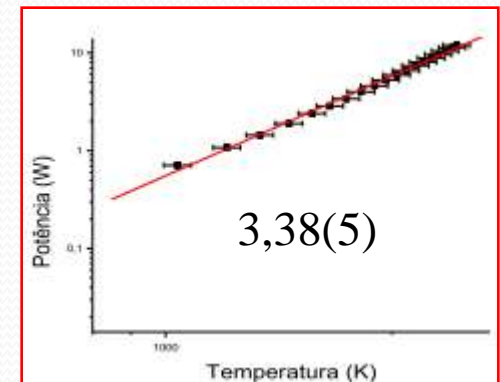
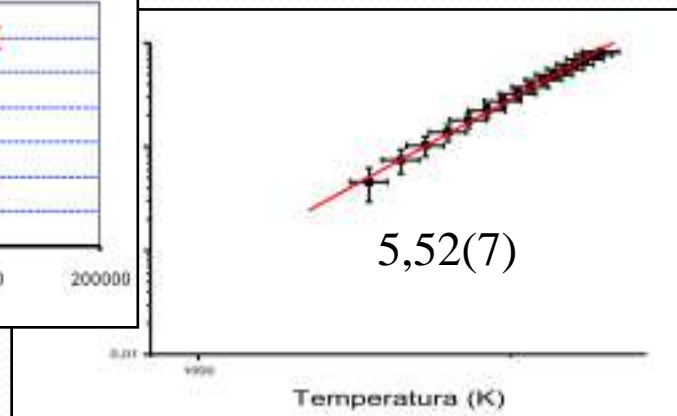
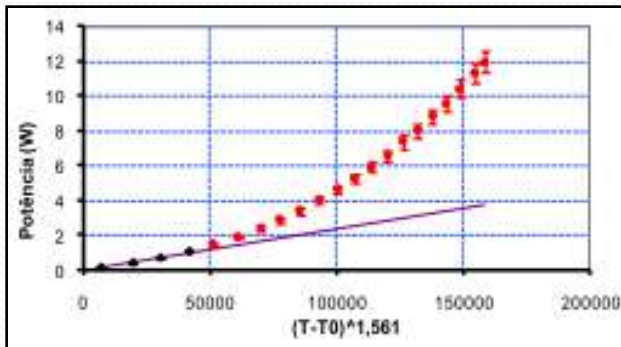
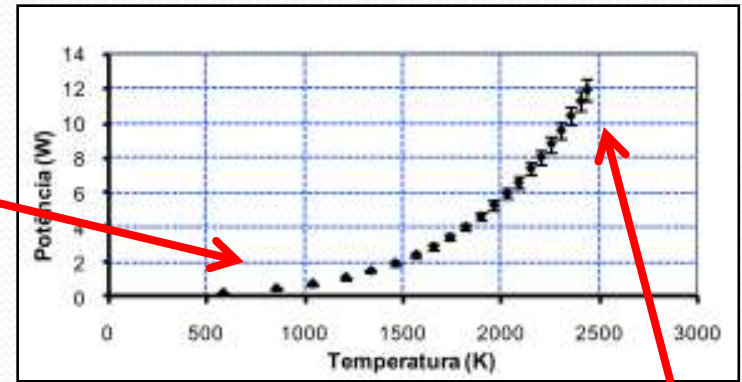
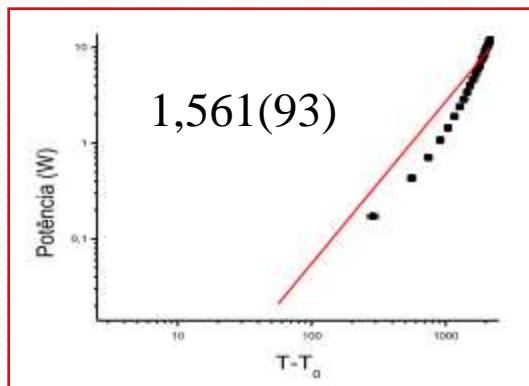
Curva de potencia de uma lampada incandescente



Era melhor ainda fazer os dois ajustes ao mesmo tempo, i.e, definir uma única função  $P_{\text{conv}+\text{Prad}}$

# Analisando a Potência

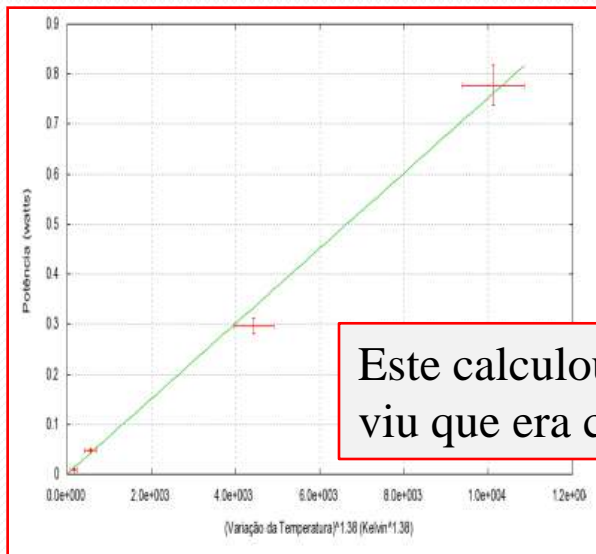
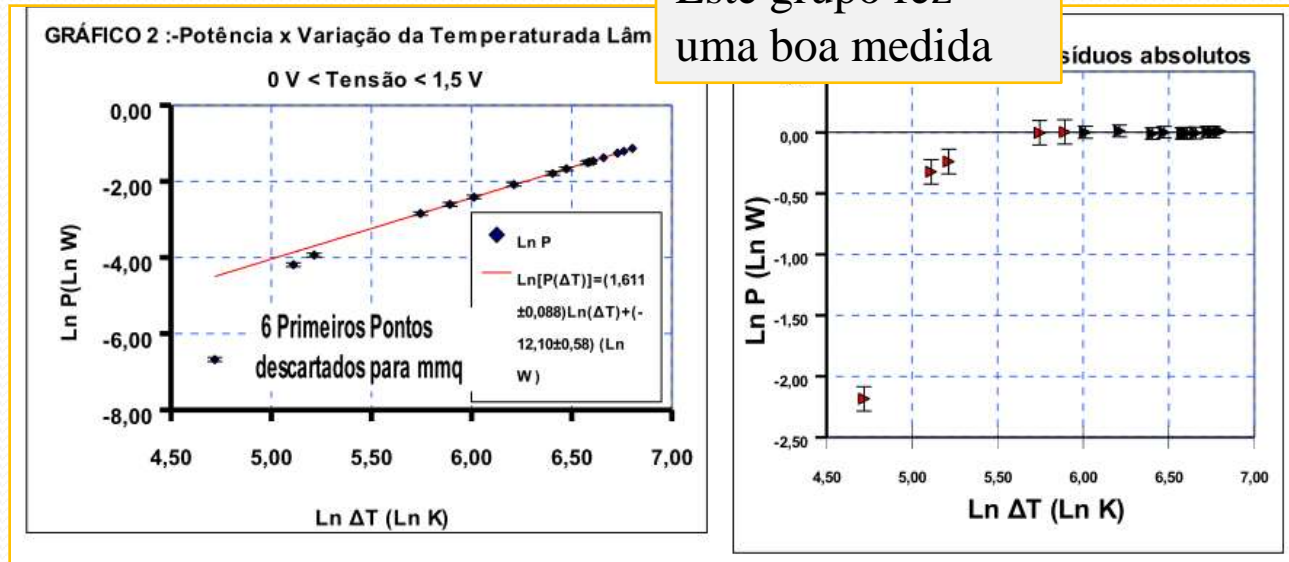
- Muitos grupos não subtraíram a convecção para encontrar a radiação. Era preciso, pois um ajuste era feito em  $(T-T_0)$  e outro em  $T$ .





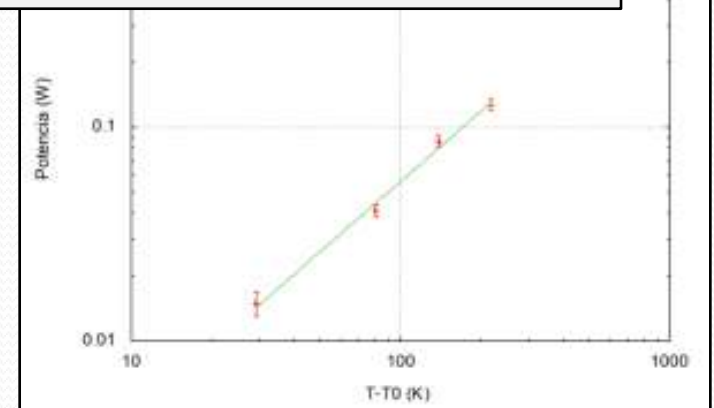
# Ajuste da Convecção

Este grupo fez uma boa medida

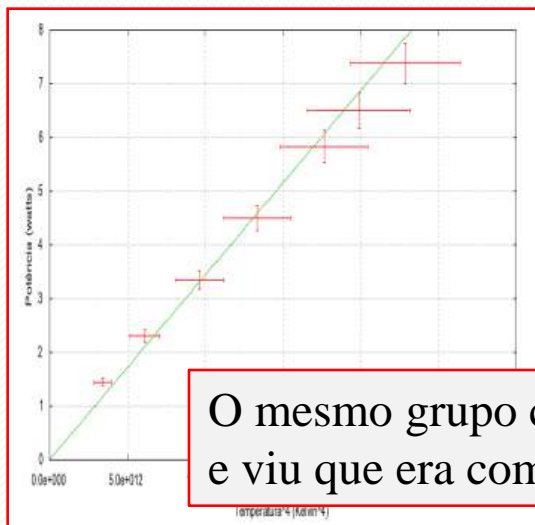
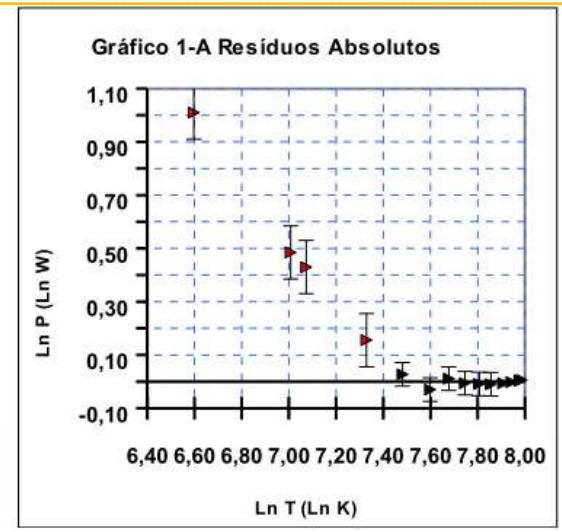
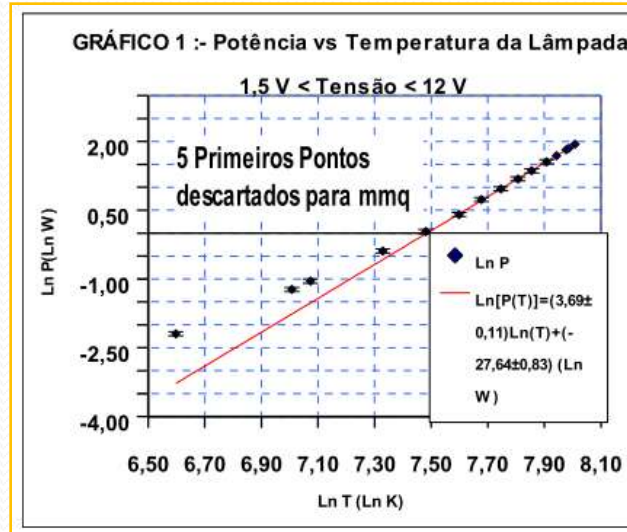
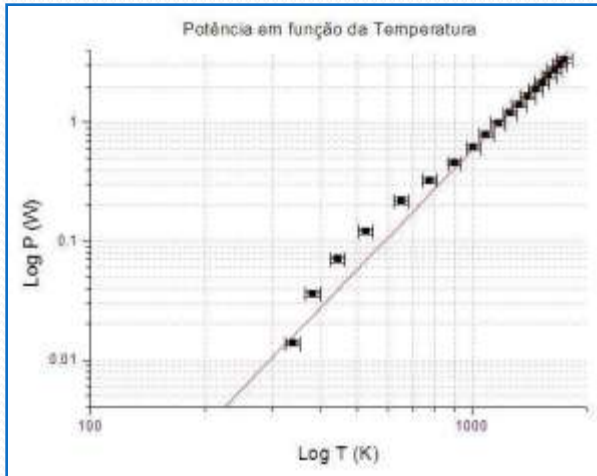


Este calculou  $(T-T_0)^{1.38}$  e viu que era compatível

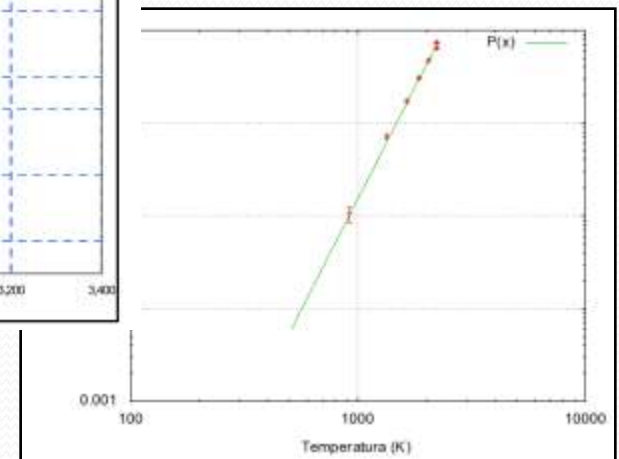
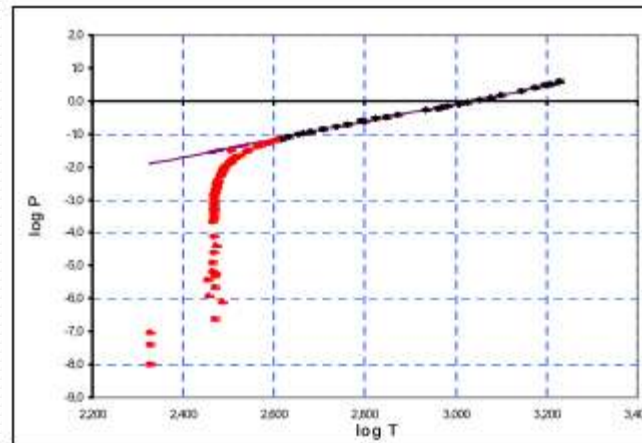
Este tinha poucos pontos, mas conseguiu ajustar uma reta



# Ajuste da radiação



O mesmo grupo comparou com  $T^4$  e viu que era compatível

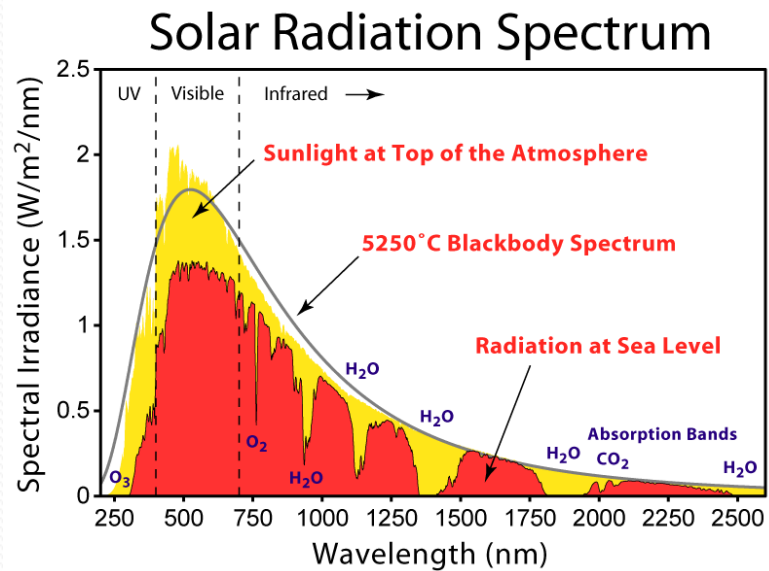
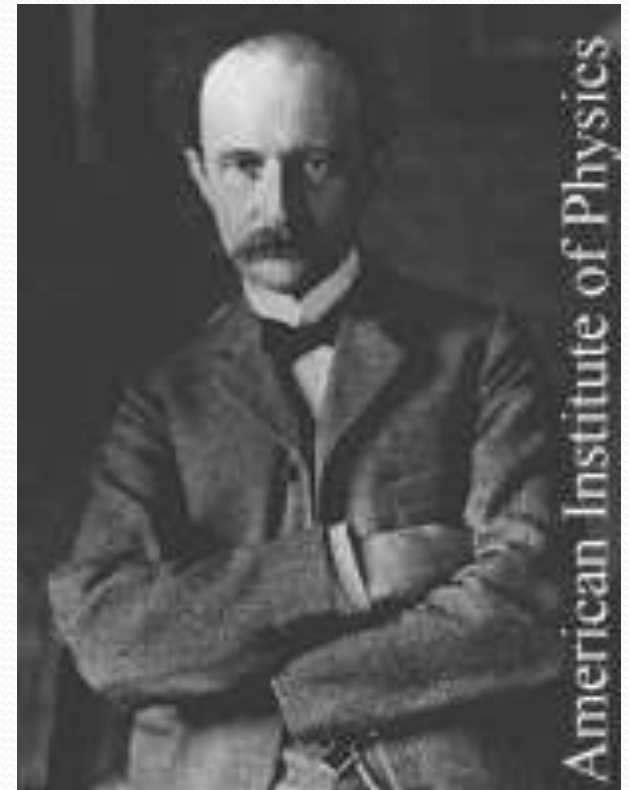


# Expoentes encontrados

da convecção	da radiação
1.38	4.0
1,611(88)	3,69(11)
1,561(93)	3,38(5)
--	--
1.38	4.0
1.1	4,8
1.2	3.32
--	2.71
2.986(20)	3.604(17)
--	2.9927

# AULA DE HOJE

## Um pouco de física Quântica...



# Experiência 1: Lâmpada

Queremos entender como uma lâmpada incandescente funciona. Para isso teremos 4 semanas:

## 1. Circuitos de Corrente Contínua

- Como medir grandezas elétricas?
- Os instrumentos de medida influenciam no resultado de uma medida? Como escolher o instrumento certo?

## 2. Pilha e Lâmpada

- Como varia a tensão de uma pilha ou em uma lâmpada em função da corrente?

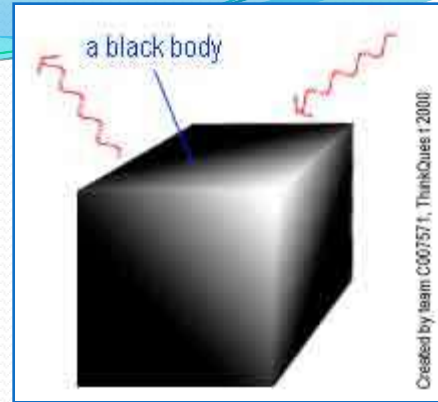
## 3. Potência de uma lâmpada

- Como varia a potência da lâmpada em função da temperatura do filamento?

## 4. Radiação emitida por uma lâmpada

- Como varia a radiação emitida pela lâmpada em função do comprimento de onda da luz?

# Corpo negro: definição



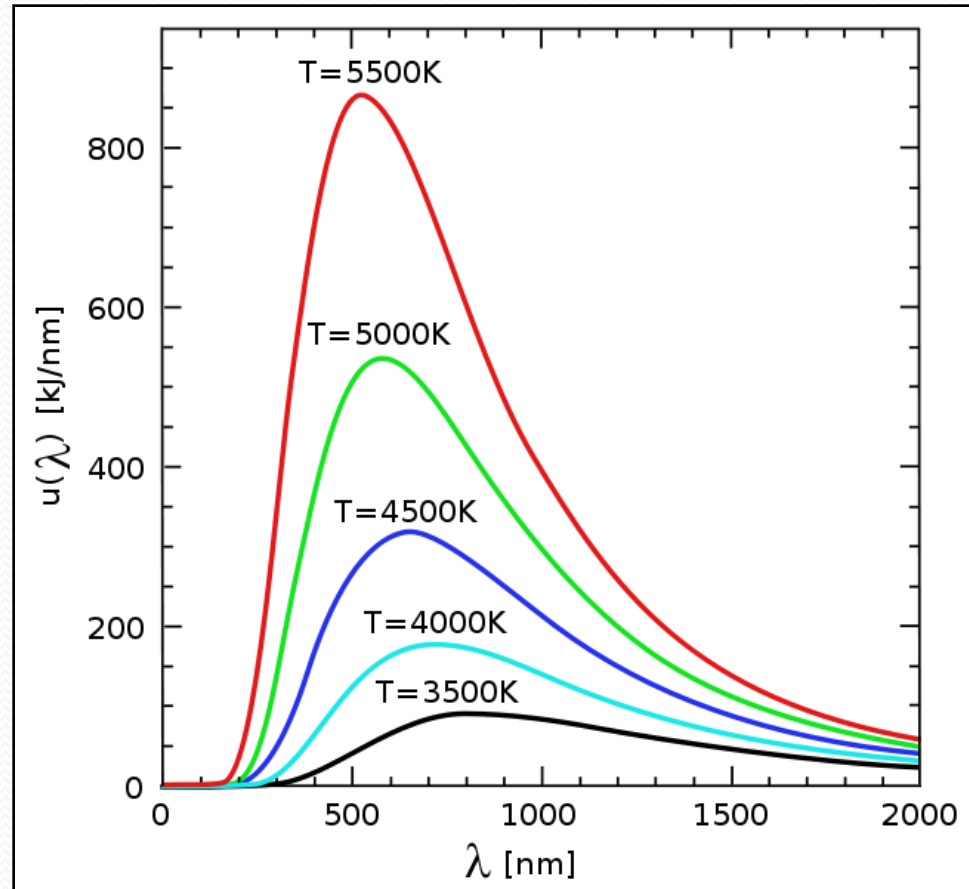
- Os corpos em equilíbrio emitem e recebem simultaneamente radiação do meio:
  - a radiação incidente pode ser refletida ou absorvida
  - a forma do espectro da radiação térmica emitida por um corpo depende de suas características físicas.
- Há um tipo de corpo quente que emite espectros de caráter universal: o **corpo negro ideal**.
- O corpo negro ideal não reflete radiação incidente: ele é um absorvedor perfeito.
  - Em equilíbrio as taxas de absorção e emissão são iguais, portanto ele é também um emissor perfeito.
- **Portanto o corpo negro é uma idealização, mas uma idealização útil**

# Corpo negro: definição

- A **emissividade total** é uma quantidade adimensional que assume valores entre **0** e **1**.
  - Superfície perfeitamente refletora,  $\epsilon=0$  (espelho perfeito)
  - Superfície perfeitamente absorvedora,  $\epsilon=1$  (corpo negro ideal).
- A **absortividade total** também é uma quantidade adimensional e assume valores semelhantes à emissividade total.
- Em geral, a absortividade total e a emissividade total dependem da temperatura, isto é, são diferentes para temperaturas  $T_1$  e  $T_2$  diferentes.

# Radiação de corpo negro

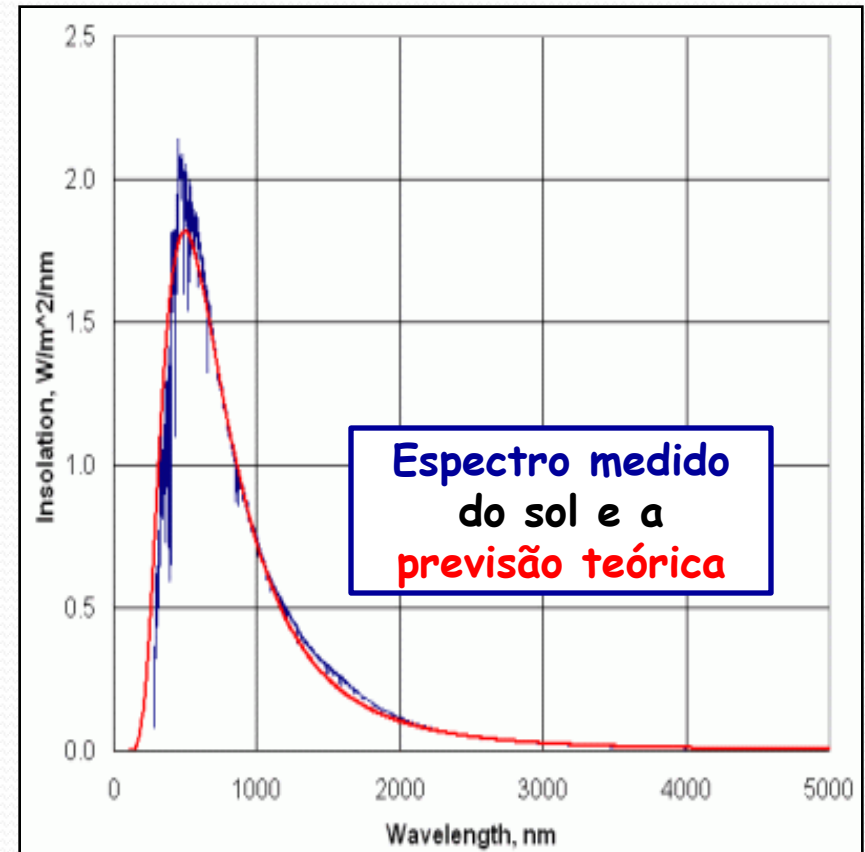
- Os corpos negros à mesma temperatura, independente de sua composição, emitem radiação térmica com o mesmo espectro
- A distribuição da radiação emitida em função da frequência depende só da temperatura do corpo





# Radiação de corpo negro: a teoria

- Como é a potência irradiada por um corpo negro a uma determinada temperatura?
- A potência irradiada é nula para frequência igual a zero
- Ela cresce rapidamente com o aumento do comprimento de onda
- Atinge um valor máximo para um certo comprimento de onda
- Depois decai mais lentamente à medida que o comprimento de onda cresce
- Aproxima-se de zero novamente quando a frequência se aproxima do infinito



# Lei de Stefan-Boltzmann



- 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:

$$P_{\text{rad}} \propto T^4$$

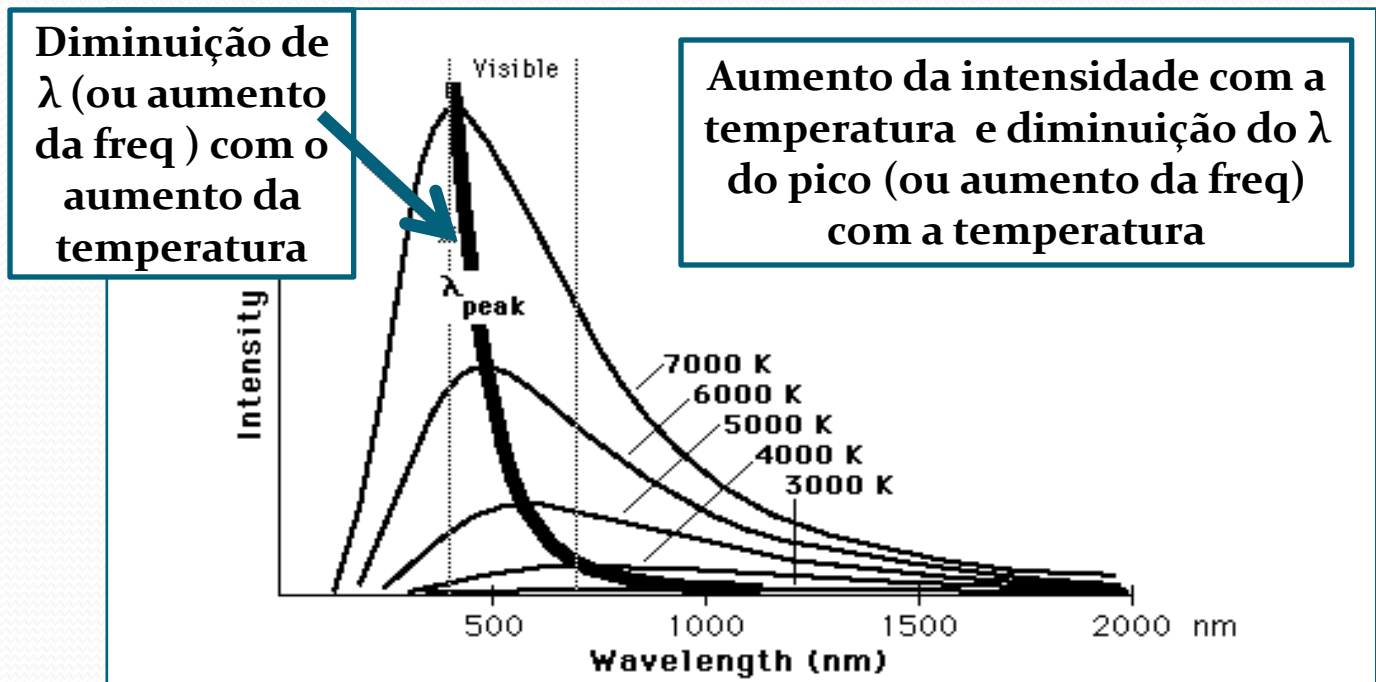
- $P_{\text{rad}}$  é a energia emitida por unidade de tempo, por unidade de área de um corpo a uma temperatura  $T$ .



- Em 1884 Boltzmann demonstrou essa lei teoricamente para o caso de um corpo negro.
  - Constante de Stefan-Boltzmann:  $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$

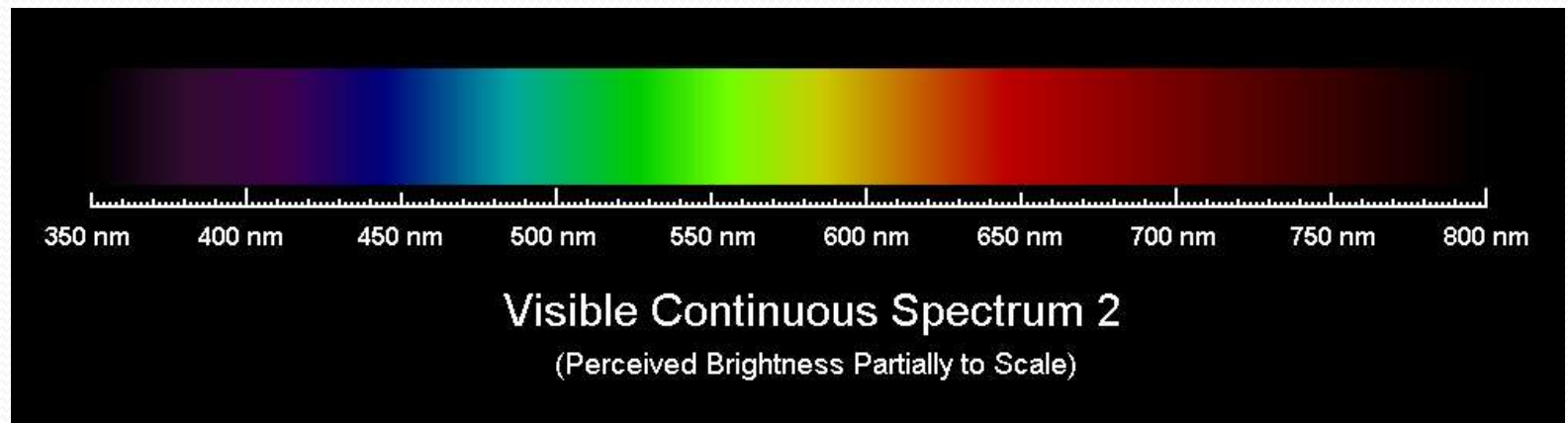
# A lei do deslocamento de Wien

- Em **1893 Wien** deduziu, através da termodinâmica, que o comprimento de onda (ou a freqüência), do pico obedecia uma relação linear com a temperatura, ou:
- $\lambda T = 2.898 \times 10^{-3} \text{m}^0\text{K}$



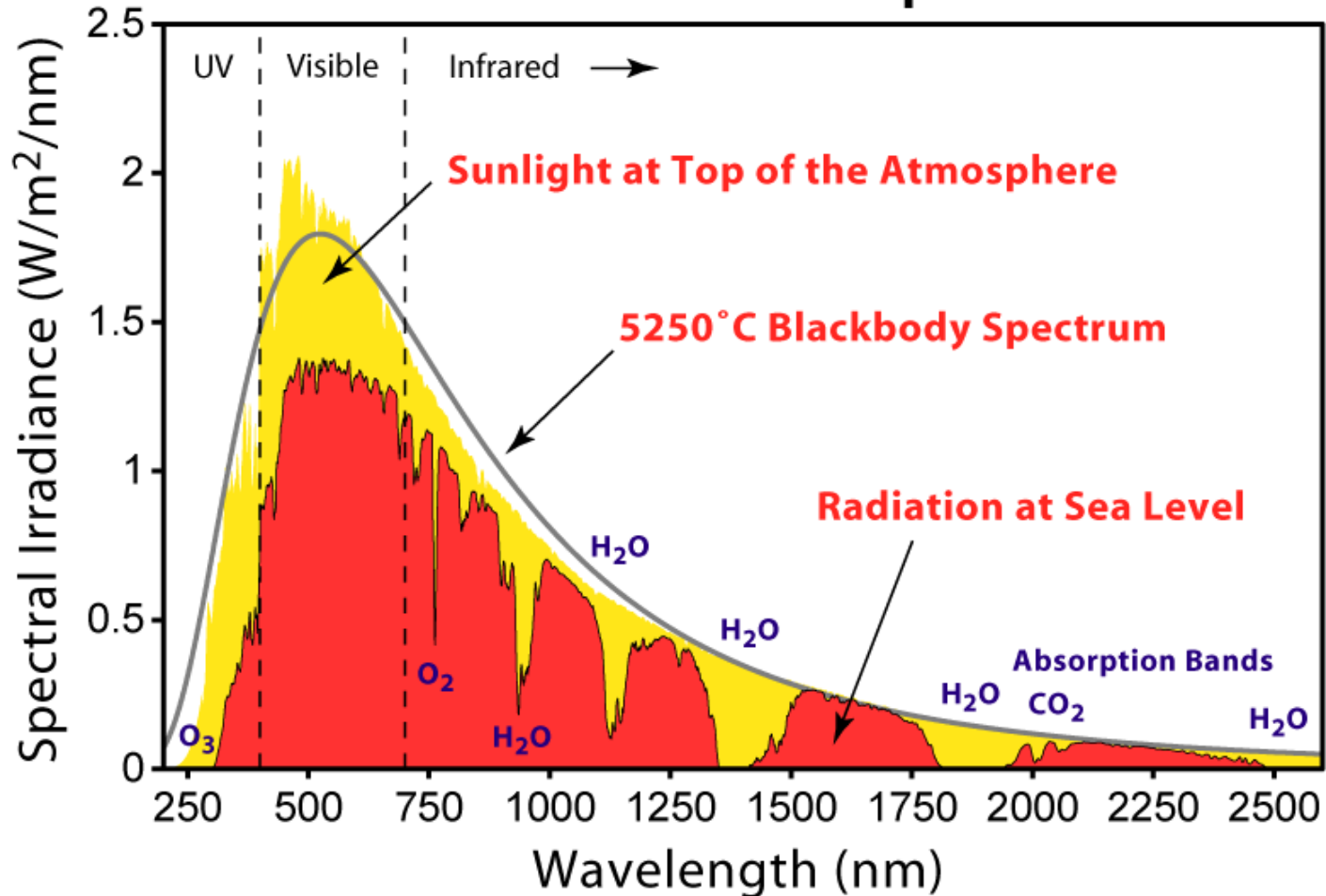
# Temperatura de um corpo negro

- Então, a lei do deslocamento de Wien permite encontrar a temperatura da superfície de um corpo negro:
  - Medindo a distribuição de radiância espectral, com o valor do comprimento de onda do pico, obtém-se a temperatura.
- **Sol** :  $\lambda_{\max} = 550\text{nm}$  (amarelo esverdeado) »  $T=5500^{\circ}\text{K}$
- **Estrela Polar**:  $\lambda_{\max} = 350\text{nm}$ ( ultravioleta) »  $T=8300^{\circ}\text{K}$



# O Sol é um corpo negro quase perfeito

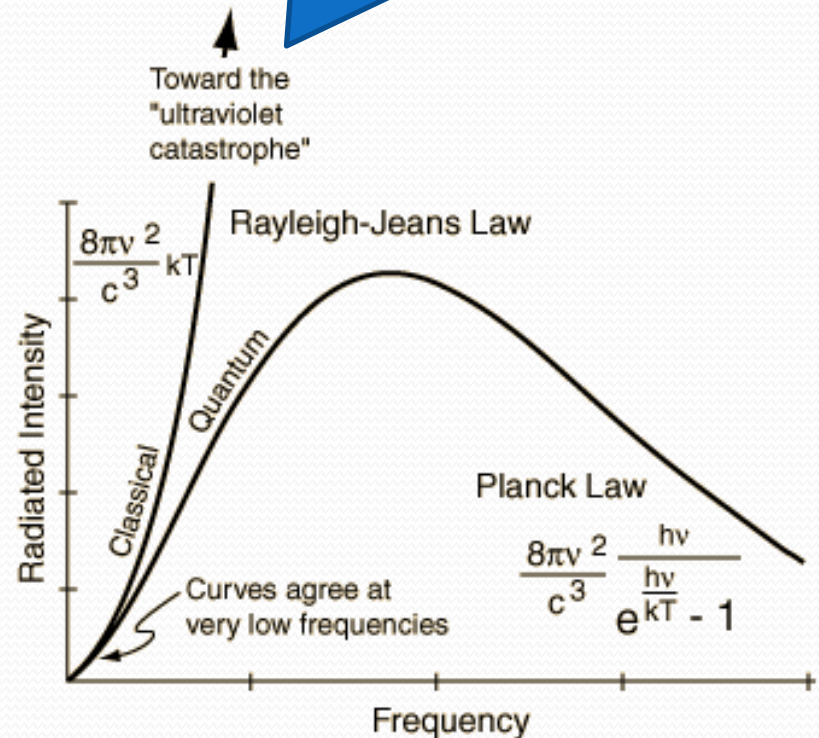
## Solar Radiation Spectrum



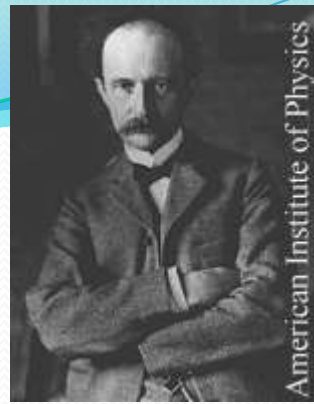
# A distribuição de energia da radiação de corpo negro

- No final do século XIX, com as melhorias no aparato experimental (O. Lummer, E. Pringsheim, H. Rubens e F. Kurlbaum), foi possível medir a potência (ou a radiância espectral  $R_\nu$ ) para um grande intervalo de frequências.
- Nessa época os físicos J.W.S. Rayleigh e J.H. Jeans fizeram o cálculo da distribuição de frequências da radiação de corpo negro, baseado em hipóteses da física clássica.

Totalmente discrepante da distribuição medida!!  
Havia alguma concordância só para baixas frequências,



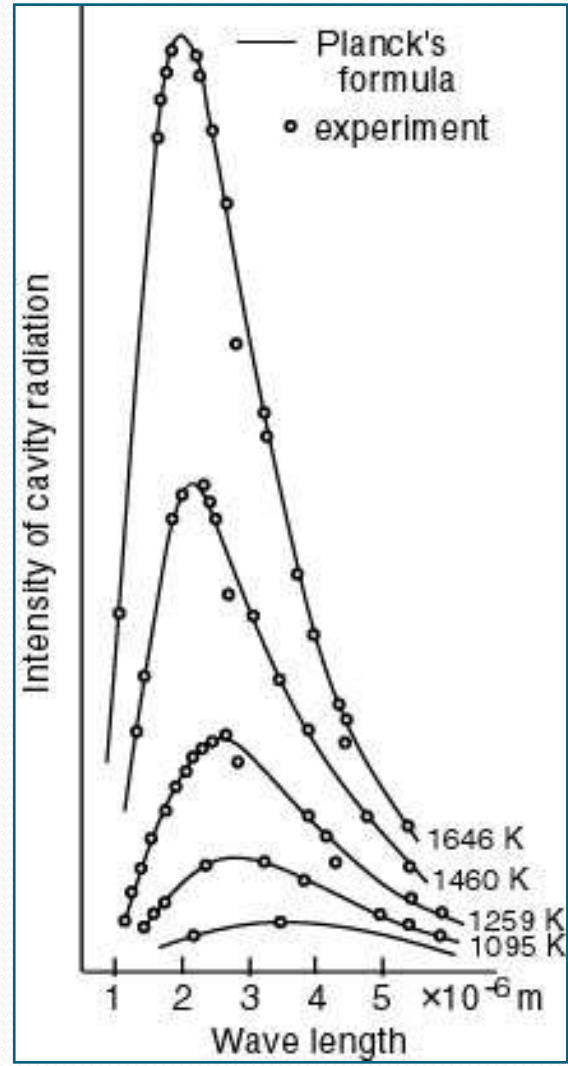
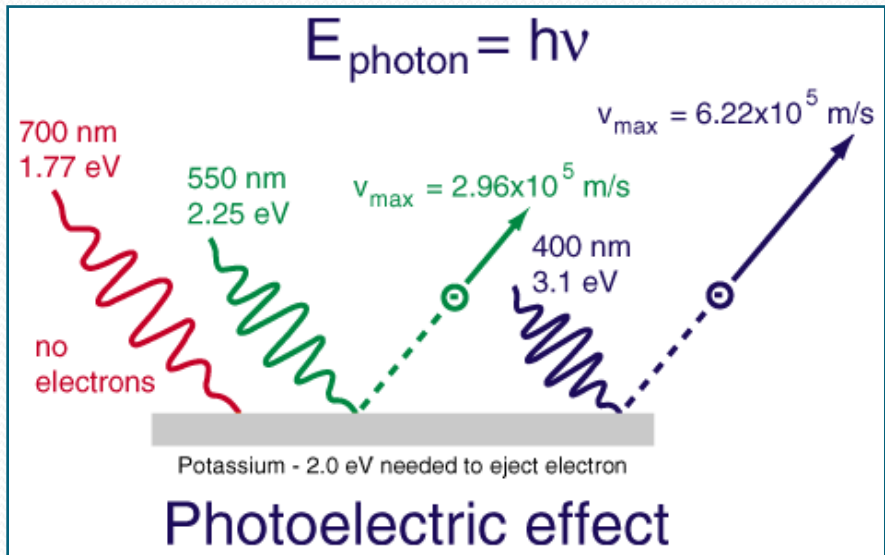
# A hipótese de Planck



- A ciência avança muitas vezes com revoluções, mas as pessoas têm, em geral, uma grande dificuldade em aceitar conceitos revolucionários.
- Na tentativa de explicar o comportamento da distribuição da radiação de corpo negro em função da frequência, em **1900**, Max Planck conseguiu reproduzir a forma da curva experimental considerando que a energia associada à radiação de corpo negro não era uma variável contínua (física clássica), mas discreta:
  - **A energia radiante é emitida em pequenos “pacotes”, ou quanta (1 pacote = 1 quantum)**
  - **Cada quantum tem uma energia proporcional à frequência da radiação**

# A fórmula de Planck

- A idéia da quantização da energia era tão revolucionária que o próprio Planck, na época em que a postulou não estava certo se ela era apenas um artifício matemático ou a descrição correta do fenômeno natural.
- A hipótese da quantização da energia não foi geralmente aceita até **1905** quando Einstein a usou para explicar o efeito fotoelétrico.



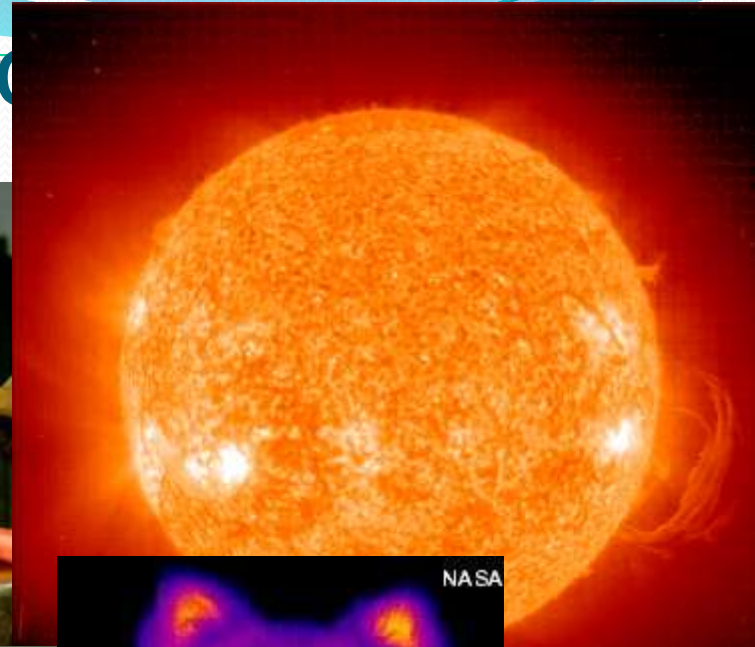


# Corpo negro

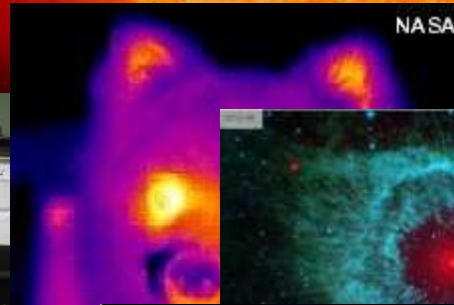
- Nenhum objeto real é um corpo negro perfeito!
  - **carvão negro** tem uma absorptividade (e emissividade) quase igual a **1**, mas somente para algumas frequências, que incluem a radiação visível → a absorptividade (e emissividade) é muito mais baixa no infravermelho distante.
  - **A pele dos seres humanos** é quase um corpo negro perfeito para a radiação infravermelha, mas certamente não para o caso de frequências mais altas
- Será que a lâmpada se comporta como um corpo negro?
  - Para que faixa de frequência?

# Exemplos de “bons” co

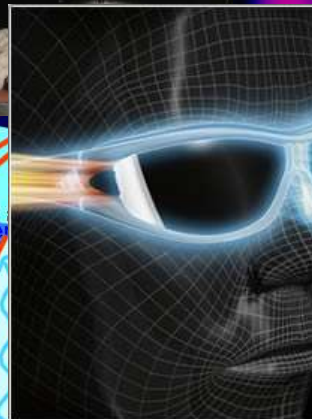
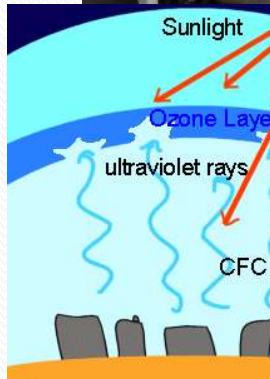
- Visível:



- Infravermelho:



- Ultraviolet:



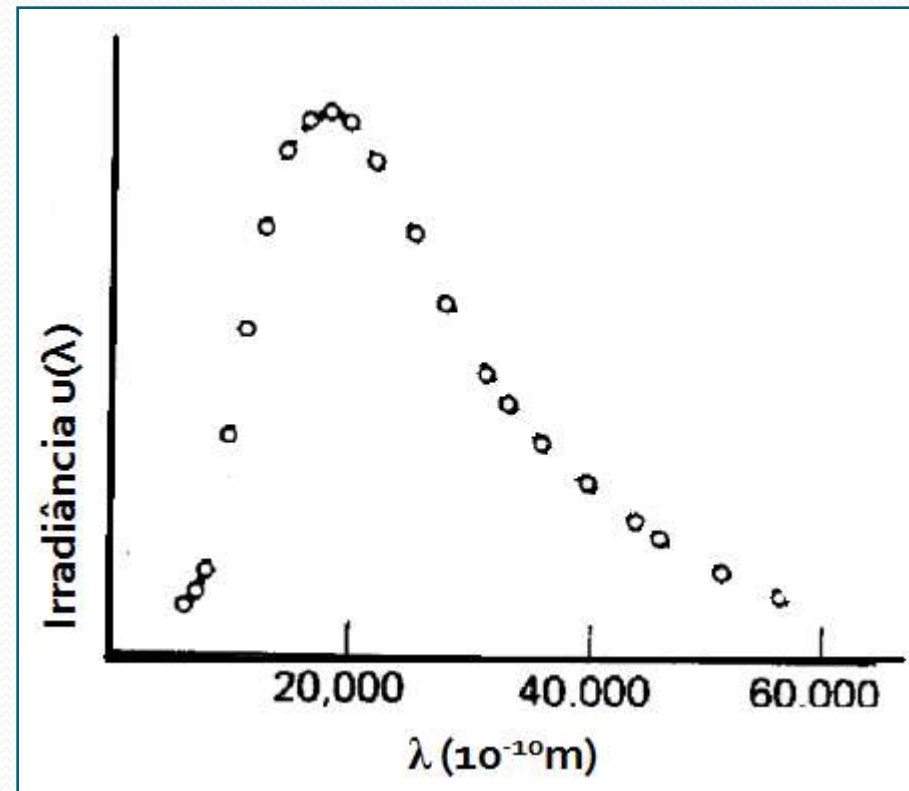
# Radiação de corpo negro

- A forma do espectro medido experimentalmente é característica para um corpo negro perfeito.
- A lâmpada aparentemente não é um corpo negro perfeito. Porque?

- Porque não obedece:

$$P_{irr} = A\varepsilon\sigma_B T^4$$

com  $\varepsilon=1$



# A lâmpada

- Porque a lâmpada não é um corpo negro perfeito?
- Porque:
  1. Para altas temperaturas: o gráfico di-log da potência irradiada em função da temperatura não é proporcional à  $T^4$ , na verdade o expoente encontrado é muito próximo de **5**. Isso indica que a emissividade pode ser função da temperatura e/ou do comprimento de onda e não igual a **1** como para um corpo negro perfeito.
  2. Para baixas temperaturas: não temos como medir a potência irradiada, mas podemos ver no gráfico da potência total em função de  $(T - T_0)$ , que quase toda a potência fornecida é perdida por convecção.

# Para entender o comportamento da lâmpada

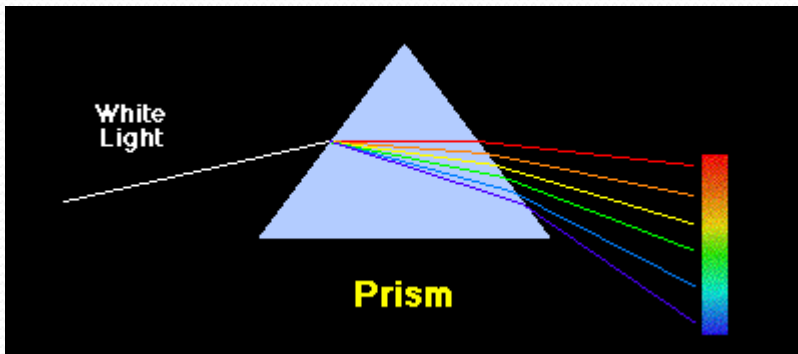
- Como obtivemos um expoente diferente de **4** vamos supor que a emissividade depende da temperatura
- Como testar isso?
  - Vamos medir o espectro de emissão da lâmpada como função do comprimento de onda (ou frequência) e comparar com a previsão de Planck.
- Como medir o espectro de emissão da lâmpada?
  - Com um instrumento chamado **espectrofotômetro**.
  - O espectrofotômetro mede a energia irradiada em função do comprimento de onda (ou frequência)

# O que faz um espectrofotômetro?

- O **espectrofotômetro**, além de fornecer a posição angular de cada componente da radiação de um determinado comprimento de onda, mede também sua intensidade.
  - O **espectrofotômetro com o qual vamos realizar as medidas, utiliza um foto sensor que se acopla a um micro-computador através de uma interface, permitindo que os dados sejam armazenados no computador.**
- Sistemas de análise espectral baseados em dispersão angular têm como característica mais importante a relação entre a posição angular e o respectivo comprimento de onda, ou seja,  $\theta$  e  $\lambda$ , que deve ser conhecida.
  - **Em geral, a função  $\theta(\lambda)$  é determinada por meio de calibração utilizando um espectro conhecido.**

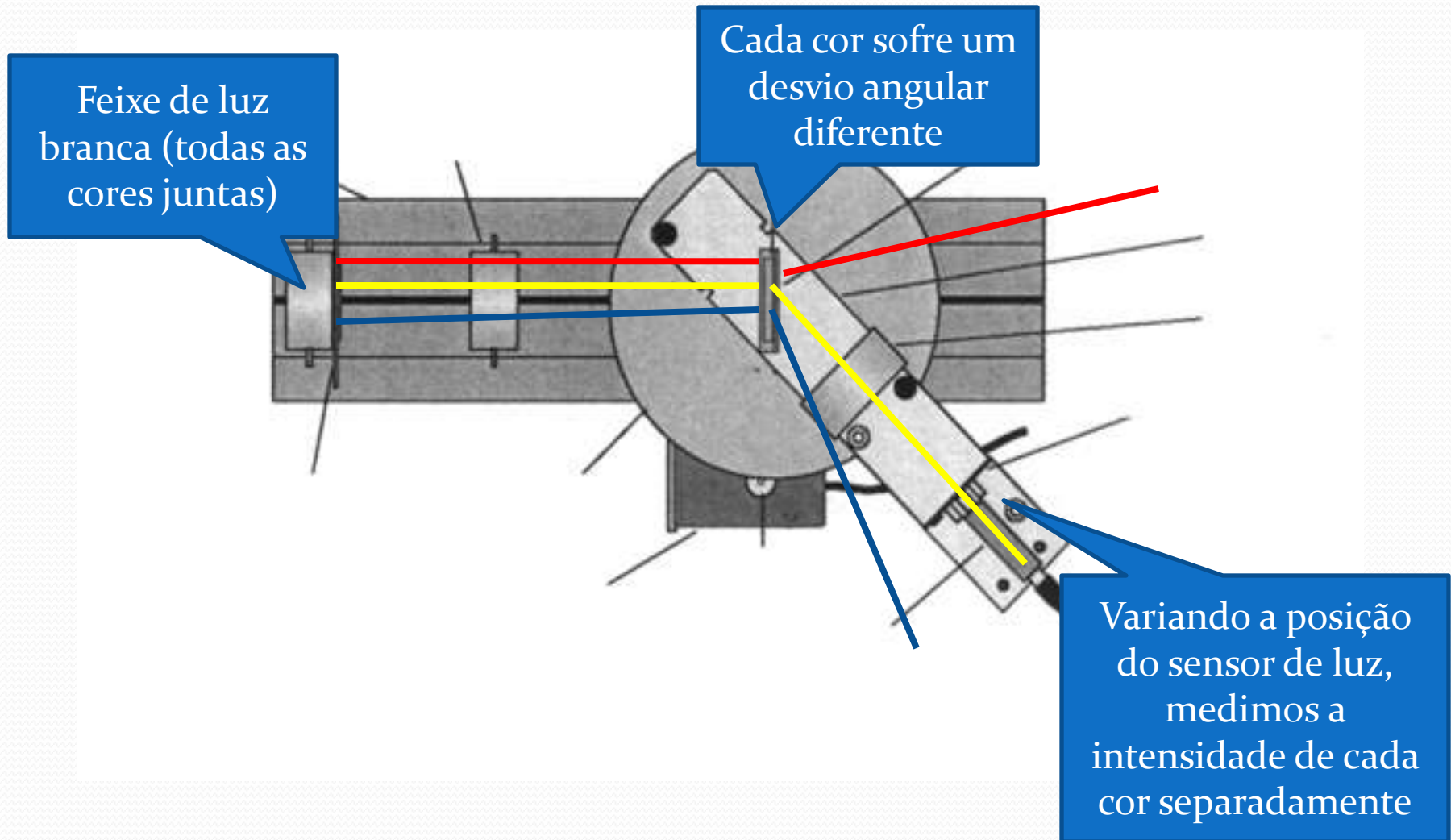
# O espectrofotômetro

- No caso desta experiência o elemento dispersor (que separa a luz emitida por comprimento de onda) utilizado para o espectrofotômetro é uma rede de difração de transmissão. A equação que rege esse comportamento da rede será discutida no curso de física **4**. Por hora pedimos que aceitem.
- A irradiância,  $\mathbf{I}$ , é definida, em termos físicos, como a energia radiante média por unidade de área e por unidade de tempo.



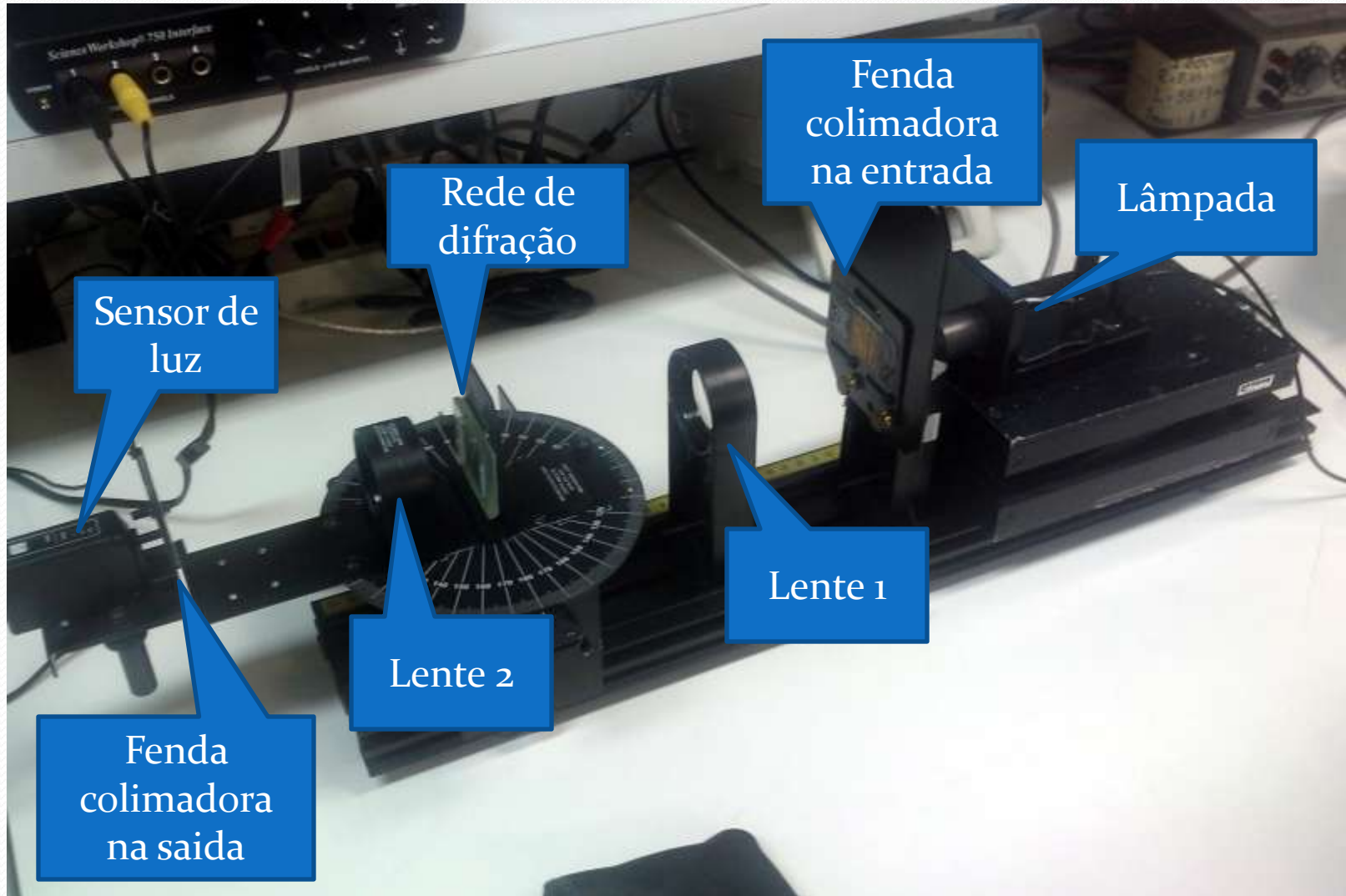
Rede de difração

# O espectrofotômetro: esquema





# Visão Geral do Espectrofotômetro

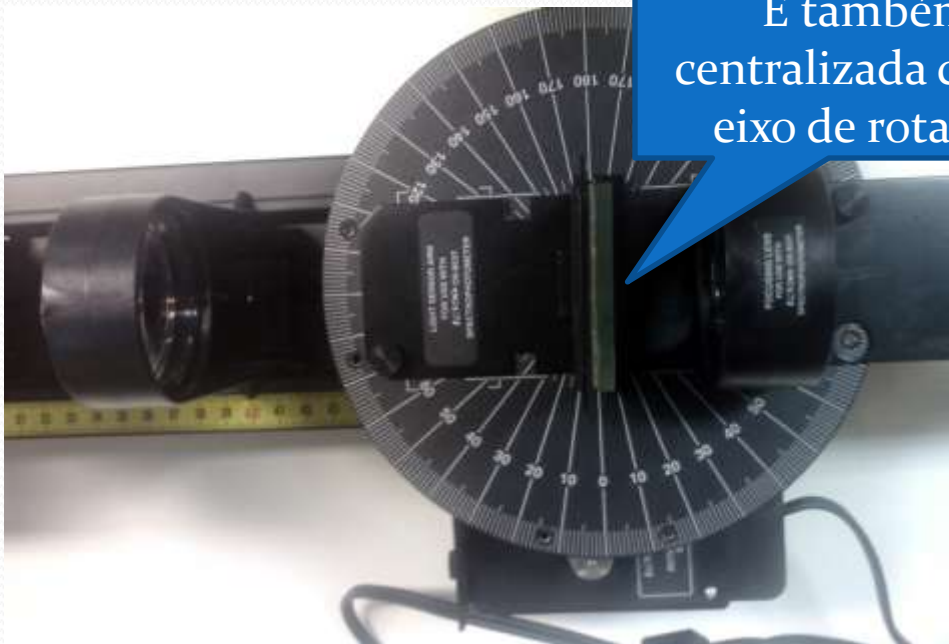


# Fenda de Entrada

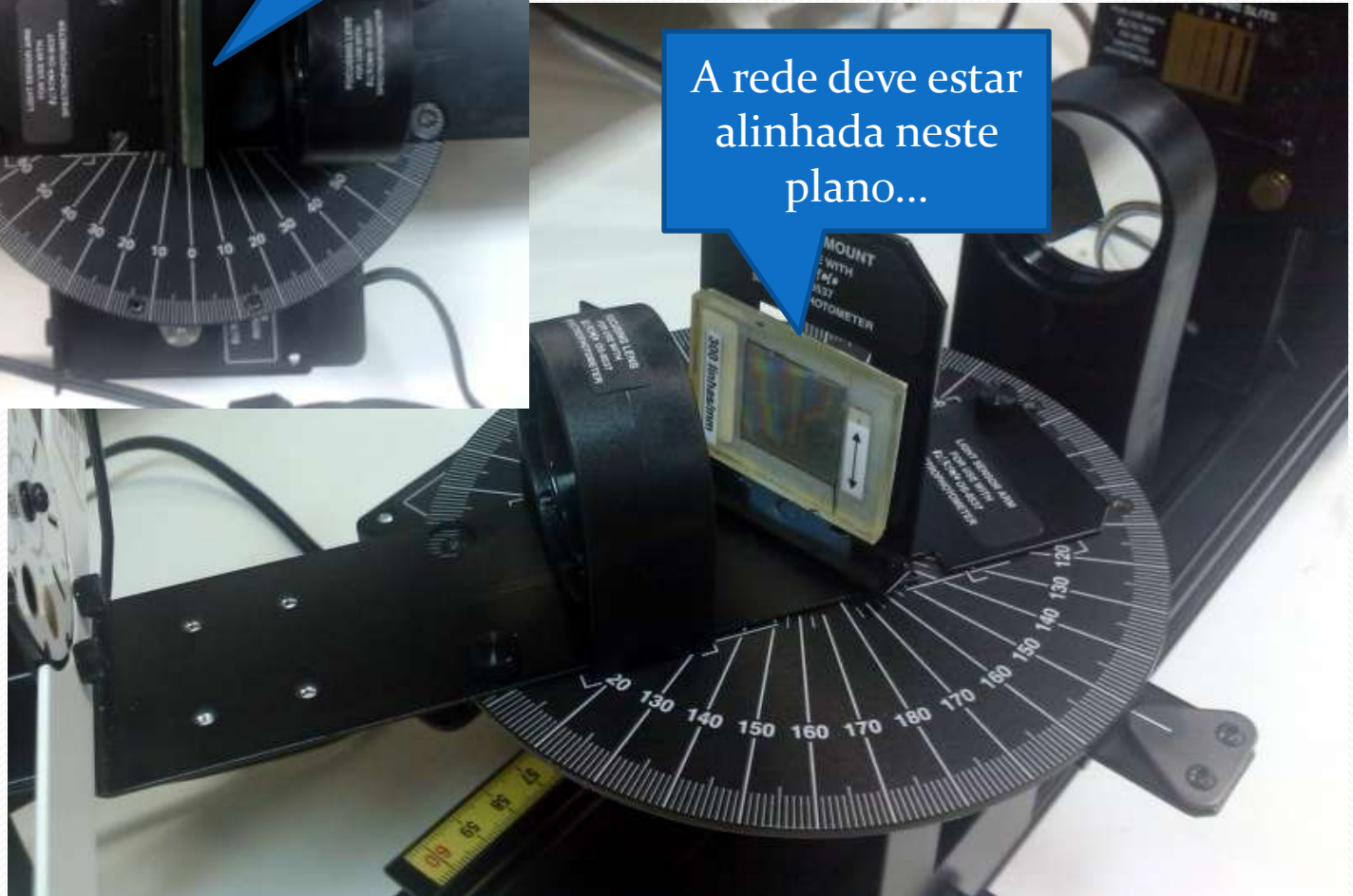


# Rede de difração

E também centralizada com o eixo de rotação

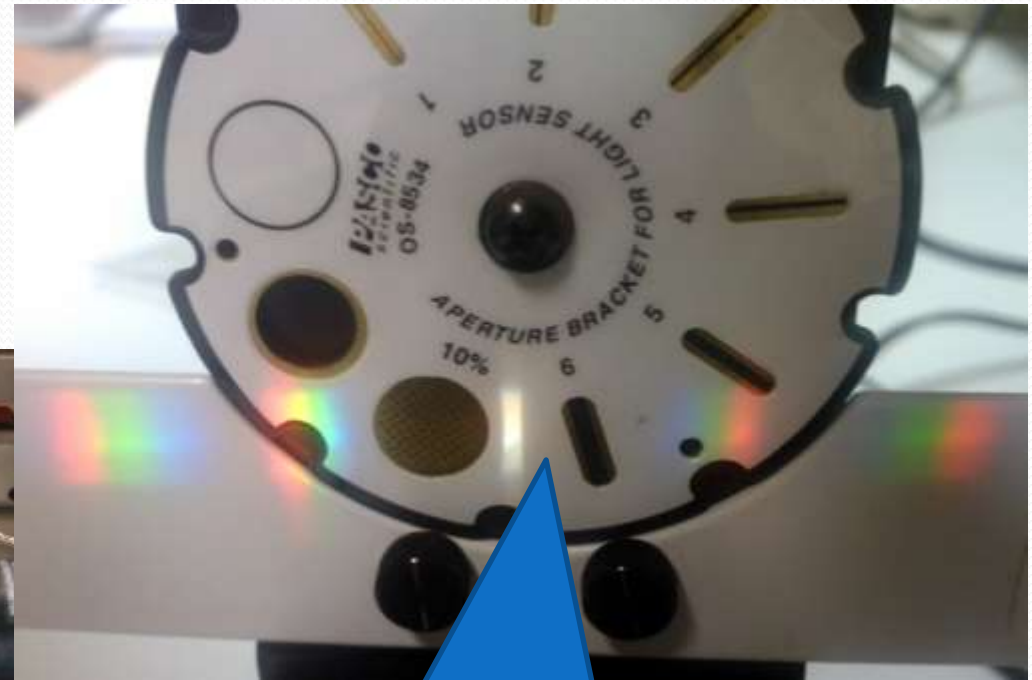
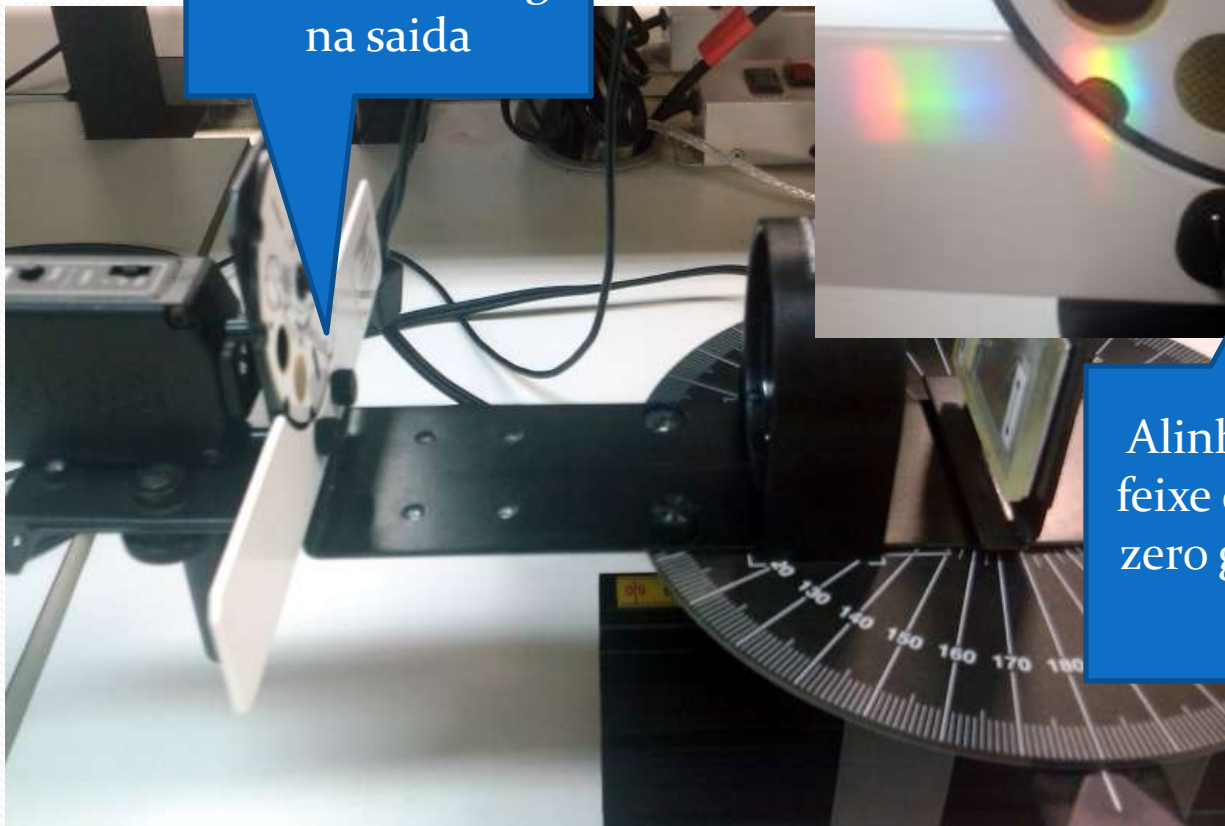


A rede deve estar alinhada neste plano...



# Fenda da saída

Usar a fenda larga na saída



Alinhar o máximo central (único feixe de saída com luz branca) em zero graus e também com a fenda de saída

# Circuito da Lâmpada



Ainda precisamos do  
circuito da lâmpada,  
pois queremos medir a  
potência ao mesmo  
tempo que medimos o  
espectro

# Alinhando o espectrofotômetro

- Para alinhar o instrumento: a imagem da fenda de entrada (luz branca) deve estar centrada na fenda de saída.
- A mesa que suporta a lâmpada deve estar em cima do trilho do instrumento.
- As fendas utilizadas são as maiores tanto na entrada equanto na saída.
- A lâmpada deve estar e **2** ou **3 cm** da fenda de entrada.
- A rede de difração deve estar com a face virada para a lâmpada exatamente na linha ) **0°** → **180°** ou os ângulos medidos terão um erro sistemático.

# Aquisição de Dados



Ligue o rotary motion sensor nos canais 1 e 2

Ligue o light sensor no canal A da Science Workshop 750 Interface

# DataStudio

Clique em “Start” e comece a girar o braço de forma contínua

The screenshot displays the DataStudio software interface. At the top, the title bar reads "DataStudio - Experiencia\_Corpo\_Negro.ds". The menu bar includes "File", "Edit", "Experiment", "Window", "Display", and "Help". Below the menu bar, there are buttons for "Summary", "Setup", "Start", "STOP 02:09.8", "Calculate", and "Curve Fit".

The left sidebar shows a "Data" panel with a tree view containing "Voltage, ChA (V)", "Light Intensity, Ch A (% max)", "y = 3333\*sin(abs(x)/60)", "Angular Position, Ch 1&2 (deg)", and "Light Intensity, Ch A vs y (% m)". Below this is a "Displays" panel with a tree view containing "314 Digits", "FFT", "Graph", "Graph 1", "Histogram", "Meter", "Scope", "Table", and "Workbook".

The main workspace is divided into several windows:

- Digits 1:** A window showing "Light Intensity, Ch A No Data" and "Light Intensity". It includes a "Show Statistics" button and a dashed line labeled "% max".
- Experiment Setup:** A window titled "Science Workshop 750" showing a list of sensors: "pH pH Sensor", "Photogate", "Photogate & Picket Fence", "Power Amplifier", "Pressure Sensor (Absolute)", "Pressure Sensor (Differential)", "Signal Output", and "Output". A "Rotary Motion Sensor" is highlighted with a dashed box.
- Graph 1:** A window showing a plot of "Light Intensity, Ch A vs y No Data". The y-axis is labeled "(% max)" and ranges from 0.0 to 6.0. The x-axis is labeled "y" and ranges from 0 to 2500. A single data point is plotted at approximately (1500, 5.5).

At the bottom, a "Science Workshop 750" interface shows a physical device with four digital channels (1-4) and three analog channels (A, B, C). A yellow cable connects channel 1 to a "Rotary Motion Sensor". A black cable connects channel A to an "IR Sensor".

Um arquivo com a configuração das medidas vai estar disponível em cada computador do laboratório



# Medidas que devem ser feitas

- Medir o espectro da lâmpada para **no mínimo 3** temperaturas diferentes (por exemplo: 1800, 2400 e 3000K)
  - Para cada temperatura determinar a potência que deve ser aplicada à lâmpada através do gráfico de potência em função da temperatura obtido previamente.
  - Conhecido o valor da potência necessária, determinar o valor de tensão e corrente que deve ser aplicado à lâmpada para obter a temperatura desejada
- Ou então faça ao contrário: escolha 3 brilhos da lâmpada no “olhômetro” e use as medidas de  $V \times i$  para encontrar o resto (usando as medidas das semanas anteriores)

# Atividades da Semana

- Verificar a lei de Wien:
  - Dos espectros obtidos, determine  $\lambda_{\max}$
  - De  $R/R_0$  determine a temperatura
  - Verifique se a lei de Wien  $T(\lambda) = 2.898 \times 10^{-3} \text{m}^0\text{K}/\lambda$  é válida. Será que 3 pontos são suficientes? Lembre-se de comparar a curva experimental com a teórica!
- Estime a área sob cada uma das curvas obtidas e veja se ela é proporcional a  $T^4$ .
- Dos espectros obtidos estime qual a porcentagem de radiação emitida pela lâmpada está na região visível do espectro
  - A lâmpada de filamento é um bom iluminador?
- Que conclusões você tira de tudo isso?