Lâmpada

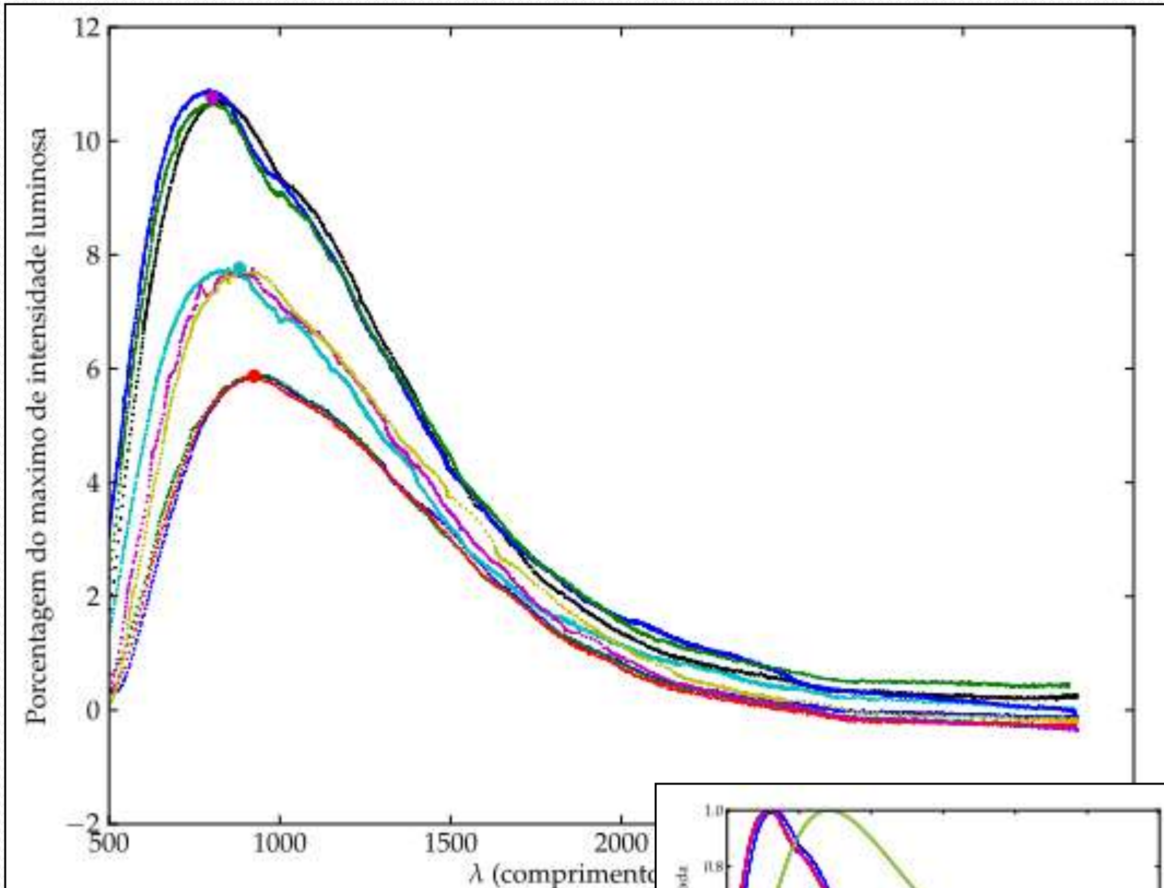
Parte 4 – Final

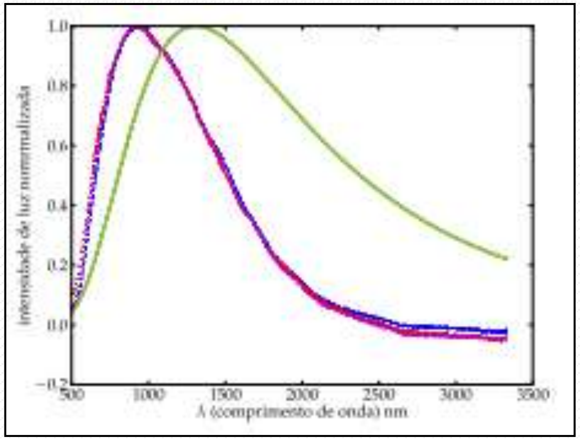
Aula 12

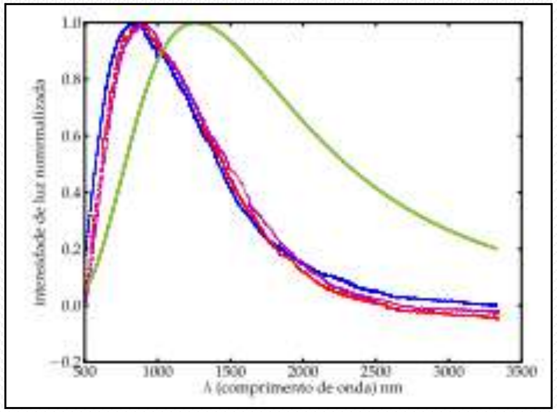
Prof. Henrique Barbosa
Edifício Basílio Jafet - Sala 100
Tel. 3091-6647
hbarbosa@if.usp.br

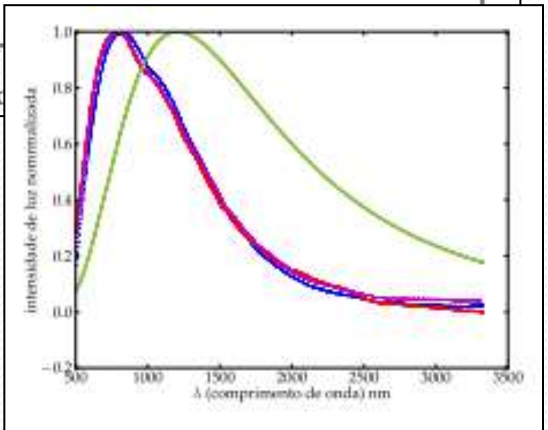
http://www.fap.if.usp.br/~hbarbosa

Espectro Teórico x Experimental









Corpo negro: definição

- A emissividade (**ε**):

$$\varepsilon = \left(\frac{\text{quantidade de energia emitida por um corpo real}}{\text{quantidade de energia emitida por um corpo negro}} \right)_T$$

  - importante: a definição é válida para corpos na mesma temperatura **T**
  - **ε** é um coeficiente adimensional .
  - caracteriza a habilidade relativa da superfície de um corpo real (não negro) de emitir radiação.

Emissividade

- Ou seja, a constante da lei de Wien supõe um corpo negro perfeito.
- Se a intensidade observada for:

$$I_{obs}(\lambda,T)=\varepsilon(\lambda,T)\cdot I_{planck}(\lambda,T)$$

- Então a derivada

$$\frac{dI_{obs}}{dT}=\frac{d\varepsilon}{dT}I_{planck}+\varepsilon\frac{dI_{planck}}{dT}$$

- ... vai se anular para um valor diferente de λ

Atividades da Semana

Espectro integrado

- Estime as áreas sob as curvas da semana passada e veja se elas são proporcionais a T^4.
- Estime a porcentagem de radiação emitida pela lâmpada está na região visível do espectro
  - A lâmpada é um bom iluminador? Comente.

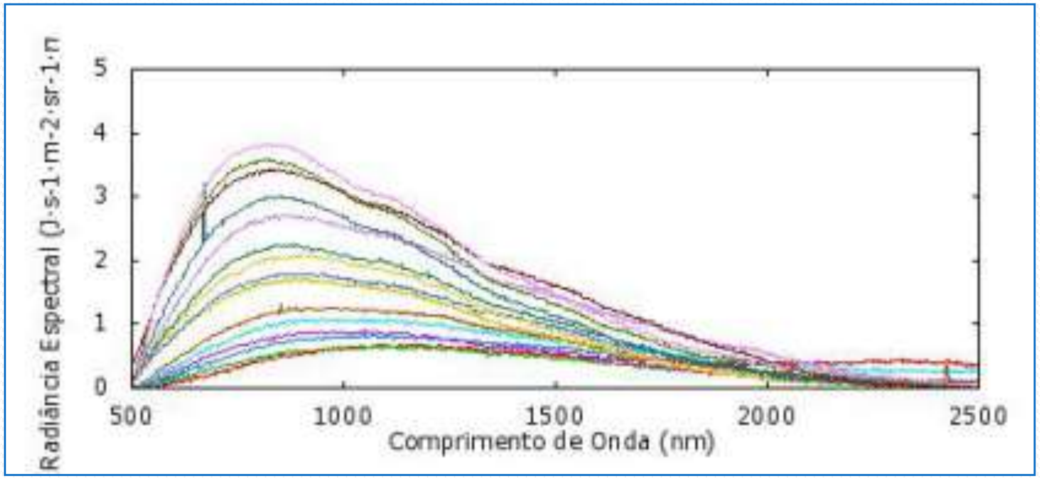
Espectro

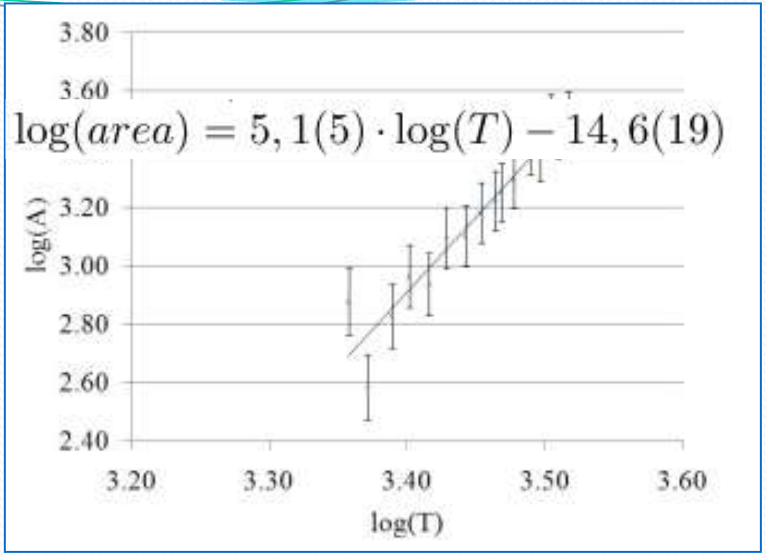
- Faça o gráfico da razão entre o espectro experimental e a curva de Planck e estude a emissividade em função de λ e **T**

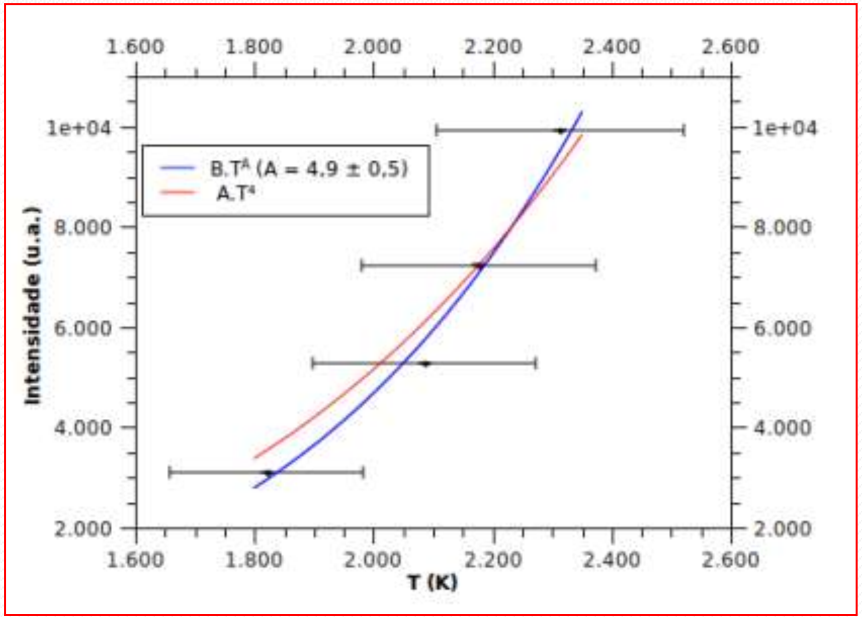
Detector

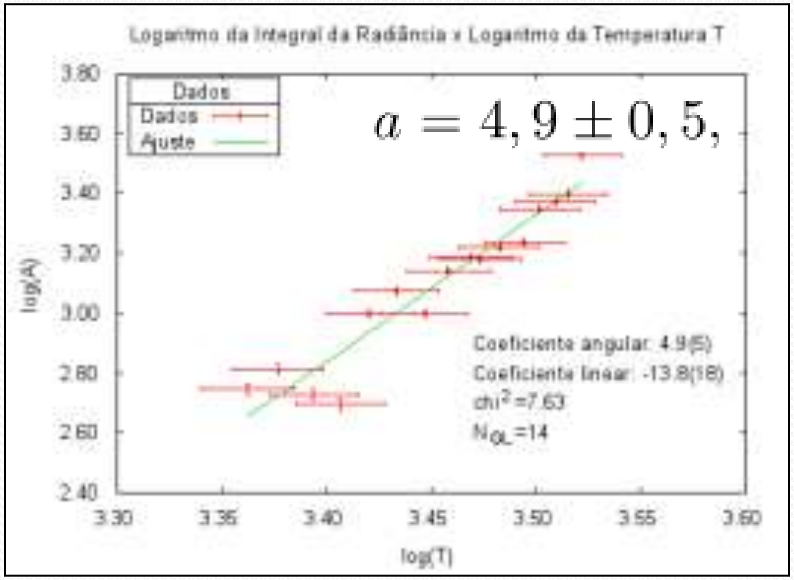
- O nosso sensor de infra-vermelho é perfeito? **Não!** Se sua sensibilidade depender de λ e/ou **T** o que vai acontecer?
  - Procure a resposta espectral do sensor no site da Pasco e tente fazer a correção necessária!

A área segue T^4 ??

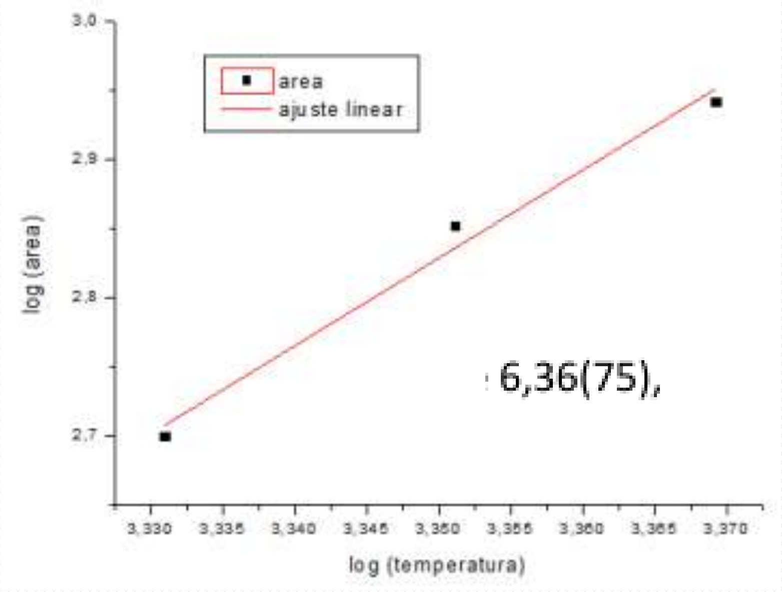


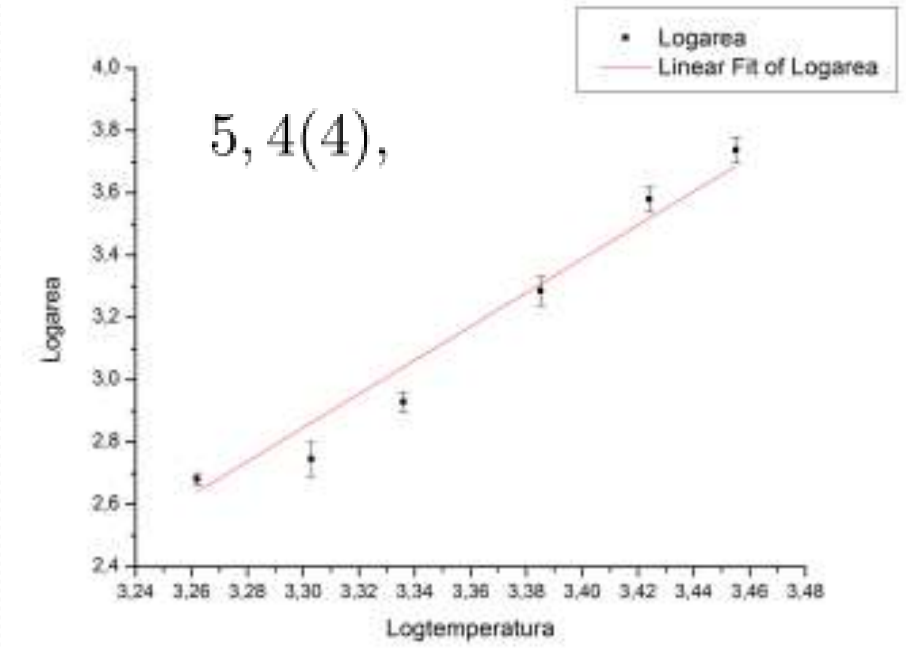






A área segue T^4 ??





A área no visível

Não devia ser uma função contínua?

Tabela 1: Dados [illegible]dos no experimento.

Medidas obtidas		Medidas obtidas	
Temperatura (K)	Porcentagem (%)	Temperatura (K)	Porcentagem (%)
$2304,1 \pm 51,7$	$9,7 \pm 0,7$	$2944,2 \pm 58,4$	$5,1 \pm 0,2$
$2380,3 \pm 52,0$	$2,0 \pm 0,5$	$2973,0 \pm 58,2$	$5,0 \pm 0,2$
$2475,8 \pm 53,2$	$5,0 \pm 0,5$	$3036,6 \pm 58,9$	$6,5 \pm 0,2$
$2549,1 \pm 53,6$	$3,1 \pm 0,6$	$3122,1 \pm 60,3$	$7,4 \pm 0,1$
$2633,3 \pm 54,7$	2,[illegible]	[illegible]	$8,5 \pm 0,1$
$2711,7 \pm 55,6$	6,[illegible]	[illegible]	$8,3 \pm 0,1$
$2799,2 \pm 56,7$	7,[illegible]	[illegible]	$6,9 \pm 0,1$
$2872,7 \pm 57,6$	4,7 ± [illegible]	$3327,0 \pm 62,5$	$9,6 \pm 0,1$

Como foram estimadas as incertezas?

Tabela 1: Valor[illegible] e seus logarítmos.

T (K)		Integral Total		Integral Visível		Radiância visível (%)		log(T)		log(A)	
Valor	Incerteza	Valor	Incerteza	Valor	Incerteza	Valor	Incerteza	Valor	Incerteza	Valor	Incerteza
2277,2	51,1	752,5	5,1	18,8	0,7	0,025	0,001	3,357	0,022	2,877	0,007
2351,5	51,4	382,4	6,3	26,4	1,5	0,069	0,004	3,371	0,022	2,582	0,017
2448,3	52,6	672,8	6,8	28,8	1,3	0,043	0,002	3,389	0,022	2,828	0,01
2519,8	53	919	6,6	40,3	1,1	0,044	0,001	3,401	0,021	2,963	0,007
2605,2	54,1	862,5	7,4	50	1,7	0,058	0,002	3,416	0,021	2,936	0,009
2681,6	55	1246,4	7,3	64,7	1	0,052	0,001	3,428	0,021	3,096	0,006
2767,4	56,1	1264,6	6,6	83,7	1,5	0,066	0,001	3,442	0,02	3,102	0,005
2839,2	56,9	1518,4	6,8	166,2	1,6	0,109	0,001	3,453	0,02	3,181	0,004
2909,2	57,7	1670	7,1	154,4	1,4	0,092	0,001	3,464	0,02	3,223	0,004
2939,5	57,5	1783,2	7,3	177,9	1,5	0,1	0,001	3,468	0,02	3,251	0,004
2999,1	58,2	1976,1	7,9	190,6	1,5	0,096	0,001	3,477	0,019	3,296	0,004
3085,4	59,6	2591,4	8,2	234,7	1,1	0,091	0,001	3,489	0,019	3,414	0,003
3136	60,1	2434,1	8	283,5	1,4	0,116	0,001	3,496	0,019	3,386	0,003
3190,9	60,7	3076,5	9	369,5	1,5	0,12	0,001	3,504	0,019	3,488	0,003
3238,4	61,2	2924,4	8,8	369,3	1,3	0,126	0,001	3,51	0,019	3,466	0,003
3287,8	61,8	3178,7	9,2	374	2,5	0,118	0,001	3,517	0,019	3,502	0,003

A área no visível

Tabela 1: Porcentagem de radiação no visível.

	$T(K)$	% visivel
$T1$	$(2,31 \pm 0,21).10^3$	14 ± 1
$T2$	$(2,18 \pm 0,17).10^3$	13 ± 1
$T3$	$(2.08 \pm 0,19).10^3$	13 ± 1
$T4$	$(1,82 \pm 0,16).10^3$	11 ± 1

Tensão utilizada (volts)	Temperatura (K)	Área total	Área do espectro visível	Emissividade média	% visível
10,0	2339,95	875,04	113,36	0,57	12,98
9,0	2244,51	711,35	90,97	0,59	12,70
8,0	2142,7	500,63	48,90	0,61	10,23

Comparação da emissão da lâmpada

Tensão(V)	Temperatura (K)	Área	Área do visível	Porcentagem
12	2851	5466	516	9,444
10	2654	3798	358	9,436
8	2427	1929	141	7,326
6	2167	848	22	2,603
5	2008	556	1	0,359
4	1827	479	16	3,364

Temperatura	Porcentagem de Radiação emitida no visível
$(26 \pm 4)10^2K$	$8,8\% \pm 1,8\%$
$(28 \pm 4)10^2K$	$15,2\% \pm 2,6\%$
$(29 \pm 4)10^2K$	$9\% \pm 3\%$
$(37 \pm 5)10^2K$	$10,7\% \pm 2,0\%$
$(38 \pm 5)10^2K$	$10\% \pm 3\%$

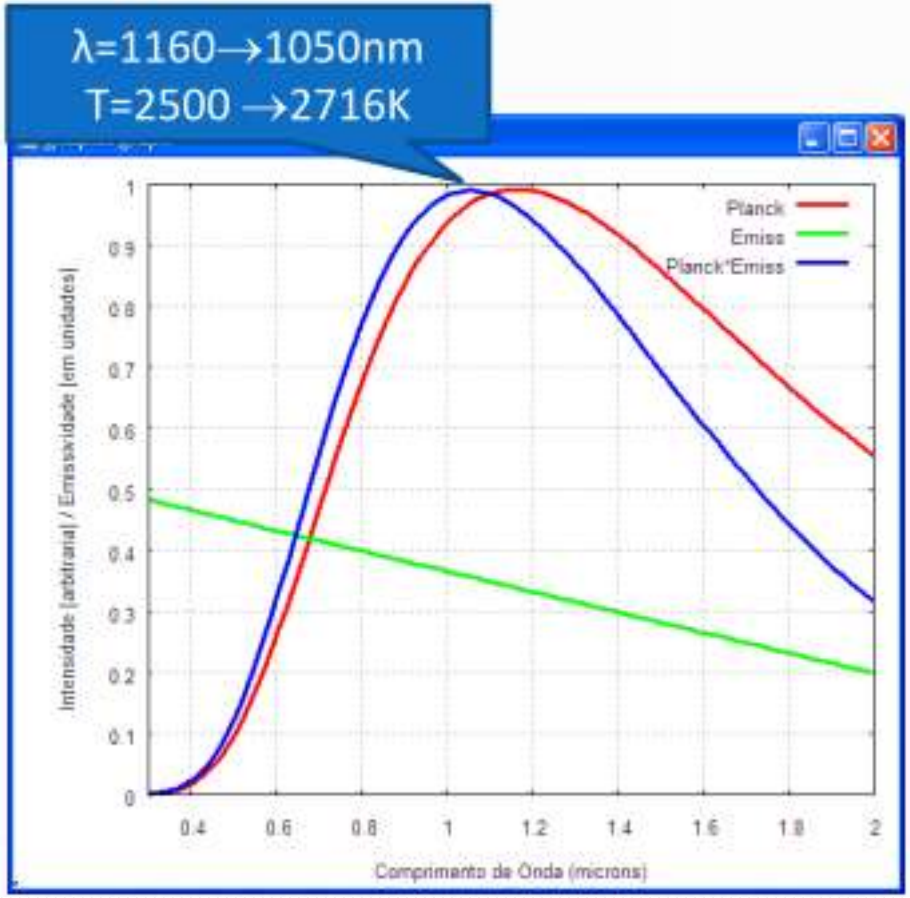
Era complicado fazer a integral da curva experimental por vários motivos: (1) precisão da medida com o sensor do DS; (2) emissividade; e (3) eficiência do dector

Área no visível

- Um maneira de contornar estes problemas era estimar a área diretamente da curva de Planck, usando o valor de temperatura estimado com R0

$$I(\lambda,T)=\frac{2hc^2}{\lambda^5}\frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda kT}}-1}$$

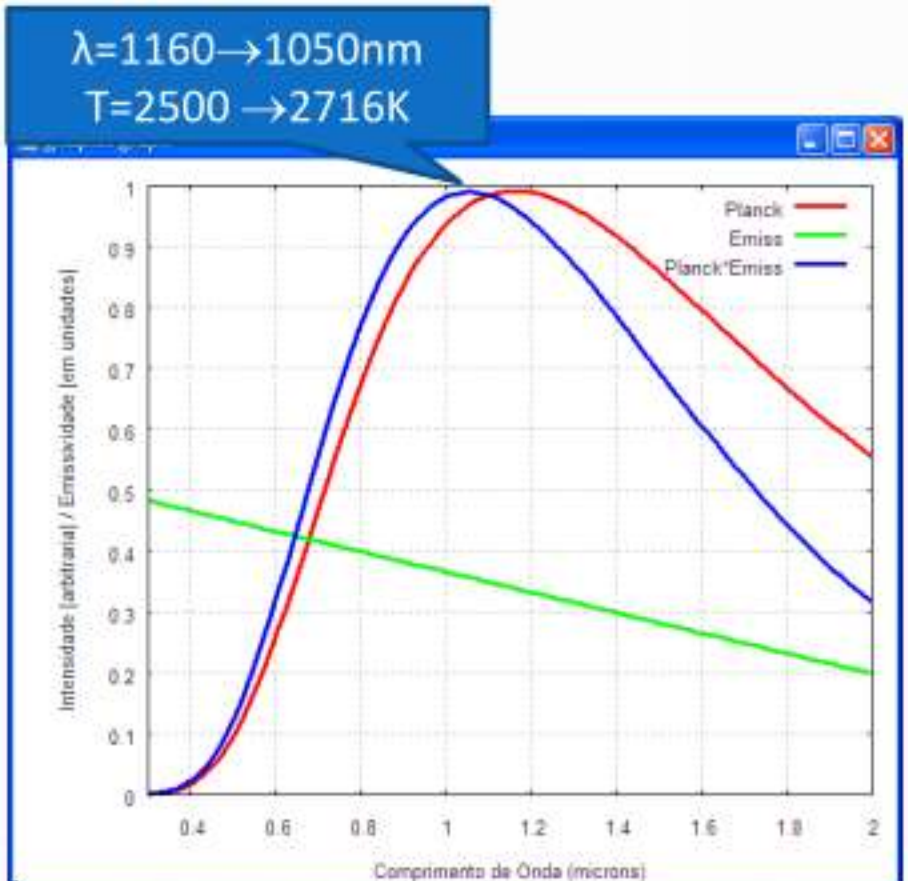
T (K)	Frac. Vis.
2000	0.7 %
2500	3 %
30000	8 %

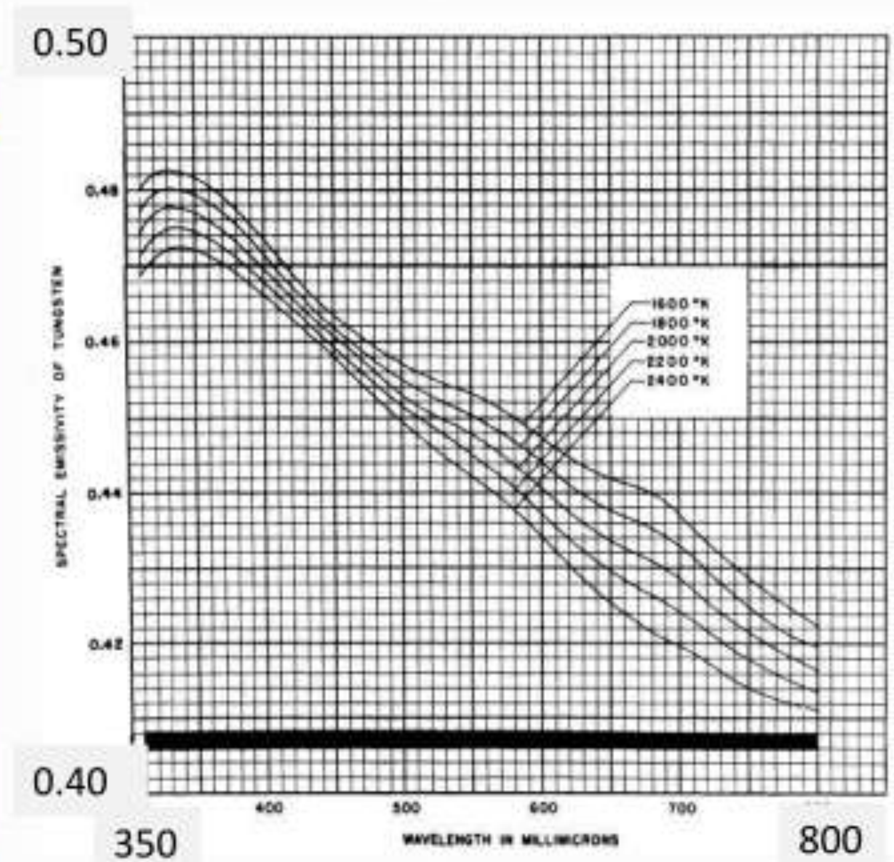


http://www.vias.org/simulations/simusoft_blackbody.html

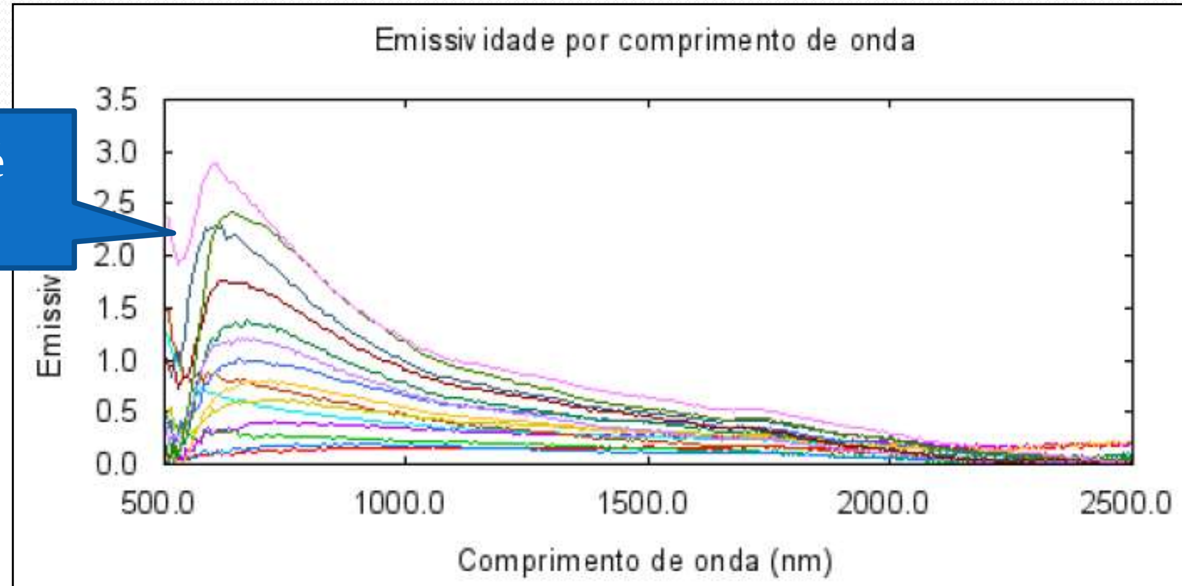
Emissividade do Tungstênio

- Neste trabalho do MIT de 1957 foi medido a emissividade do tungstênio. Eles encontraram que ela diminuía com o comprimento de onda e com a temperatura!

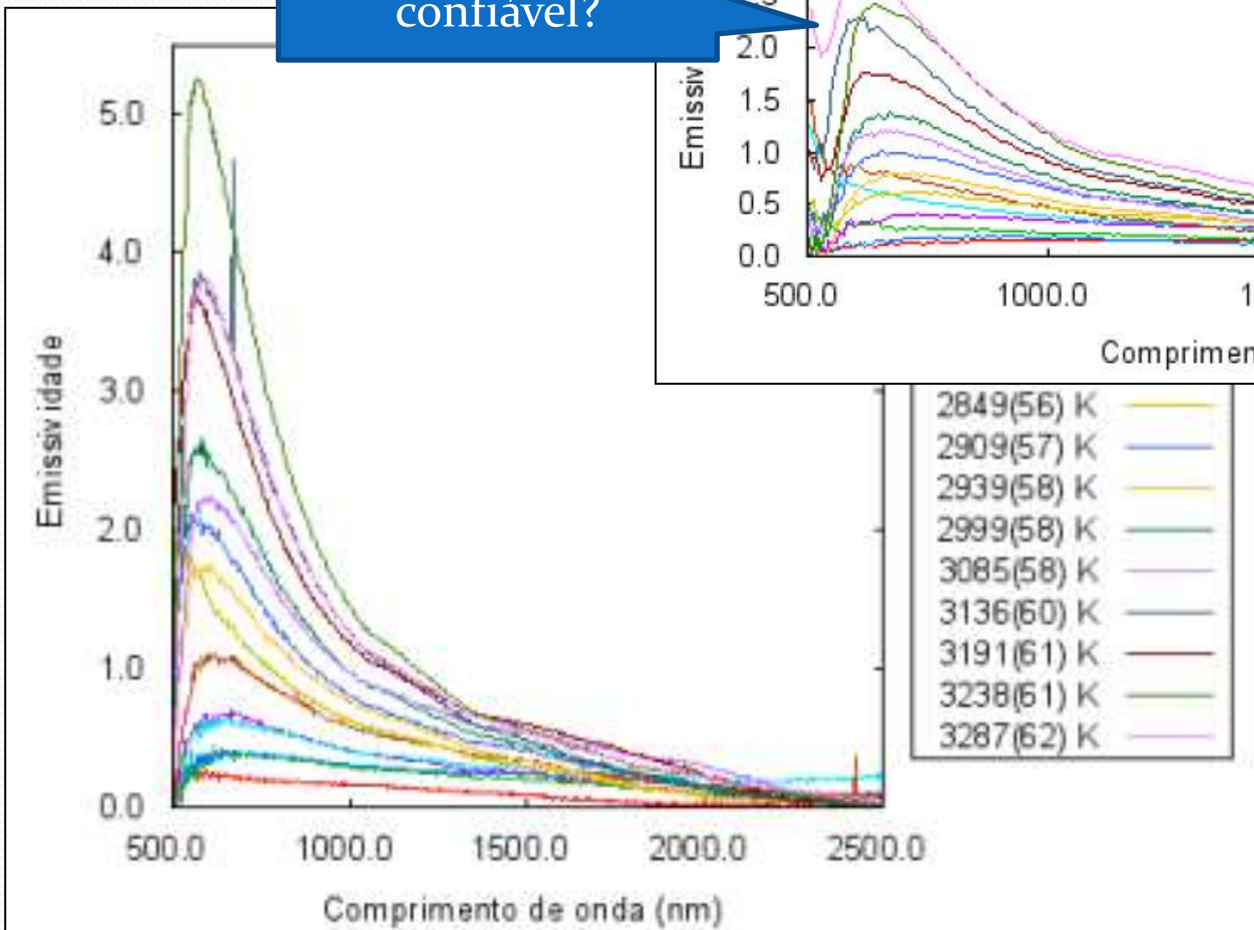




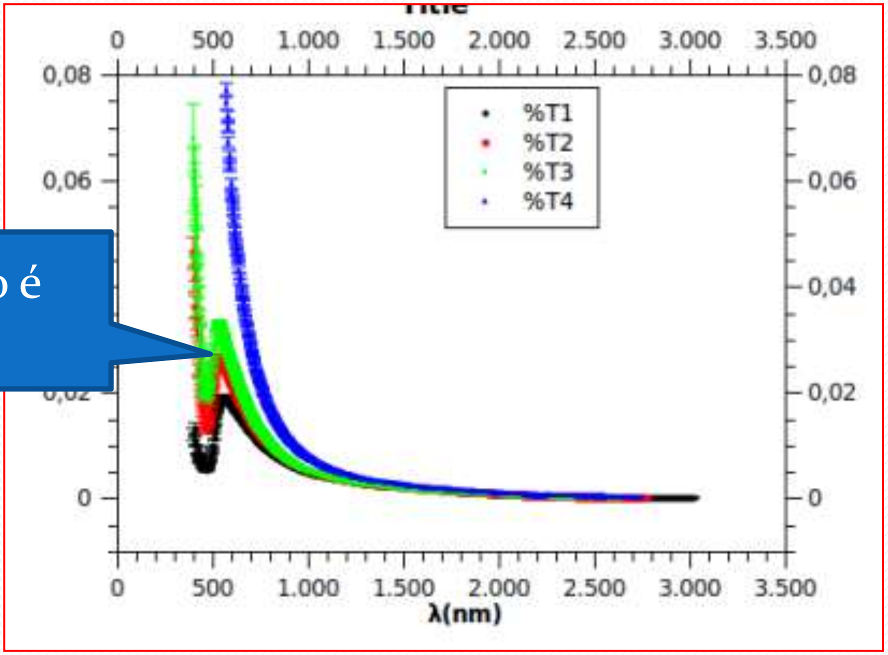
Emissividade



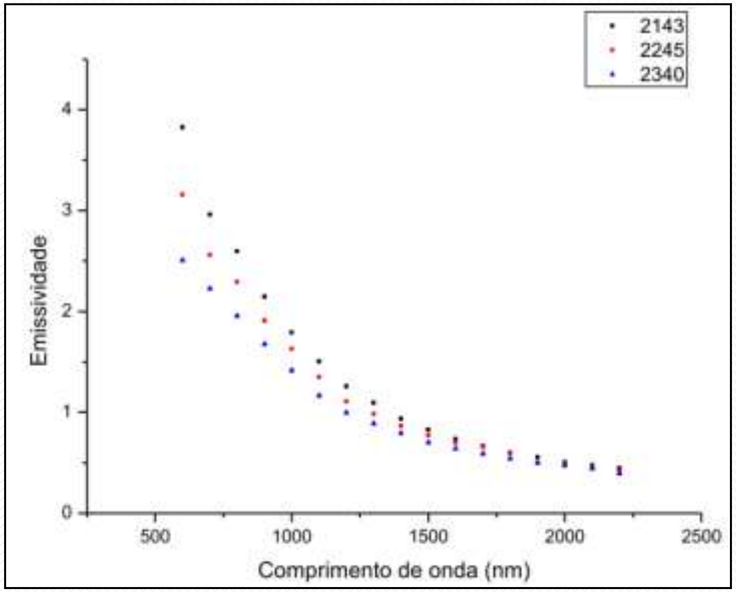
Esse redução é confiável?



Emissividade



Esse redução é confiável?



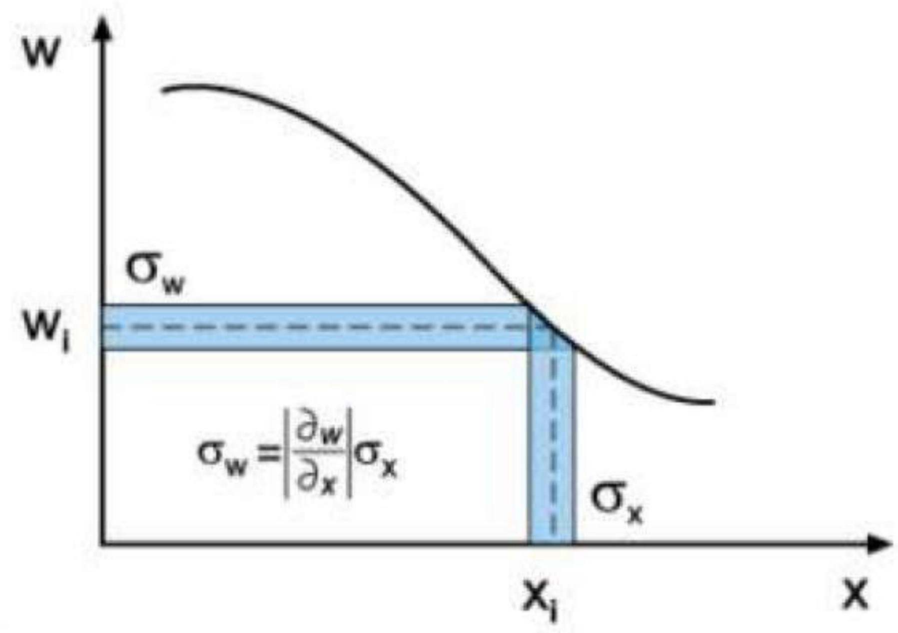
Estatística - Parte 2
Propagação de Incertezas por Monte-Carlo para variáveis independentes

Propagação de Incertezas

- O que a fórmula geral de propagação de incertezas significa?

$$F(a,b,...) \Rightarrow \sigma_F{}^2 = \left(\frac{\partial F}{\partial a}\sigma_a\right)^2 + \left(\frac{\partial F}{\partial b}\sigma_b\right)^2 + \cdots$$

- Significa quanto a variação de uma grandeza causa de variação em outra grandeza



Propagação de Incertezas

- Se quero saber o quanto as incertezas de medidas afetam outras grandezas precisamos propagar as incertezas
- Em situações simples a avaliação é fácil

$$P = V * i$$

- Mas como fazer em situações mais complexas?

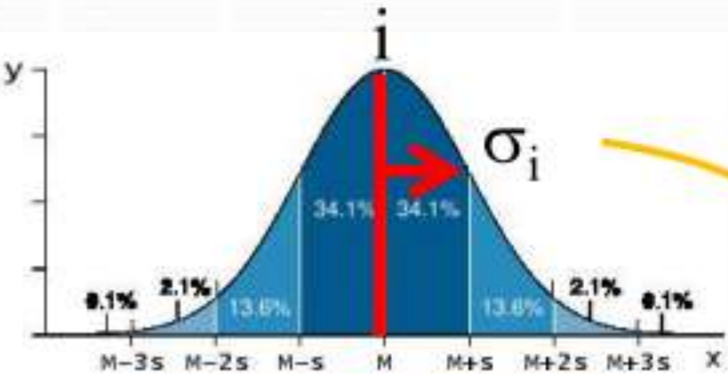
$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_V} + \frac{1}{R}$$

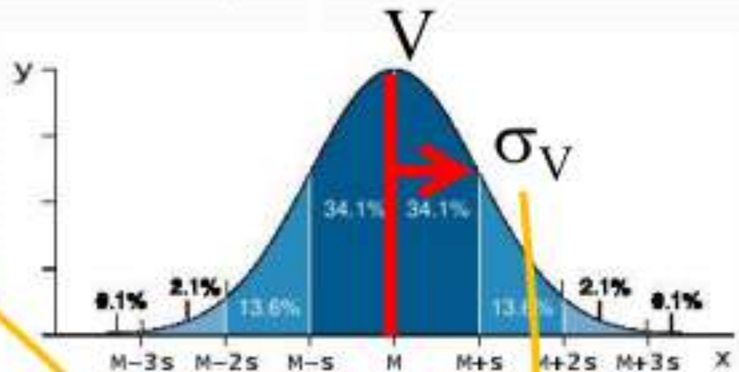
$$\text{fração do visível} = \frac{\int_{400nm}^{700nm} I(\lambda, T)\, d\lambda}{\int_{0}^{\infty} I(\lambda, T)\, d\lambda}$$

- Simulações de Monte Carlo

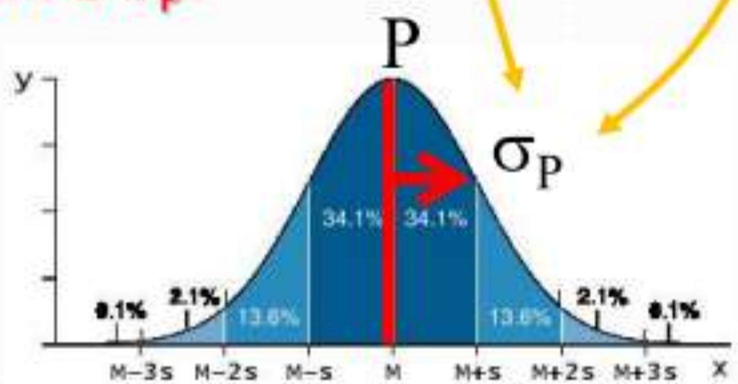
Caso Simples: P = V * i

- Medimos uma corrente e uma tensão, qual a potência?





- O que acontece é que não temos certeza dos valores reais de i ou de V, portanto também não podemos ter certeza do valor de P, mas quem é σ_P?



Caso Simples: P = V * i

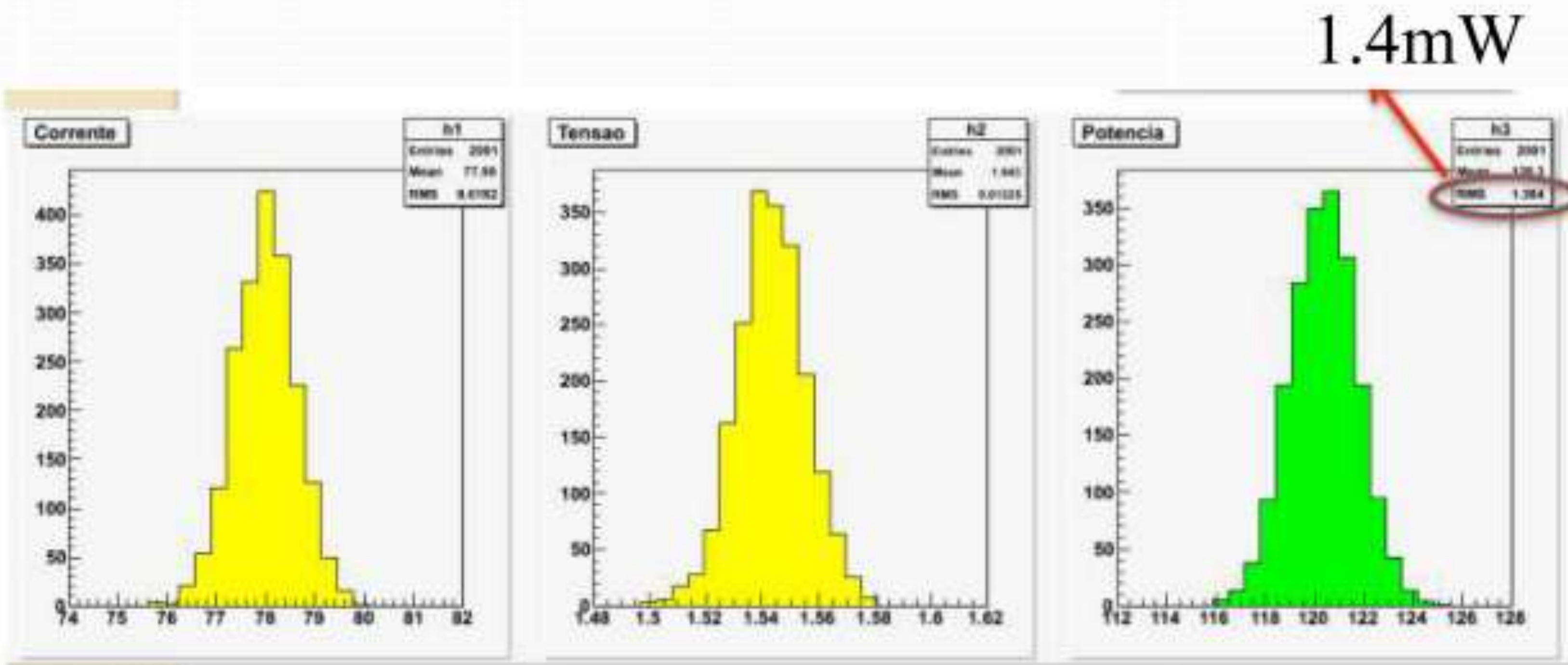
Método de Monte Carlo

- Sorteia-se um valor para a corrente usando uma distribuição gaussiana com média **i** e variância σ_i^2
- E para a tensão com média **V** e variância σ_V^2
- Para cada par de valores sorteados, calculamos a potência correspondente
- Repetimos o procedimento várias vezes
- A incerteza na potência será o desvio padrão de todos os valores calculados

Nota: Como sorteamos os dois valores de maneira independente, não estamos considerando nenhuma covariância entre eles. Dá pra fazer Monte Carlo com covariância, mas é mais complicado...

Exemplo Concreto

- i=78±0.6mA
- V=1.543 ±0.012mV
- P=V*i=120.3 ± ?? mW



Cálculo no Excel

- Para sortear um número aleatório, com distribuição Gaussiana no Excel, dado

$$X = X_0 + \sigma_X$$

- Usa-se a expressão

NORMINV(RAND(), média, sigma)

- ...ou algo semelhante, depende da versão. Tem uma planilha pronta no site, junto das notas de aula do Suaide.

Vantagens

- O conceito é bastante intuitivo
- Fácil de implementar em planilhas eletrônicas (Excel, OO, etc)
- Não é necessário fazer as derivadas parciais para propagar as incertezas
- Independente da complexidade das contas, que podem tornar o cálculo de derivadas parciais muito complicados