



## **Departamento de Física**

Equivalente Elétrico do Calor

Ano Letivo: 2025/2026

Semestre: 1ºSemestre

Regente da Disciplina: Paulo M.Sá

Responsável das aulas práticas: José Luís Argain

Data: 05/11

Aula Prática: PL1

Número do Grupo: V(5)

Nomes/Número dos alunos participantes:

- Tomás Nunes – 83934
- Diogo Freitas – 90147
- Diogo Carvalho – 90247

# Introdução:

Esta atividade experimental insere o estudo do princípio da conservação da energia, colocando em evidência que o calor é uma forma de energia que pode ser convertida a partir da energia elétrica. O objetivo central desta experiência é, primeiramente, estabelecer uma relação quantitativa entre a energia elétrica fornecida ao sistema (em Joule) e o calor absorvido pela água e pelo boião (em caloria), determinando experimentalmente o equivalente elétrico do calor. Adicionalmente, e com base no cumprimento do princípio da conservação da energia, o trabalho visa determinar a eficiência de uma lâmpada incandescente, quantificando a percentagem da energia elétrica consumida que é efetivamente transformada em energia luminosa. Através da medição e análise de variáveis elétricas e térmicas, este estudo permite não só a validação da equivalência entre o Joule e a caloria, mas também a caracterização do desempenho energético do dispositivo de incandescência utilizado.

## Materiais:

- Termómetro;
- Calorímetro;
- Boião;
- Tampa com lâmpada;
- Água da torneira;
- Gelo picado;
- Tinta da Índia;
- Conta-Gotas;
- Balança Digital;
- Fonte de tensão;
- Fonte de alimentação;
- Cronómetro;
- Voltímetro???
- Amperímetro???

## Procedimento:

1. Anote todos os valores de incerteza dos instrumentos;
2. Medir a temperatura ambiente ( $T_0$ );
3. Pesar o boião vazio sem a lâmpada ( $m_b$ );

4. Encher o boião de água fria até à linha indicada no boião;
5. Adicionar por volta de 10 gotas de tinta na água de maneira que se possa ver o filamento da lâmpada quando esta está acesa.
6. Pesar o boião com água ( $m_b + m_{ag}$ );
7. Estabelecer a ligação entre o boião e a fonte de alimentação;
8. Tapar o boião, introduzi-lo no calorímetro e em seguida colocar o termómetro no orifício da tampa do boião;
9. Ligar a fonte de tensão e ajustar o valor de V para cerca de 12 V (não podia exceder 13 V);
10. Registar o valor de I;
11. Iniciar a contagem de tempo no cronómetro e anotar a temperatura da água. Agitar a água suavemente de maneira a uniformizar a temperatura;
12. De minuto a minuto, medir o valor da temperatura da água até ao mesmo atingir o resultado de  $2*T_0$ (Temperatura ambiente) –  $T_{agi}$ (Temperatura da água inicial);
13. Desligar de imediato a fonte de alimentação;

### **Apresentação de dados:**

Valores das incertezas:

Balança:	0,01 g
Cronómetro:	$1*10^{-4}$ s
Termómetro:	0,5 °C
Voltímetro:	0,01V
Amperímetro:	0,001A

Dados Iniciais:

Temperatura Ambiente ( $T_0$ )	25 °C
Temperatura Inicial da Água ( $T_{agi}$ )	14 °C
Temperatura Final ( $2*T_0 - T_{agi}$ )	36 °C
Peso do Boião Vazio sem tampa( $m_b$ )	37,57 g
Peso do Boião com água ( $m_b + m_{ag}$ )	251,40 g
Peso da Água ( $m_{ag}$ ):	213,83 g
Tensão Inicial (V):	12,04 V
Valor de I:	2,207 A

Dados do Procedimento:

Tempo:	Temperatura:
1 minuto	16 °C
2 minuto	16,5 °C
3 minuto	17 °C

4 minuto	18 °C
5 minuto	19 °C
6 minuto	19,5 °C
7 minuto	20 °C
8 minuto	22 °C
9 minuto	25 °C
10 minuto	27 °C
11 minuto	29 °C
12 minuto	30 °C
13 minuto	33 °C
14 minuto	36 °C

## Análise dos Dados

### 1 - Determinação do Equivalente Elétrico do Calor

#### 1.1 - Cálculo da Energia Elétrica

Para calcular a energia elétrica fornecida pela lâmpada num instante  $t$  precisamos de utilizar a seguinte fórmula:

$$E = V * I * t$$

V - Tensão (V); I – Corrente (I); t – tempo (s)

Com esta fórmula conseguimos determinar o valor da Energia Elétrica fornecida à lâmpada em cada instante  $t$ . Estes valores são:

Tempo:	Energia Elétrica(J)
1 minuto	1594,3368 J
2 minuto	3188,6736 J
3 minuto	4783,0104 J
4 minuto	6377,3472 J
5 minuto	7971,684 J
6 minuto	9566,0208 J
7 minuto	11160,3576 J
8 minuto	12754,6944 J
9 minuto	14349,0312 J
10 minuto	15943,368 J
11 minuto	17537,7048 J
12 minuto	19132,0416 J
13 minuto	20726,3784 J
14 minuto	22320,7152 J

#### 1.2 - Cálculo das Variações de Temperatura:

Para calcular a variação de temperatura da água nos diferentes instantes de  $t$  teremos de utilizar a seguinte fórmula:

$$\Delta T = T_{ag} - T_{agi}$$

$T_{ag}$  = Temperatura da água no instante t e  $T_{agi}$  = Temperatura Inicial da Água

Tempo:	$\Delta T$
1 minutos	2 °C
2 minutos	2,5 °C
3 minutos	3 °C
4 minutos	4 °C
5 minutos	5 °C
6 minutos	5,5 °C
7 minutos	6 °C
8 minutos	8 °C
9 minutos	11 °C
10 minutos	13 °C
11 minutos	15 °C
12 minutos	16 °C
13 minutos	19 °C
14 minutos	22 °C

### 1.3 - Cálculo do Calor Transferido

Para calcular o valor do calor transferido num instante t precisamos de utilizar a seguinte fórmula:

$$Q = Q_{ag} + Q_b = m_{ag}c_{ag}\Delta T + m_b c_b \Delta T,$$

Sabemos que  $C_{ag} = 1$ , sabemos os valores das massas e da variação da temperatura, mas não sabemos o valor de  $C_b$ . Para determinar precisamos fazer:

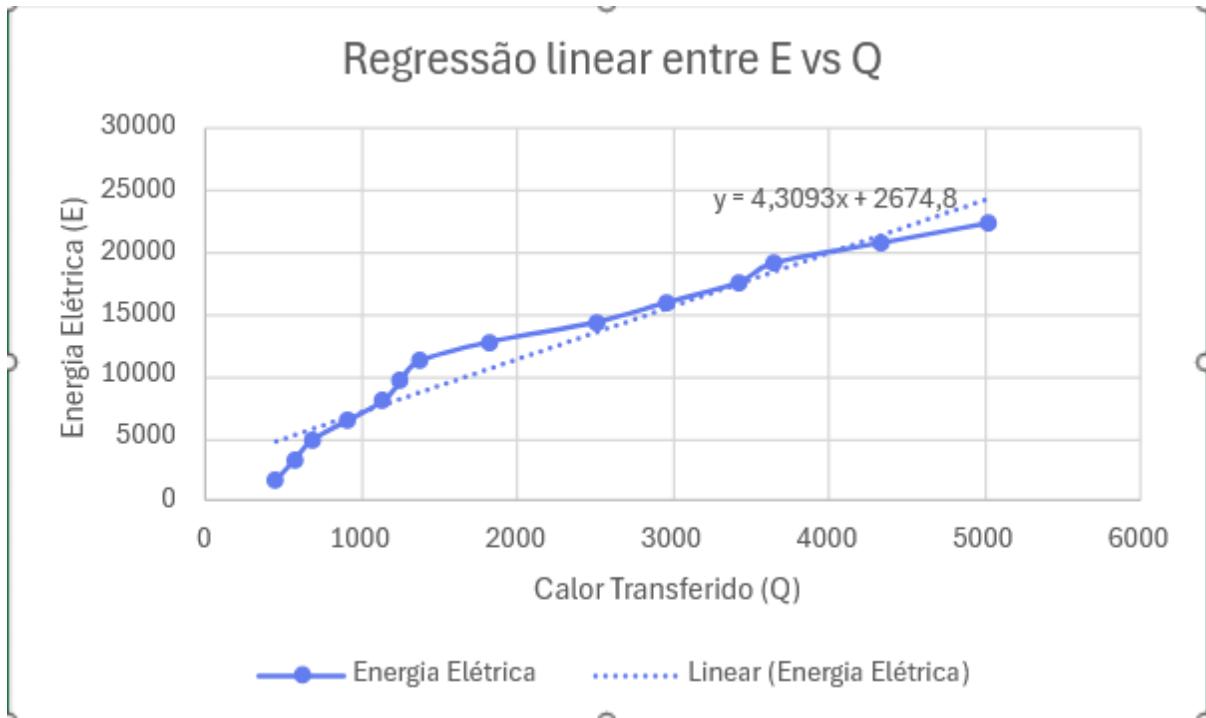
$$\frac{23}{T_{fag} - T_{iag}}$$

Agora que temos todos os valores podemos calcular o calor transferido (Q) a cada instantes, estes valores sendo:

Tempo:	Calor Transferido(Q)
1 minutos	456,9327273 J
2 minutos	571,1659091 J
3 minutos	685,3990909 J
4 minutos	913,8654545 J
5 minutos	1142,331818 J

6 minutos	1256,565 J
7 minutos	1370,798182 J
8 minutos	1827,730909 J
9 minutos	2513,13 J
10 minutos	2970,062727 J
11 minutos	3426,995455 J
12 minutos	3655,461818 J
13 minutos	4340,860909 J
14 minutos	5026,26 J

#### 1.4 - Construção do Gráfico (E vs Q)



Dados do gráfico:	Valores dos dados:
Declive do Gráfico	4,309294365
Incerteza do Declive	0,309010448
Ordenada de Origem	2674,82576
Incerteza da Ordenada de Origem	801,9557367
R^2	0,941881863
Erro médio da previsão de Y	1673,539589
Estatística F	194,4759918
Graus de Liberdade para a estatística F	12
Soma quadrados da regressão	544675669,7
Soma quadrados das residuais	33608817,09

#### 1.5 - Comparação com o valor teórico

Foi nos dado no procedimento um valor teórico do declive de 4,186 J. Agora vamos comparar esse valor teórico com o dado na experiência feita.

Intervalo de Confiança:

Para verificar se o valor do declive teórico se encontra no intervalo de confiança da nossa experiência devemos verificar a seguinte condição:

$$a_t = J_e \in [a - \delta a, a + \delta a].$$

Após os cálculos podemos afirmar que o valor do nosso intervalo são [4,000 ; 4,618]. Logo podemos afirmar que o valor teórico do declive se encontra no intervalo de confiança da nossa experiência.

Erro Relativo:

Agora para determinar o valor do erro relativo do declive determinado na experiência com o declive dado no protocolo devemos usar a seguinte fórmula:

$$\text{Erro Relativo (\%)} = \left| \frac{a - a_t}{a_t} \right| \times 100$$

Após a realização dos cálculos podemos concluir que o valor do erro relativo é de 2,8%.

## 2 - Determinação da Eficiência da Lâmpada

### 2.1 - Cálculo da Energia Luminosa Obtida ( $E_L$ )

Para calcularmos o valor da Energia Luminosa Obtida nesta experiência, a cada instante  $t$ , devemos usar a seguinte fórmula:

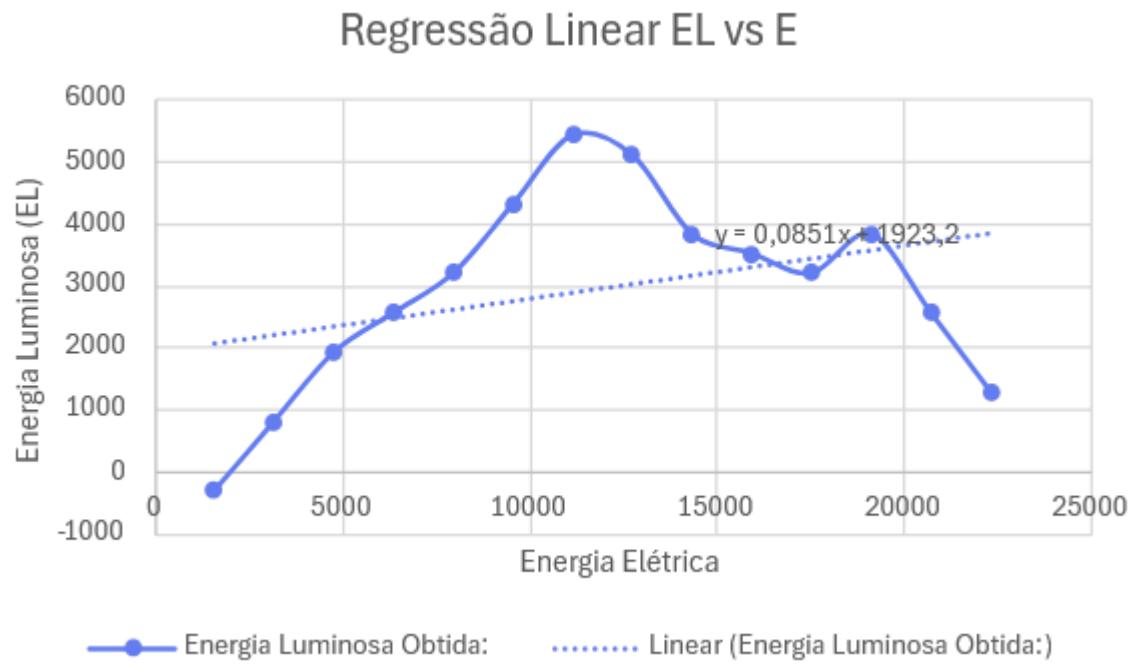
$$E_L = E - Q;$$

Após a realização dos cálculos podemos concluir que os valores são:

Tempo:	Energia Luminosa Obtida ( $E_L$ )
1 minutos	-318,3835965
2 minutos	797,7731045
3 minutos	1913,929805
4 minutos	2551,906407
5 minutos	3189,88301
6 minutos	4306,03971
7 minutos	5422,19641
8 minutos	5103,812815
9 minutos	3829,06902
10 minutos	3510,685425
11 minutos	3192,301825
12 minutos	3830,27843

13 minutos	2555,534635
14 minutos	1280,79084

## 2.2 - Construção do Gráfico EL vs E



Dados do gráfico:	Valores dos dados:
Declive do Gráfico	0,0851
Incerteza do Declive	0,065607955
Ordenada de Origem	1923,229849
Incerteza da Ordenada de Origem	890,6469252
R^2	0,122880348
Erro médio da previsão de Y	1577,710334
Estatística F	1,681143692
Graus de Liberdade para a estatística F	12
Soma quadrados da regressão	4184652,272
Soma quadrados das residuais	29870038,77

## 2.3 - Eficiência da Lâmpada

No protocolo é nos dado que a eficiência da lâmpada oscila entre os 2% e os 5%. Para verificar se o valor do rendimento da lâmpada pertence ao intervalo temos de comparar o valor da oscilação da lâmpada com o valor do declive dado no gráfico.

Como podemos ver sabemos que o valor do gráfico é 0,0851 e transformando isto em percentagem vai dar 8.51%.

Com isto podemos determinar que o erro relativo seria de 70%

## **Discussão**

### **1 - Determinação do equivalente elétrico do calor**

A determinação do equivalente elétrico do calor foi realizada aplicando o princípio da conservação da energia, estabelecendo a relação quantitativa entre a energia elétrica fornecida à lâmpada ( $E$ ) e o calor absorvido pelo sistema ( $Q$ ).

O ajuste de uma reta de regressão linear ao gráfico de  $E$  vs  $Q$  resultou num declive experimental de 4,309. Este valor foi comparado com o valor teórico dado no protocolo, sendo este 4,186.

A análise de precisão revelou que o valor teórico encontra-se contido no intervalo de confiança do declive experimental, dado por [4,000;4,618]. Adicionalmente, o erro relativo percentual obtido foi de 2,8%. Esta percentagem de erro, sendo baixa, demonstra a eficácia do método em converter energia elétrica em calor de forma previsível e valida o princípio da equivalência.

A qualidade do ajuste linear foi confirmada pelo coeficiente de determinação  $R^2$  0,942, indicando uma correlação muito forte entre a energia fornecida e o calor medido.

A principal razão para a pequena inflação do valor de  $a$  é a perda de calor para o meio ambiente.

Embora a montagem tenha utilizado um calorímetro e o procedimento visasse compensar as perdas por arrefecimento e aquecimento relativamente à temperatura ambiente ( $T_0$ ), uma pequena parte da energia elétrica foi inevitavelmente dissipada e não medida como calor  $Q$  pelo sistema. Esta perda de calor resulta numa subestimação do valor de  $Q$ , o que causa uma ligeira imprecisão dos dados.

Estas perdas, com possíveis incertezas nas medições de massa e temperatura inicial, causaram o desvio do valor do declive, mas não comprometeram a validade da determinação do equivalente elétrico do calor, dado o baixo erro relativo obtido.

### **2 - Determinação da Eficiência da Lâmpada**

O objetivo desta secção foi determinar a eficiência ( $\eta$ ) da lâmpada de incandescência utilizada, a qual é quantificada pela relação entre a energia luminosa gerada ( $E_L$ ) e a energia elétrica total consumida ( $E$ ), sendo o valor de  $\eta$  dado pelo declive ( $a$ ) do gráfico  $E_L$  vs  $E$ .

O valor experimental obtido para a eficiência é  $\eta=8,51\%$  (ou  $a=0,0851$ ). O valor de referência esperado para uma lâmpada de incandescência, conforme o protocolo, oscila tipicamente entre 2% e 5%. O resultado apresenta um erro relativo de 3.5%.

Ainda que o valor de 8,51% esteja fora do intervalo de referência, o desvio não compromete a principal conclusão: a lâmpada incandescente é um dispositivo intrinsecamente ineficiente para produzir luz. O facto de o rendimento ser baixo (abaixo de 10%) confirma que a maioria da energia elétrica consumida é dissipada na forma de calor ( $Q$ ), e apenas uma pequena fração se traduz em luz útil ( $E_L$ ).