

RADIAÇÃO TÉRMICA

Resumo: A partir da temperatura de um objeto é possível mensurar qual a quantidade de radiação que o mesmo irradia. Neste experimento foi estudado as leis de radiação térmica, com o auxílio de um filamento de uma lâmpada e até mesmo tentou-se mensurar a radiação do corpo humano.

Introdução: Na física, um corpo negro é um objeto hipotético que absorve toda a radiação eletromagnética que nele incide. Apesar do nome, corpos negros emitem radiação, o que permite determinar sua temperatura. Na natureza não existem corpos negros perfeitos, já que nenhum objeto consegue ter absorção e emissão perfeitas.

Independente da sua composição, verifica-se que todos os corpos negros a mesma temperatura emitem radiações térmicas com mesmo espectro. Conforme a temperatura da fonte luminosa aumenta, o espectro de corpo negro apresenta picos de emissão em menores comprimentos de onda.

Muitos estudiosos tentaram conciliar a conceitualização de corpo negro com a distribuição de energia prevista pela termodinâmica, mas os espectros obtidos experimentalmente, ainda que válidos para baixas frequências apresentaram muita discrepância da previsão.

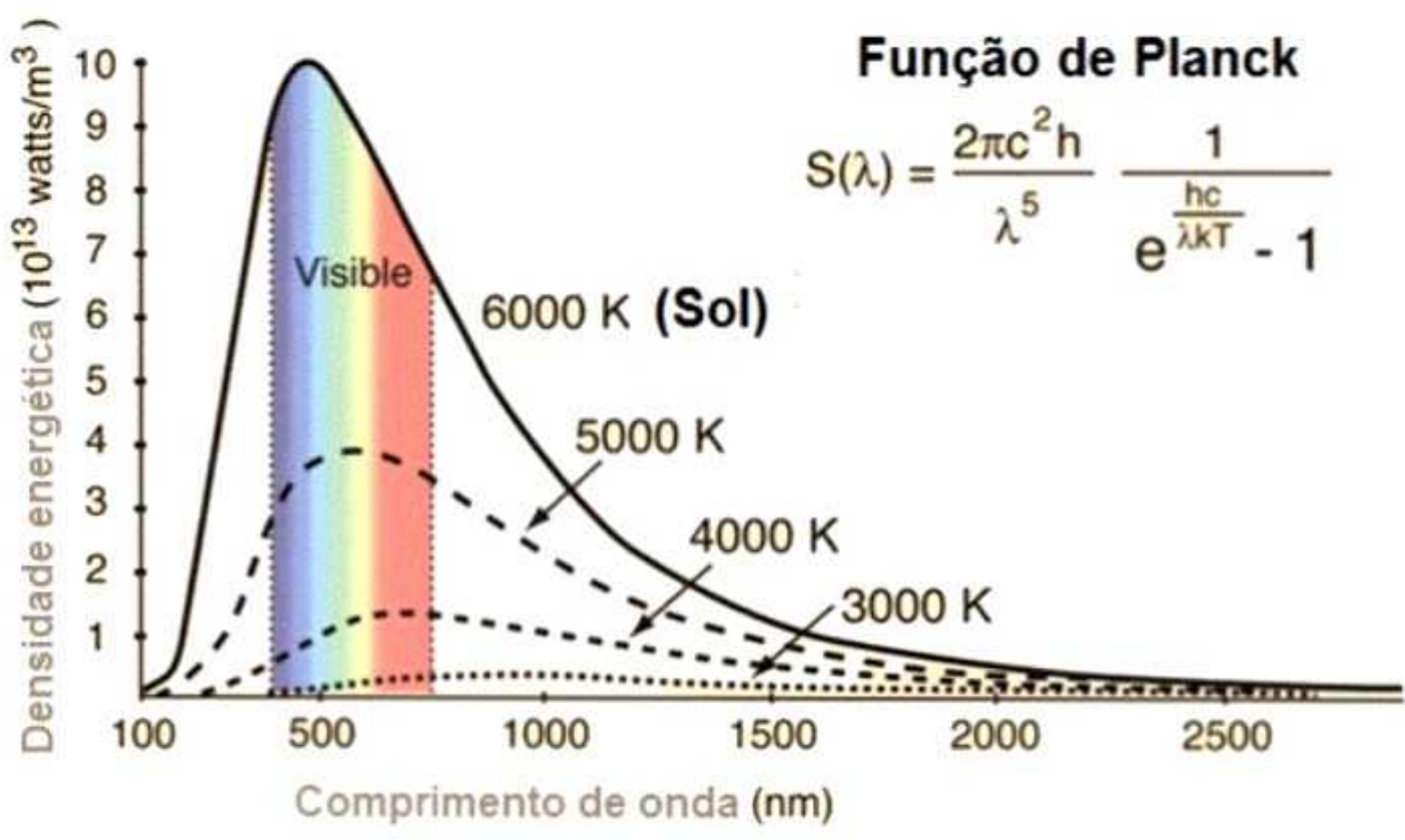
data . . .

① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨

teórico. Foi Max Planck que, ao introduzir a quantização da energia que de certa forma conseguiu explicar tal efeito de radiação

A emissão de radiação da corpa negra apresenta uma distribuição espectral conforme apresentado

FIG 1 - Espectro eletromagnético



Função de Planck

$$S(\lambda) = \frac{2\pi c^2 h}{\lambda^5} \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda kT}} - 1}$$

A lei de Stefan Boltzmann, aplicada ao corpo negro fornece a intensidade total I da radiação emitida dada pela equação (I)

$$I = \sigma \cdot T^4 \quad \text{(I)}$$

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

Outra relação conhecida é sobre o aumento da temperatura, o pico da distribuição se desloca para menores comprimentos de onda. Ele acordo com a lei do deslocamento de Wien:

$$\lambda_{\text{MAX}} \cdot T = \text{cte} = 2,898 \cdot 10^{-3} \text{ m} \quad \text{(II)}$$

A equação que Max Planck apresentou para descrever a densidade de energia do espectro de um corpo negro $\rho(\gamma)$ é:

$$\rho(\gamma) d\gamma = \left(\frac{8\pi \gamma^2}{c^3} \right) \frac{h\gamma}{e^{(h\gamma/kT)}} d\gamma \quad (111)$$

onde γ é a frequência da radiação emitida em Hz, c é a velocidade da luz, k é a constante de Boltzmann, h a constante de Planck e T a temperatura do corpo em Kelvin.

METODOLOGIA: Neste experimento foram utilizados os seguintes materiais

- Sensor de radiação do tipo termopilha TD-8553
- Voltímetro acoplado ao sensor de radiação
- Caixa de radiação térmica TD-8554A, potenciômetro

Varuac

- Termopar digital
- Ventilador de resfriamento
- Lâmpada de Stefan-Boltzmann TD-8555, fonte de alimentação, voltímetro e amperímetro para a fonte.
- Trilho com escala milimetrada
- Régua de 50 cm e Paquímetro

1 - Foi feita a conversão de mV para MV para todos

os sistemas aqui analisados, mas se deu pela relação de $18,9 \pm 3,8 \text{ V/W}$ fornecida pelo fabricante na documentação com as especificações técnicas do sensor de radiação.

2- Foi determinada a equação de propagação de incerteza da irradiância a partir da equação (1) e sabendo que intensidade é uma potência que divide uma superfície esférica. E também, pela transferência de incerteza para uma única componente. Foi feito tal propagação para se analisar a ordem de grandeza das incertezas analisadas.

3- Lei de Stefan-Boltzmann. Foi posicionado o sensor próximo a lâmpada para determinar a radiação emitida em função da intensidade da lâmpada.

A lâmpada de Stefan-Boltzmann é uma fonte de radiação térmica de alta temperatura que se aproxima de uma fonte pontual. A temperatura do filamento pode ser obtida através da resistência do filamento, sendo que para pequenas variações de temperatura temos:

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

onde R é a resistência do filamento que está a temperatura T , R_{ref} a resistência a uma temperatura de referência T_{ref} , que pode ser a temperatura ambiente e α uma constante $\alpha = 0,0045$

4- Foi medido T_{ref} (temperatura ambiente) = 26°C e com isso foi mensurado a resistência do filamento considerando que o filamento se manteve a temperatura ambiente

5- Com o intuito de aumentar a temperatura do filamento, foi variada a intensidade da lâmpada para diferentes valores de tensão e corrente, para ser analisada os valores de radiação detectado pelo sensor. O valor de tensão foi convertido para potência e normalizado pela área do detector

6- Foi feito um gráfico da irradiância do filamento, calculada a partir da tensão mensurada no detector, em função da temperatura no filamento.

7- **LEI DO INVERSO DO QUADRADO** é uma lei que afirma que a influência de uma fonte pontual é inversamente proporcional ao quadrado da distância da fonte da quantidade em particular. Foi provado que a lei também é válida para a radiação térmica. Para tanto, foi feita a montagem onde foi utilizado um sensor de radiação, a lâmpada Stefan-Boltzmann, uma fonte de tensão, um tubo graduado e um voltímetro.

8- Foi variada a posição do sensor, em relação à lâmpada mantendo a intensidade da mesma constante

9. Foi feito um ajuste de uma função não linear, mostrando a dependência do expoente pelos dados linearizados.

10 - AVALIAÇÃO QUALITATIVA DA RADIAÇÃO TÉRMICA

Com um cubo de quatro diferentes faces, foi medida a radiação de cada um, e a temperatura com um termopar acoplado em uma das faces. Aqui é considerado que a temperatura das faces é influenciada de uma lâmpada incandescente presente no interior do mesmo, logo a temperatura das faces serão as mesmas.

11. Foi aquecido o cubo em 10 em 10% da potência disponível até que se chegasse ao máximo. Foi medida a temperatura e a irradianças das quatro faces.

12-13. Para determinar a dependência da temperatura na irradiança, foi graficada as duas grandezas para cada face e comparado uma com a outra.

14. Existiu uma diferença significativa entre elas, e será apresentada uma proposta para solucionar tal problema.

15. Irradiança de uma fonte não pontual, ligada; não se beneficiando pelo fato de que a fonte é pontual, mas sendo uma face plana, vamos ver qual o comportamento da irradiança pela distância.

16 - Com o cubo aquecido na potência máxima, foi feita a variação do distancio.

17 - Foi apresentado o gráfico das grandezas analisadas e linearizadas para o melhor método.

18 - Lei de Stefan-Boltzmann para baixas temperaturas. Foi posicionado o sensor em uma das faces do cubo, a face que mais irradiou, e foi monitorado como era o decaimento da temperatura com o tempo. Tal decaimento se deu com a ajuda de um ventilador.

19 - Radiação do Corpo humano. Foi feita a medição de três partes do corpo consideradas mais quentes de três voluntários, da temperatura e a irradiação.

20 - Sabendo-se que o corpo humano emite uma potência perto de 90 W e que a área da pele humana é de $1,2\text{ m}^2$, foi comparado se o valor medido no sensor é coerente.

21 - Quando a temperatura de um corpo é perto da temperatura ambiente é preciso considerar essa interferência na temperatura medida.

22 - Foi listado em ordem crescente, as faces do cubo que se comportaram como melhores emissores de radiação, ou seja, emitiram mais irradiação.

24 - Diferença entre a lei de Stefan-Boltzmann para baixas e altas temperaturas

25 - Definição de Temperatura Para $R = \sigma T^4$

26 - Comprimento de onda da radiação que a corpo humano emite com maior intensidade.

27 - Utilizando a função de distribuição de Planck, qual o espectro de emissão da corpo humano, da terra e do Sol

RESULTADOS E DISCUSSÕES

1 - Para a conversão das unidades estudadas foi feita uma simples regra de três considerando $18,9 \text{ V/W}$ e uma incerteza de $3,8 \text{ V/W}$

2 - Para a propagação da incerteza a partir da equação (I) foi feito:

$$I = \frac{P_{OT}}{\text{AREA}} = \sigma T^4 \Rightarrow P_{OT} = \text{AREA} \sigma T^4$$

$$P_{OT} = (2\pi d^2) \sigma T^4$$

Sabendo: σ_P a incerteza da Potência; σ_d a incerteza da distância; σ_T a incerteza da temperatura. E para a

transferencia de incerteza para o eixo x , tem-se:

$$\sigma_P = \sqrt{\sigma_{P_0}^2 + \left(\frac{\partial P}{\partial x}\right)^2 \sigma_x^2}$$

$\frac{\partial P}{\partial x}$ sendo o operador uma estimativa da incerteza.

$$\tilde{\sigma}_x = \sqrt{\left(\frac{\partial P}{\partial d} \sigma_d\right)^2 + \left(\frac{\partial P}{\partial T} \sigma_T\right)^2}$$

$$\tilde{\sigma}_x = \sqrt{\left(8\pi d^2 \sigma_T^2 \sigma_d\right)^2 + \left(16\pi d^2 \sigma_T^3 \sigma_T\right)^2}$$

Transferindo a incerteza, colocando no mesmo eixo, tem-se que tal grandeza possui incerteza de 0,05 até 0,2 W/m^2 dependendo da magnitude das grandezas medidas.

3.6 - Através da medida da tensão e a corrente caídas sobre o filamento da lâmpada de tungstênio e possível saber a temperatura da mesma através da equação citada anteriormente, onde a resistência é obtido para cada ponto através da lei de Ohm $V = R \cdot i$. Com isso, tem-se a gráfico a seguir

data

① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦

GRAFICO 1 Dependencia da Temperatura

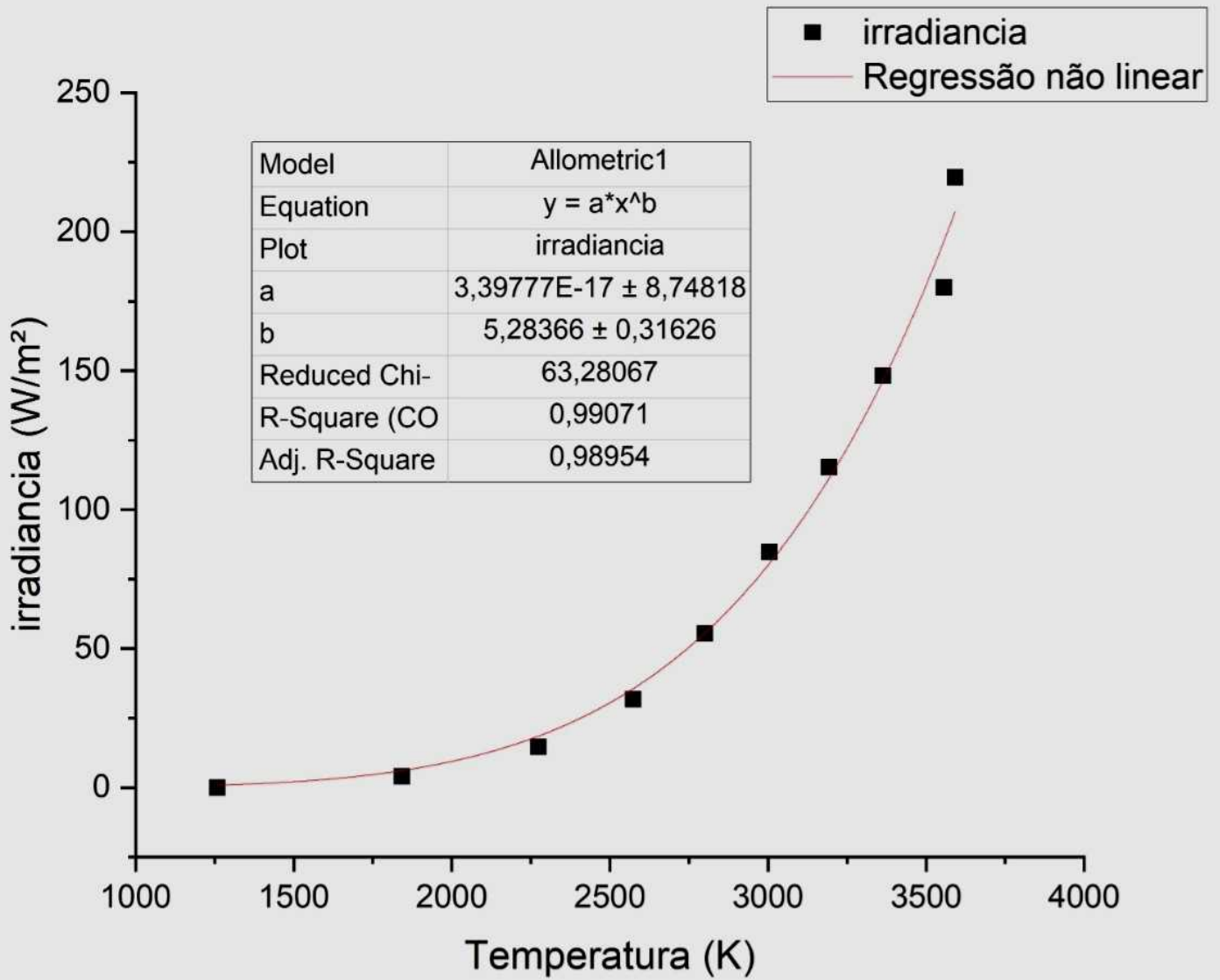
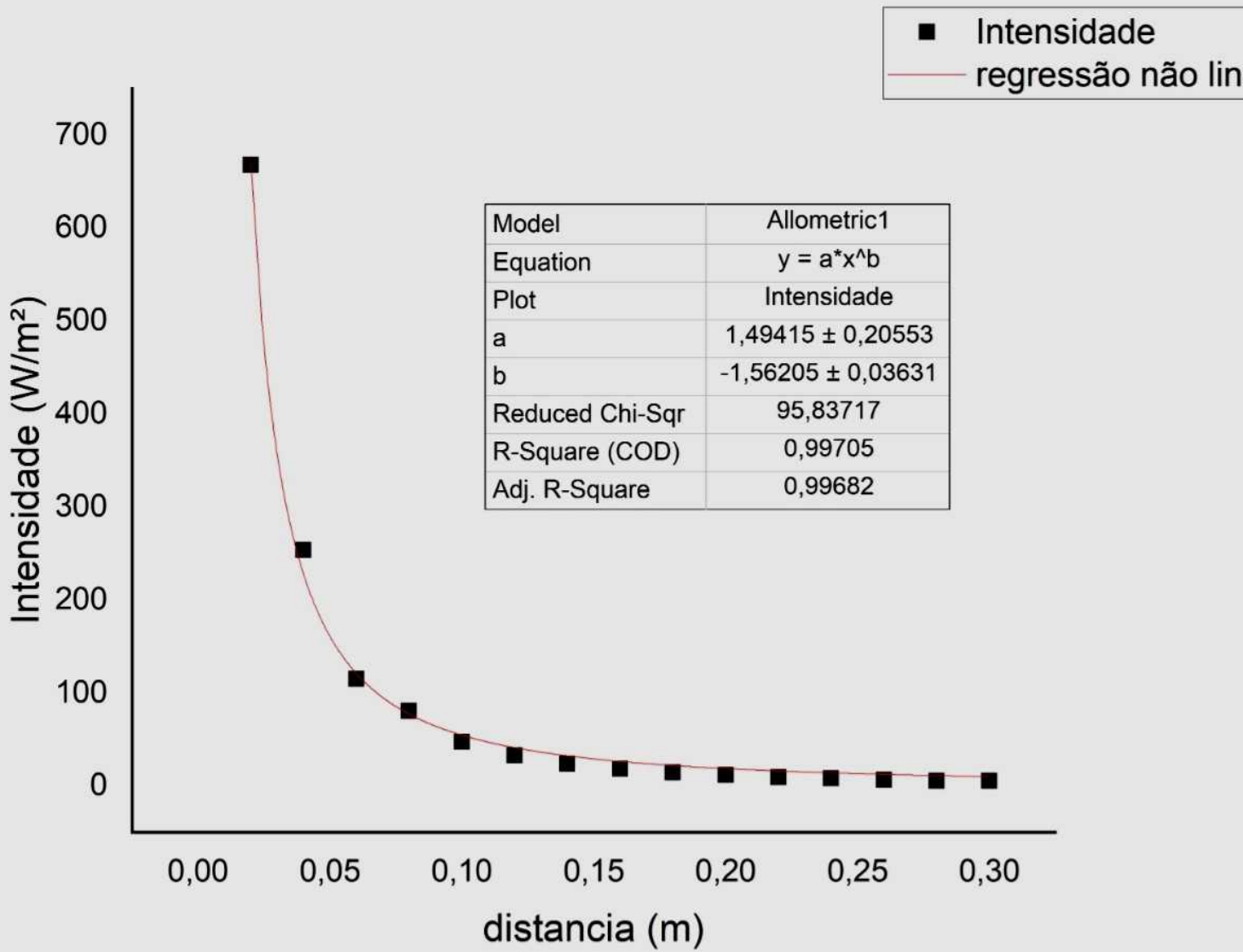


GRAFICO 1

Através do aspecto do gráfico, fez-se um ajuste não linear e não fixando o valor da dependência da temperatura, viu-se que o coeficiente b em T^2 é $5,287 \pm 0,316$ obtendo um erro de 32% em relação ao valor teórico e a partir do coeficiente a calculou-se a cte Boltzmann k_B $\sigma = a / (4\pi d^2)$ Com isso obtivemos um valor de $2,0279 \cdot 10^{-12}$ W que se distancia bastante do valor teórico. Entretanto, é importante apontar que a constante foi verificada através de um corpo negro ideal.

7.9 Para verificar como se dá o comportamento da distância com a radiação térmica, ou seja, a irradiancia; foi fixado um potencial e variando-se a distância da fonte pontual. Também foi apresentada uma regressão não linear para se determinar a dependência

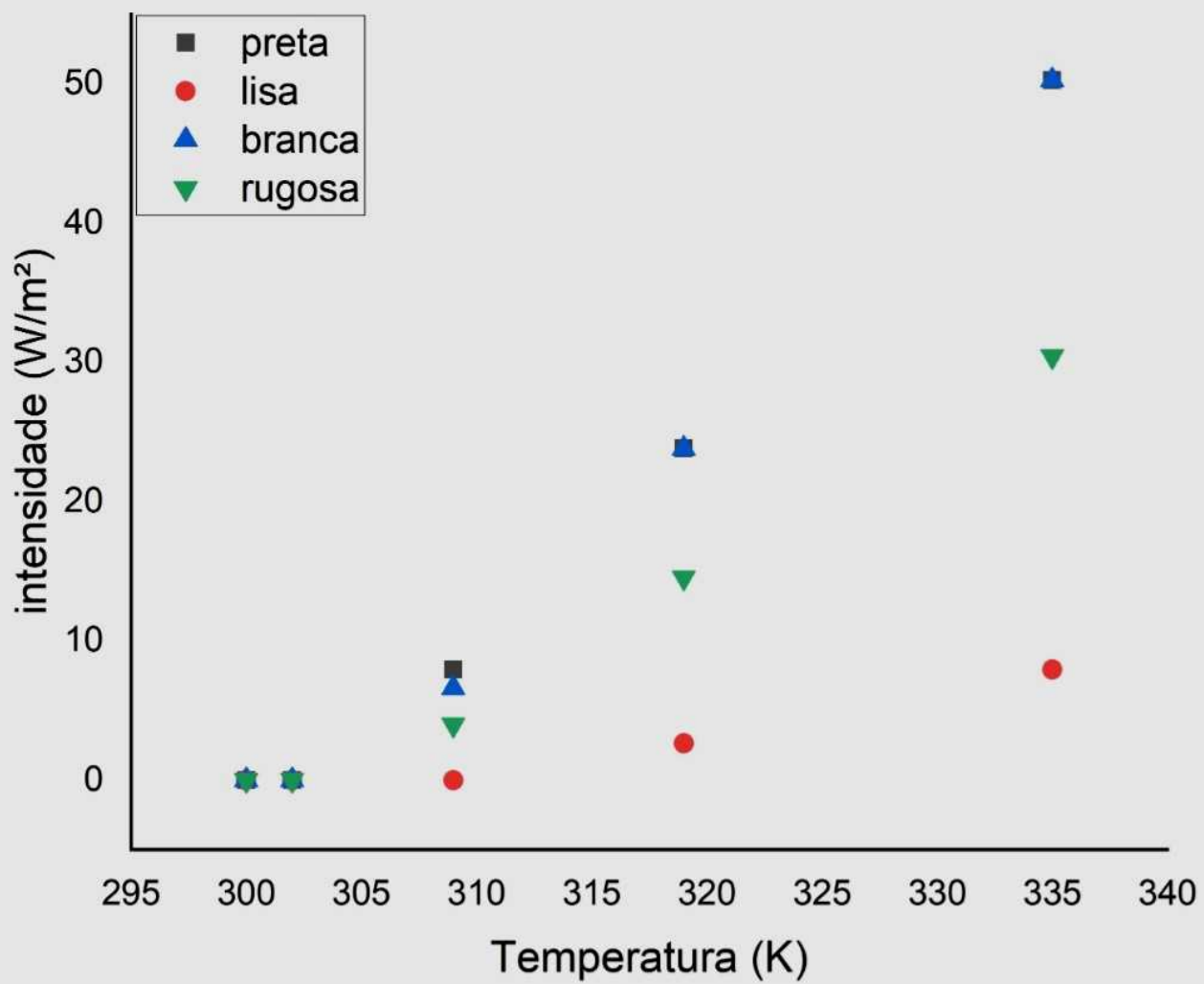
GRAFICO 2 - DEPENDENCIA DA DISTANCIA



Para tal verifica-se que o expoente na relação teórica seria -2 e no gráfico encontramos $-1,562$ uma discrepância de $21,9\%$

10 a 17 Na avaliação qualitativa, na cubo de quatro faces com diferentes aspectos é apresentado um gráfico para comparação das irradiancias das mesmas sendo que foi varrido a potência da fonte de modo que os pontos experimentais se mantiveram igualmente espaçados

GRÁFICO 3 - AVALIAÇÃO QUALITATIVA



Para tal análise, a face preta e a branca é
nitido que possuem uma irradiação de radiação
térmica muito maior que a prateada. Tal fato se explica
pela composição da cor preta significa que o
espectro é absorvido e pouco ou quase nada é refletido.
Como esse espectro é composto por uma onda
eletromagnética que transporta radiação (energia) tal corpo
negro se beneficia dessa energia para aumentar sua
temperatura de forma mais significativa que o material
prateado (liso) por exemplo que não absorve quase nada
de energia aduinda, e somente tem a característica
de refletir.

A cor Branco possui a segunda maior

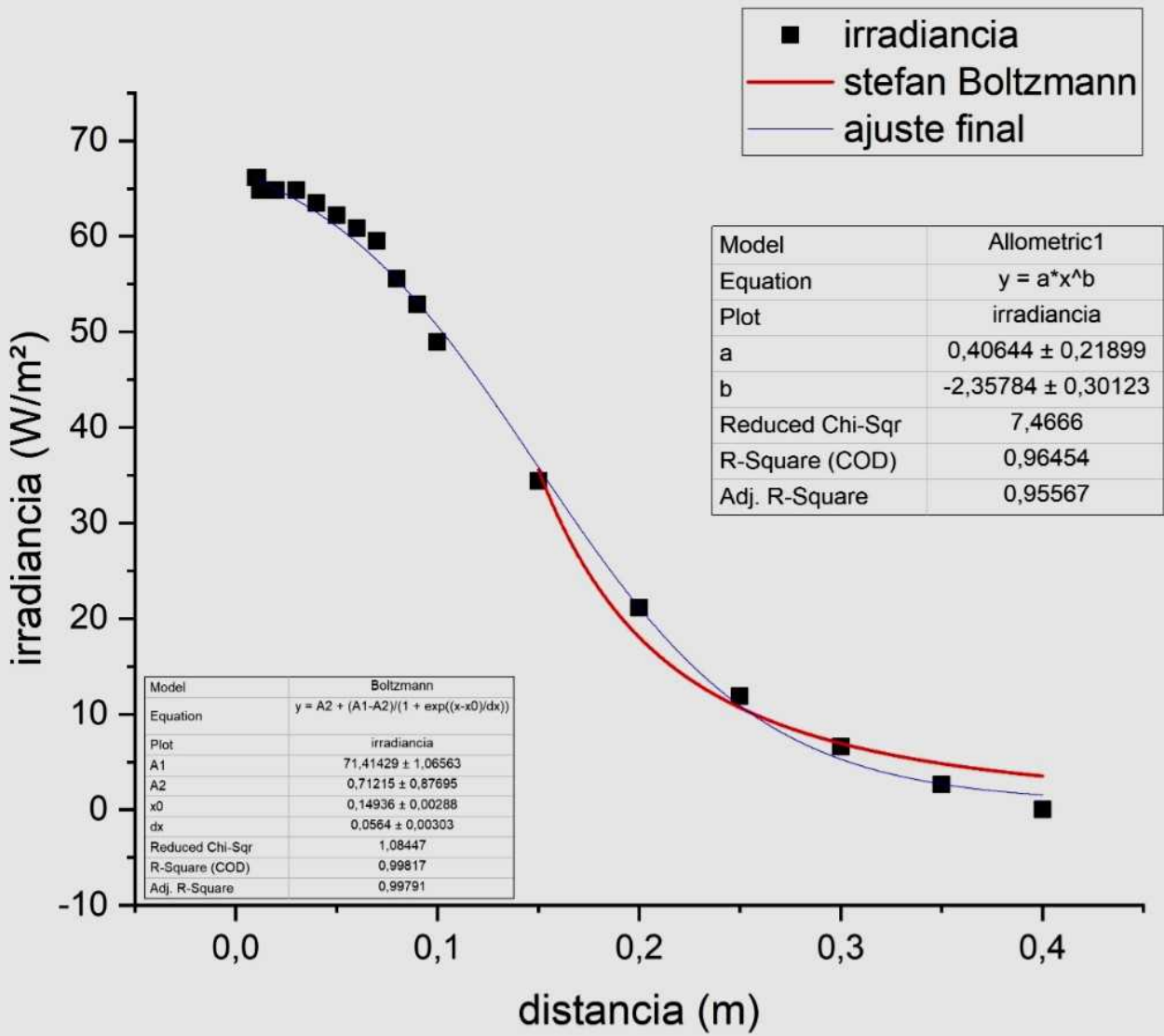
data

① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦

intensidade. Tal fato se explica que mesmo transmitida de uma junção das cores espectrais, quando a luz como uma chega na face, ela vai dividir tanto a energia quanto as cores espectrais, porém a luz possui uma banda fora do visível (infravermelho) onde a face irá absorver.

15 a 17 Para o modelo não pontual, foi utilizado uma das faces do cubo, a face preto que mais irradia

GRÁFICO 2/- Fontes de radiação não Pontual



Aparentemente, para uma fonte não pontual sendo um plano, podemos separar o comportamento em duas partes: primeiro para pequenas distâncias que podemos modelar o conjunto como sendo um plano de tamanho infinito. Para esse conjunto de pontos experimentais, o conjunto se comporta como um decaimento.

Quando a distância aumenta a face do cubo se comporta como uma fonte pontual (linha vermelha no ajuste do gráfico)

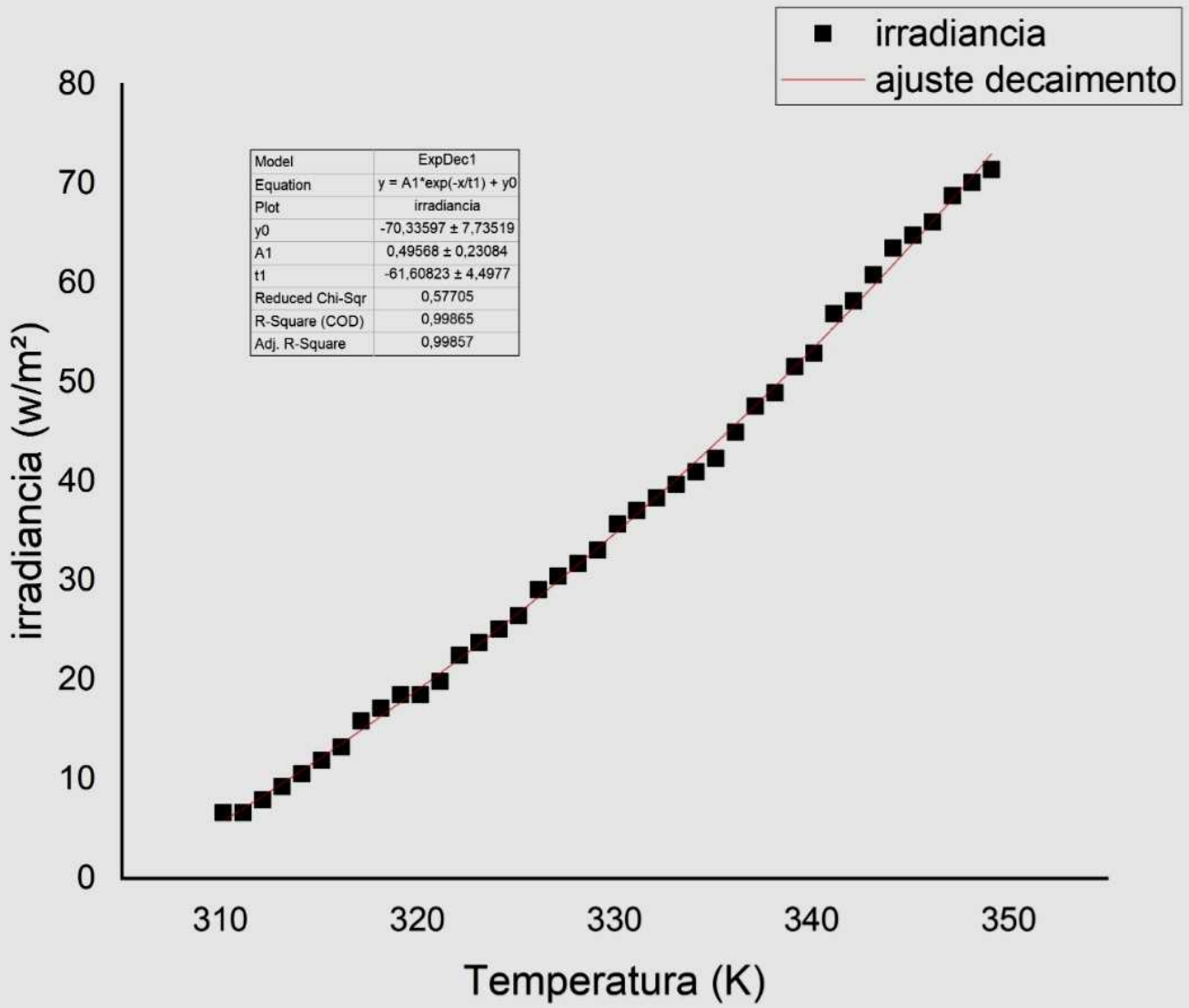
Para melhor obter conclusões sobre isso, é preciso aumentar o tamanho do plano do cubo; além disso se destaca estudos que utilizam modelos de múltiplas fontes pontuais e resolvendo-se a problemas

data * *
⑤ ⑤ ① ② ② ③ ⑤

computacionalmente

18- Para a lei de Stefan Boltzmann para baixas temperaturas obtemos o grafico a seguir

GRAFICO 5 - RESFRIAMENTO



19 e 20 Para a radiação do corpo humano tem-se o valor teórico de irradiação de 75 W/m^2 ou de $7,5 \text{ mW/mm}^2$ com isso obtiveram os valores:

PESSOA	A (mV)	B (mV)	C (mV)
ANTEBRAÇO	0,4	0,3	0,2
PESCOÇO	0,5	0,4	0,4
PALMA DA MÃO	0,4	0,4	0,1

Com isso obtiveram os valores da irradiação para cada lugar de cada voluntário

Voluntário A → ANTEBRAÇO = $5,291 \text{ W/m}^2$
 PESCOÇO = $6,6137 \text{ W/m}^2$
 PALMA MÃO = $5,2910 \text{ W/m}^2$

Voluntário B → ANTEBRAÇO = $3,9682 \text{ W/m}^2$
 PESCOÇO = $5,2910 \text{ W/m}^2$
 PALMA MÃO = $5,2910 \text{ W/m}^2$

VOLUNTARIO C → ANTEBRAÇO = 2,6455
PEÇOÇO = 5,2910
PALMA MÃO = 1,3227

A partir dos dados, nota-se que o valor tem-se um erro de aproximadamente 93% do valor teórico. Portanto, o método não se aplica à medição da radiação da pele

21- Para o cálculo da irradiancia quando temos a interferência da temperatura ambiente, temos que subtrair o efeito dessa mesma e fim de não considerarmos tal grandeza no resultado final

22- Já foi apresentado no grafico 3 e explicado no item 17

24- Para baixas temperaturas temos que a irradiancia tende a diminuir conforme a temperatura diminui. Embrã para altas temperaturas, aumento

25-

26- Utilizando $T = 33^{\circ}\text{C} = 306\text{ K}$ e a partir da max de Wien $\lambda_{\text{max}} T = c_2 e = 2,898 \cdot 10^{-3}\text{ mK}$
 $\lambda_{\text{max CORPO}} = 9,47 \cdot 10^{-6}\text{ m}$

CONCLUSÃO: Para qualquer corpo que tenha uma temperatura, é medível a sua irradiação térmica através do modelo proposto. Uns se modelam de forma eficaz como um corpo negro ideal, e outros não.