

RELATÓRIO 2 - RADIAÇÃO TÉRMICA

Nome: Fábio Eduardo Flores de Lima

Nº USP: 10232343

RESUMO

O experimento realizado buscou validar a lei de Stefan-Boltzmann e também estudar a Teoria da Radiação de Corpo Negro. Estudamos também a radiação do corpo humano, e chegamos à resultados satisfatórios considerando a complexidade do experimento.

Introdução

Radiação térmica é aquela radiação emitida por um corpo devido a sua temperatura, sendo que todo corpo emite esse tipo de radiação e também absorve. Podemos comparar a frequência da radiação térmica ao aproximamos de uma fonte incandescente. Mesmo se o ar ao nosso redor estiver frio, percebemos um aquecimento da nossa pele. Nesta situação, a maior parte de calor que nos chega não se propaga por convecção no ar e sim na forma de radiação térmica. Essa radiação é calor, emitida por um corpo à temperatura ambiente e invisível, uma energia não útil.

Em 1879 Josef Stefan propôs a correlação da radiação R emitida por um corpo a temperatura T, por:

$$R = \sigma T^4 \quad (1)$$

onde $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4$ é a constante Stefan-Boltzmann

Outra radiação, foi proposta por Wien, onde a frequência na qual a radiação apresenta seu valor máximo é propo-

ciencia à temperatura

$$k_B = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K} \rightarrow \text{valor de } T = 2,898 \cdot 10^{-3} \text{ (m)}$$

Planck apresentou uma equação para descrever a densidade de energia do espectro de um corpo negro $f(\nu)$:

$$f(\nu) d\nu = \left(\frac{8\pi\nu^2}{c^3} \right) \frac{h\nu}{e^{h\nu/kT} - 1} d\nu \quad (3)$$

ν = frequência [Hz]

c = velocidade da luz ($2,998 \cdot 10^8 \text{ m/s}$)

k_B = cte de Boltzmann ($1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$)

h = cte de Planck

T = temperatura do corpo em K

Montagem e Métodos

• Materiais:

- Serra de radiação Tempilla TD-8853
- Utlimita acoplada ao sensor de radiação
- Cubo de radiação LiMica TD-8554A
- Potenciômetro Variac
- Termopar digital
- Ventilador de resfriamento
- Lanterna de Stefan-Boltzmann TD-8555, fonte de alimentação, utlmita e potenciômetro
- Tábua com escala milhada, régua 50 cm e paquímetro

Observação: A irradiância emitida será determinada pelo sensor de radiação acoplado a um multímetro com sensibilidade mV. É necessário converter os valores em mV para mW usando a divisão pela área e assim obter o valor da irradiância.

$$R = \frac{V}{DA} \quad (4)$$

onde:

V → tensão em Volts

D → cte. de conversão (18,9 ± 9,8) V/W

A → área do sensor de radiação

1-) Lei de Stefan-Boltzmann

Inicialmente estudamos a validação da lei de Stefan-Boltzmann para altas temperaturas.

Posicionamos o sensor próximo à lâmpada para que a radiação emitida em função da intensidade da lâmpada fosse determinada.

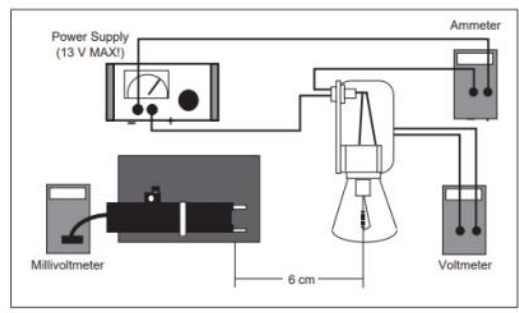
Variamos a intensidade da lâmpada aplicando 2 diferentes valores de tensão e corrente e verificamos os valores de radiação detectada pelo sensor.

Utilizamos a relação conhecida para determinar a temperatura do filamento:

$$(5) \quad T = \frac{R - R_{ref}}{\alpha} + T_{ref}$$

R → resistência do filamento
 R_{ref} → resistência de referência
 $\alpha = 0,0045$

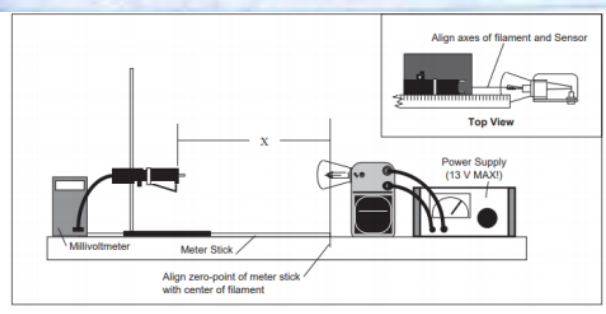
Utilizaremos a seguinte esquema para a realização do experimento:



(Figura 1: aparato experimental para a verificação da Lei de Stefan-Boltzmann para altas temperaturas)

2) Lei do Inverso do Quadrado da distância

Utilizaremos o seguinte esquema para a realização do experimento:



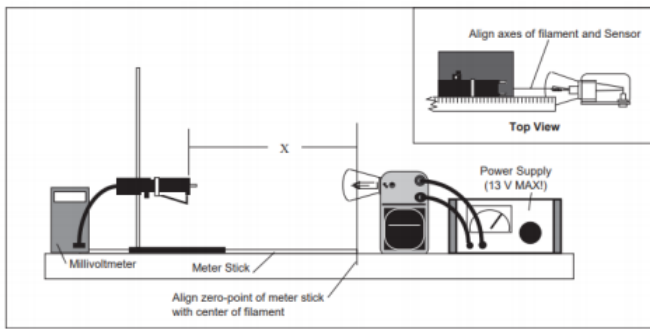
(Figura 2: aparato experimental utilizado para a verificação da Lei do inverso do quadrado da distância)

Variamos a posição do sensor em relação à lâmpada e assim verificamos a variação da irradiância.

3) Análise Qualitativa da Potência Térmica

Utilizaremos um cubo de alumínio, sendo que ele tem 4 faces distintas (branca, lisa, áspera e negra). Dentro do cubo temos uma lâmpada, responsável por aquecê-lo conforme a variamos a potência nela. Utilizaremos os valores de 10%, 20%, 30%, 70% e 100% da potência. Nessa mesma então a temperatura e a irradiância são lidas por cada face do cubo.

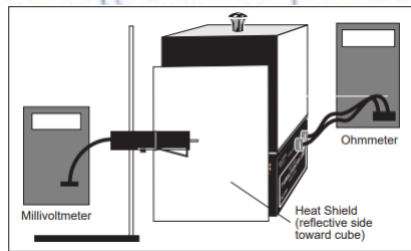
O esquema utilizado foi o seguinte:



(Figura 2: aparato experimental utilizado para a verificação da Lei do inverso do quadrado da distância)

4) **Intensidade de uma fonte não pontual**
 medimos a irradiância de uma das faces do cubo, com o mesmo aquecido em potência máxima. Variamos a distância do sensor ao cubo, começando em 0 cm e indo até 20 cm, em passos de 0,5 cm.

5) **Lei de Stefan-Boltzmann para baixas temperaturas**
 Utilizamos o seguinte esquema:



O sensor foi misturado a uma das faces do cubo e a irradiância foi monitorada em função do resfriamento do cubo, registrando a tensão no sensor e a temperatura. Conforme a temperatura diminuiu em 1°C a leitura da radiação caía.

6) **Radiação do corpo humano**

A irradiância emitida pelo nosso corpo foi determinada ao incostar o sensor em nossa pele, registrando a temperatura da pele.

Resultados e Discussão

1) Variando a tensão da lâmpada há uma variação na intensidade da corrente, de modo que é possível medir a irradiação da mesma em função da variação da sua intensidade.

Calculamos o valor da resistência do filamento da lâmpada pelo lei de Ohm.

A temperatura do filamento foi obtida fazendo a interpolação dos dados calculados de resistência com os dados fornecidos no anexo. Com todos estes dados em mãos produzimos a tabela 1.

Tensão Lâmpada (V)	Tensão Sensor (mV)	Corrente Lâmpada (A)	R (ohms)	R/R300K	T (K)	W/m ²
1,0	0,0	0,87	1,149	5,747	1249	0,0
2,0	0,3	1,1	1,818	9,091	1840	4,0
3,0	1,1	1,28	2,344	11,719	2280	14,6
4,0	2,4	1,47	2,721	13,605	2580	31,8
5,0	4,2	1,66	3,012	15,060	2811	55,6
6,0	6,4	1,83	3,228	16,393	3015	84,7
7,0	8,7	1,98	3,535	17,677	3208	115,1
8,0	11,2	2,13	3,756	18,779	3372	148,1
9,0	13,6	2,24	4,018	20,089	3506	179,9
10,0	16,6	2,38	4,202	21,008	3520	219,6

tabela 1

com os dados da tabela 1, construímos um gráfico de irradiação x temperatura. Fitamos com a equação $y = a \cdot b^x$

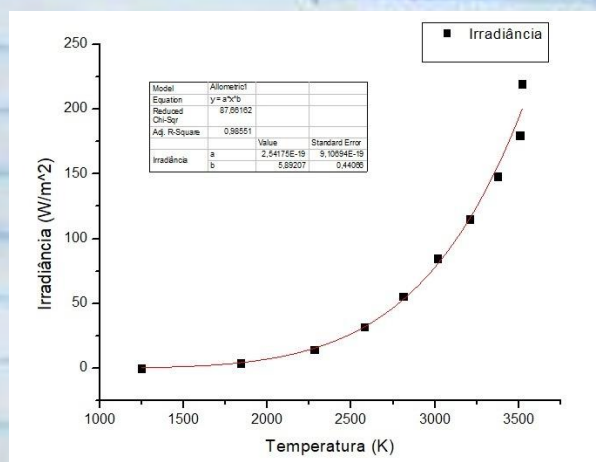


Gráfico 1

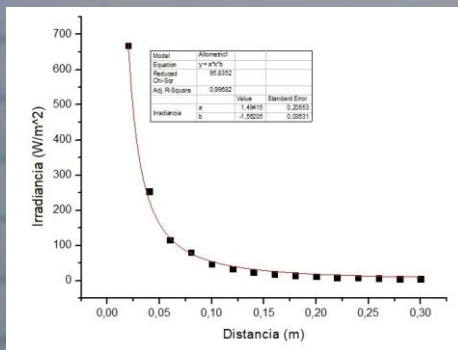
Os valores encontrados são bastante interessantes, apesar de ser de uma única prova. As variações na voltagem por o filamento não é uma boa fonte pontual (como supõe a lei de Stefan-Boltzmann) e também não toda radiação emitida por ela é detectada pelo detector. Por estes motivos podemos validar a lei de Stefan-Boltzmann.

2.2) Fixamos a voltagem da lâmpada em 10V, e calculamos os valores de condutância. Estes valores estão apresentados na tabela abaixo:

Distância (m)	Tensão (V)	Potência/Área (W/m ²)
0,02	0,0505	667,989
0,04	0,0192	253,968
0,06	0,0087	115,079
0,08	0,0061	80,688
0,1	0,0036	47,619
0,12	0,0025	33,069
0,14	0,0018	23,810
0,16	0,0014	18,519
0,18	0,0011	14,550
0,2	0,0009	11,905
0,22	0,0007	9,259
0,24	0,0006	7,937
0,26	0,0005	6,614
0,28	0,0004	5,291
0,3	0,0004	5,291

tabela 2

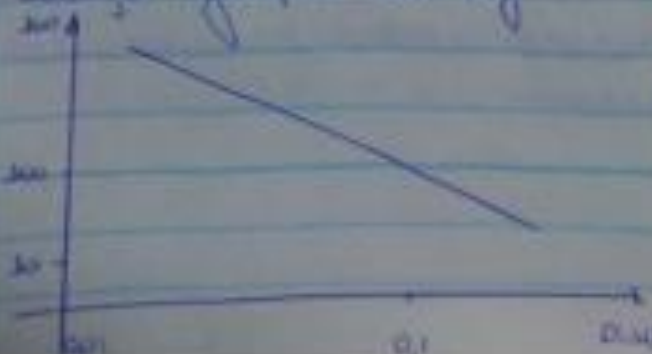
Com os valores da tabela acima, plotamos o seguinte gráfico:



$b = -1,56 \pm 0,08$
 b teórico = π
erro = 87%

gráfico 2

Esboço gráfico de log



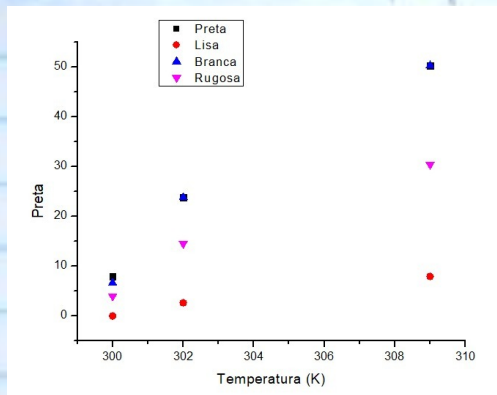
$b = \text{coef ang} = (1,07 \pm 10,04)$
expoente 2
erro 6,5

gráfico 3

Para diferentes valores da temperatura pura do cubo (potência), calculamos os valores de irradiância de cada face e obtemos os seguintes resultados:

Ajuste do variac	Temp. (oC)	Tensão Para as Seguintes Superfícies				Irradiância (W/m ²)			
		Preta	Lisa	Branca	Rugosa	Preta	Lisa	Branca	Rugosa
10%	300	0	0	0	0	0	0	0	0
30%	302	0	0	0	0	0	0	0	0
50%	309	0,0006	0	0,0005	0,0003	7,937	0	6,614	3,968
70%	319	0,0018	0,0002	0,0018	0,0011	23,810	2,646	23,810	14,550
100%	335	0,0038	0,0006	0,0038	0,0023	50,265	7,937	50,265	30,423

Com os resultados acima, plotamos o seguinte gráfico:



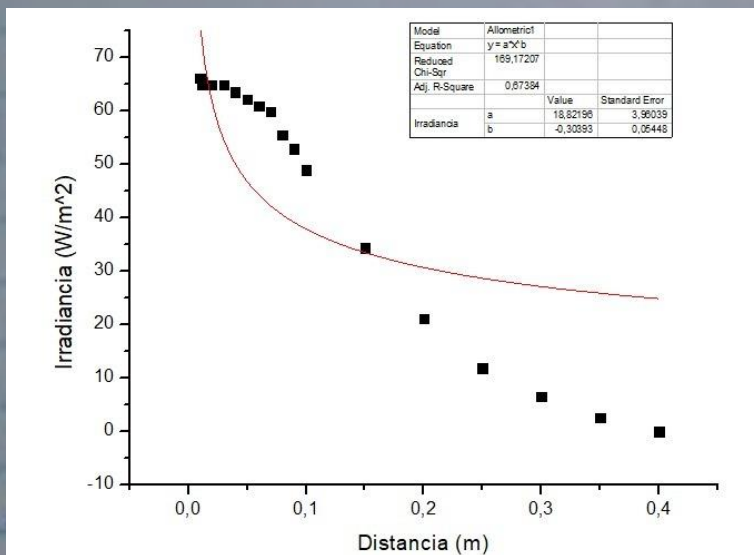
Podemos observar que a face preta apresenta uma irradiância igual à da face branca, sendo esta a duas vezes, seguida pela face rugosa e lisa. Portanto: Preta = Branca > Rugosa > Lisa. Estes resultados coincidem com o esperado.

Para esta parte do experimento, estamos o decaimento da irradiância em função do inverso do quadrado da distância, para uma fonte não pontual. Os resultados obtidos estão na tabela da irradiância.

Distância (cm)	Temperatura (oC)	Tensão no sensor	Irradiância a (W/m ²)
0,01	74	0,0050	66,138
0,011	74	0,0050	66,138
0,012	74	0,0049	64,815
0,013	74	0,0049	64,815
0,014	74	0,0049	64,815
0,015	74	0,0049	64,815
0,016	74	0,0049	64,815
0,017	74	0,0049	64,815
0,018	74	0,0049	64,815
0,019	74	0,0049	64,815
0,02	75	0,0049	64,815
0,03	75	0,0049	64,815
0,04	75	0,0048	63,492
0,05	75	0,0047	62,169
0,06	75	0,0046	60,847
0,07	75	0,0045	59,524
0,08	75	0,0042	55,556
0,09	75	0,0040	52,910
0,1	75	0,0037	48,942
0,15	76	0,0026	34,392
0,2	76	0,0016	21,164
0,25	76	0,0009	11,905
0,3	76	0,0005	6,614
0,35	76	0,0002	2,646
0,4	76	0	0

tabela 4

Com os dados acima plotamos o seguinte gráfico



o valor de a = 18,82198
 o valor de b = -0,30893
 gráfico 5

12) Utilizando os dados de radiação de uma das faces do cubo em função do decréscimo da temperatura do mesmo. Obtermos os seguintes dados:

T(C)	Vsensor	P (W/m2)
349	0,0054	71,4
348	0,0053	70,1
347	0,0052	68,8
346	0,0050	66,1
345	0,0049	64,8
344	0,0048	63,5
343	0,0046	60,9
342	0,0044	58,2
341	0,0043	56,9
340	0,0040	52,9
339	0,0039	51,6
338	0,0037	48,9
337	0,0036	47,6
336	0,0034	45,0
335	0,0032	42,3
334	0,0031	41,0
333	0,0030	39,7
332	0,0029	38,4
331	0,0028	37,0
330	0,0027	35,7
329	0,0025	33,1
328	0,0024	31,7
327	0,0023	30,4
326	0,0022	29,1
325	0,0020	26,5
324	0,0019	25,1
323	0,0018	23,8
322	0,0017	22,5
321	0,0015	19,8
320	0,0014	18,5
319	0,0014	18,5
318	0,0013	17,2
317	0,0012	15,9
316	0,0010	13,2
315	0,0009	11,9
314	0,0008	10,6
313	0,0007	9,3
312	0,0006	7,9
311	0,0005	6,6
310	0,0005	6,6

tabela 5

Utilizando os dados acima, fizemos o seguinte gráfico

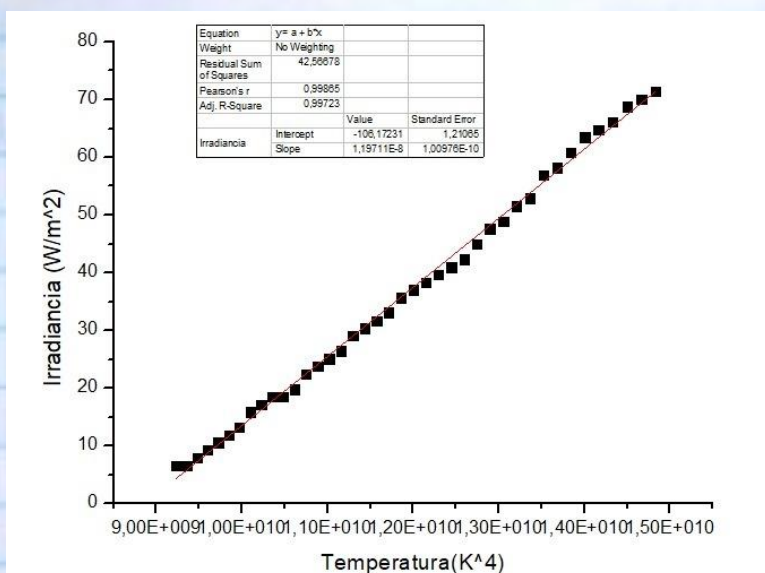


gráfico 6

• fazemos através que neste gráfico a lei de Stefan Boltzmann apresenta uma equação linear com coeficiente angular igual a $(1,21 \pm 0,02) \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4$, mas o valor teórico esperado é de $5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4$. Também apresenta um erro de 78,04%.

3) Para estudarmos a irradiação do corpo humano, coletamos dados de temperatura da pele do corpo humano de diferentes pessoas.

Nota teórica da área residual da pele: $1,2 \text{ m}^2$

Pessoa	Medições do sensor em mV			Irradiância				
	A	B	C	A	B	C	Média	Desvio
Antebraco	0,0004	0,0003	0,0002	5,2910	3,9683	2,6455	3,9683	1,3228
Pescoço	0,0005	0,0004	0,0004	6,6138	5,291	5,291	5,7319	0,7637
Palma da mão	0,0004	0,0004	0,0001	5,2910	5,291	1,3228	3,9683	2,2911

Labial

Obtivemos a média de $(3,96 \pm 0,81) \text{ W/m}^2$

Considerando os valores experimentais obtivemos o resultado abaixo do esperado.

Sabemos que a irradiância máxima do corpo humano é de 75 W/m^2 , mas estes valores são para o corpo inteiro. Porém nos cálculos utilizamos a área lateral do corpo inteiro, e decidimos ter utilizado a área apenas da parte do corpo sendo analisada.

Uma fator importante também é a consideração da temperatura ambiente nos cálculos.

Conclusão

Podemos concluir que a Lei de Stefan-Boltzmann é válida, pois para se obter a irradiância de corpos negros, como nós que conseguimos obter um resultado desviando apenas 23% de erro. Percebemos também que a forte correlação ocorre a lei do inverso do quadrado da distância.

Analisando quantitativamente a irradiância das 4 faces do cubo observamos que a face frontal apresenta uma irradiância maior, enquanto a face lateral apresenta a menor irradiância, como é o esperado. Reflta **Dezesseis**

Todos os resultados obtidos estão dentro da expectativa, mesmo considerando os erros. Este experimento apresenta um alto nível de complexidade, pois não estamos em condições ideais e parte da invariância é absorvida pelo ambiente.

Referências

- Retiro Experimental
- Mundo Educação
- Info Escola