

# Experimento 06a - Calorimetria

Giovani Garuffi	<i>RA: 155559</i>
João Baraldi	<i>RA: 158044</i>
Lauro Cruz	<i>RA: 156175</i>
Lucas Schanner	<i>RA: 156412</i>
Pedro Stringhini	<i>RA: 156983</i>

18 de novembro de 2014

# 1 Resumo

## 2 Objetivos

Este experimento pode ser dividido em três partes, cada uma com seus objetivos. Esses são: traçar um gráfico de calibração de um termopar, calcular a constante de tempo de um calorímetro e calcular sua capacidade térmica.

## 3 Procedimento Experimental e Coleta de Dados

### 3.1 Procedimento

#### 3.1.1 Curva de calibração de um termopar

Nesta parte do experimento preenche-se uma parte do copo do calorímetro (vide figura 1) com água fervente e coloca-se nele um termômetro de mercúrio para controle de sua temperatura. Em um béquer separado, coloca-se água com gelo para manter sua temperatura próxima a zero.

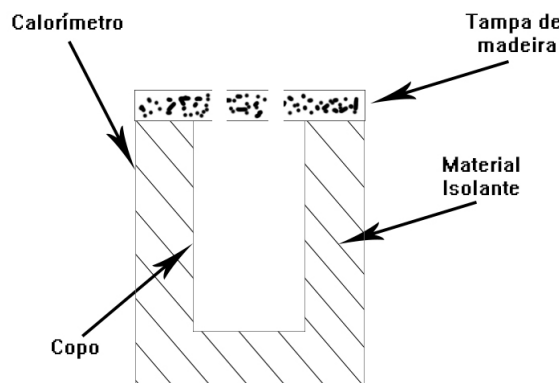


Figura 1: Estrutura de um calorímetro.

Então, coloca-se o fio de referência do termopar dentro do copo com gelo e o outro fio dentro do calorímetro (como mostrado na figura 2). Então, adiciona-se água à temperatura inicial (retirada da torneira) no calorímetro, e, para cada temperatura da água do calorímetro lê-se uma voltagem (em  $mV$ ) no termopar, anota-se a temperatura e a voltagem, até que primeira se aproxime da inicial.

Por fim, plota-se um gráfico  $V \times T$  com os pares anotados, e um com os tabelados teóricos.

#### 3.1.2 Constante de tempo de um calorímetro

Como o calorímetro usado não é ideal, nesta parte do experimento, será calculada a sua constante de tempo, que representa a velocidade com que o calorímetro permite trocas de calor com o ambiente.

Para tal, preenche-se o calorímetro com água, que deve ser aquecida utilizando-se um ebulidor, e, com ele totalmente fechado (figura 1), mas com um termômetro dentro, cronometra-se o tempo com que a temperatura cai. No caso, foi medido o tempo de  $T = 89^\circ C$  a  $T = 69^\circ C$ . Então, pela fórmula

$$T = T_0 e^{-t/\tau} + T_a,$$

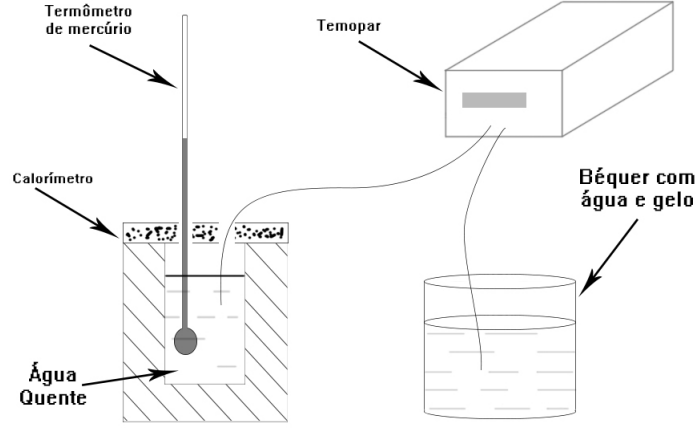


Figura 2: Montagem experimental para a calibração do termopar.

onde  $T_0$  é a temperatura inicial,  $t$  é o tempo,  $\tau$  é a constante a ser encontrada e  $T_a$  é a temperatura ambiente (de  $26.5^\circ$ , no caso), calcula-se o valor da constante através de um gráfico  $\ln(T)$  x  $t$ .

### 3.1.3 Capacidade térmica de um calorímetro

Para determinar a capacidade térmica do calorímetro, metade do calorímetro foi enchida de água a temperatura  $18$  graus celsius. Depois, acrescentou-se a mesma quantidade de água quente a  $82$  graus celsius, esperando o sistema entrar em equilíbrio e vendo sua temperatura final  $61$  graus celsius. Assim, a partir da relação:

$$\begin{aligned}
 -Q_{\text{perdidoH}_2\text{O}} &= Q_{\text{recebidoH}_2\text{O}} + Q_{\text{recebidoCalorimetro}} \\
 -m_{\text{H}_2\text{O}} \cdot c_{\text{H}_2\text{O}} \cdot (\theta_{\text{final}} - \theta_{\text{quente}}) &= m_{\text{H}_2\text{O}} \cdot c_{\text{H}_2\text{O}} \cdot (\theta_{\text{final}} - \theta_{\text{frio}}) + C_{\text{cal}} \cdot (\theta_{\text{final}} - \theta_{\text{frio}}) \\
 C_{\text{cal}} &= \frac{m_{\text{H}_2\text{O}} \cdot c_{\text{H}_2\text{O}} \cdot (\theta_{\text{quente}} + \theta_{\text{frio}} - 2\theta_{\text{final}})}{(\theta_{\text{final}} - \theta_{\text{frio}})},
 \end{aligned}$$

Determina-se a capacidade térmica desejada.

## 3.2 Dados Obtidos

A Tabela 1 apresenta as medições Da tensão medida no termopar, em função da temperatura. Enquanto na Tabela 2 estão presentes os dados da tendência de queda de temperatura do calorímetro utilizado.

Tabela 1: Medições de temperatura relacionadas a tensão medida em um termopar

Tensão ( $mV$ )	Temperatura ( $C$ )
4.62	89
4.40	87
4.19	84
3.96	80
3.82	78
3.04	65
2.89	62
2.44	54
2.31	51
2.03	47
1.94	45
1.80	42
1.69	40
1.44	37

*O erro na temperatura é de  $0.5C$ , e na tensão de  $0.01mV$*

Tabela 2: Medidas de temperatura de um calorímetro

Tempo ( $s$ )	temperatura ( $C$ )
0	89
700	78
860	76
1500	71
1610	70

*O erro na temperatura é de  $0.5C$ , e no tempo de  $0.5s$*

## 4 Análise dos Resultados e Discussões

### 4.1 Curva de Calibração do Termopar

Para comparar os dados obtidos no experimento e os dados conhecidos de tensão em função da temperatura, foi construído o gráfico na Figura 3.

Verifica-se que houve algum tipo de erro experimental na realização, uma vez que os resultados obtidos são internamente consistentes (A relação é linear, assim como esperado), mas existe uma diferença significativa das medidas esperadas.

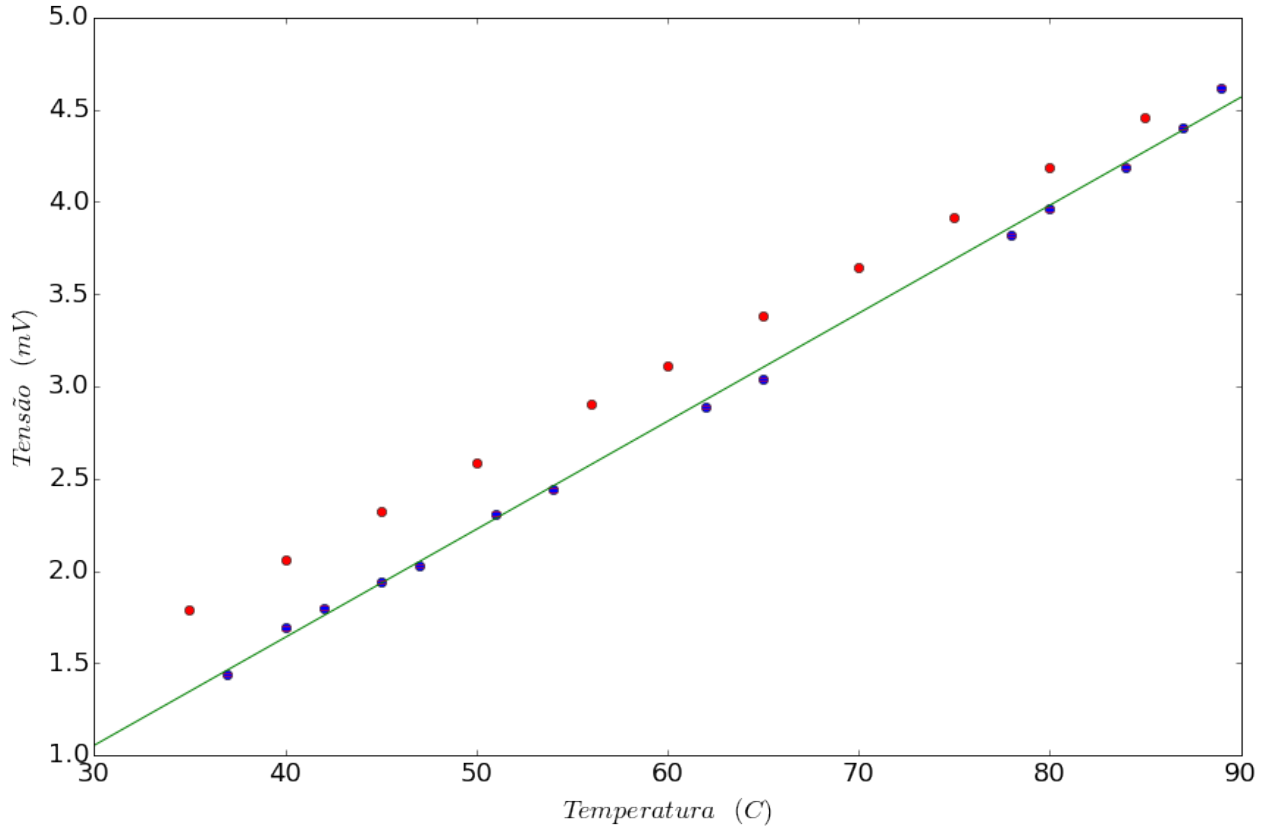


Figura 3: Curva de calibração do termopar. As medidas Azuis são as obtidas experimentalmente e as vermelhas são as esperadas

Esse deslocamento da reta, foi, provavelmente, resultado de erros sistemáticos como uma temperatura de referência diferente de 0 °C.

## 4.2 Constante de tempo do calorímetro

A queda de temperatura da água no calorímetro pode ser descrita pela equação

$$T = T_0 e^{-t/\tau} + T_a$$

que pode ser reescrita como

$$\ln \Delta T = -t/\tau + \ln T_0$$

Vemos então que deve haver uma relação linear entre  $\ln \Delta T$  e  $t$ . Para verificar essa relação foi construído a tabela 3 e o gráfico da figura 4.

Fazendo a regressão linear sobre os dados da tabela 3, obtemos os coeficientes

$$a = -0.000232 \pm 0.000007 \quad e \quad b = 4.125 \pm 0.007$$

Sabemos então que, pela relação  $\ln \Delta T = -t/\tau + \ln T_0$ ,  $a = -\frac{1}{\tau}$  e, portanto:

$$\tau = -\frac{1}{a};$$

$$\Delta \tau = \frac{\Delta a}{a^2}.$$

Assim,

$$\tau = (4300 \pm 100)s$$

Tabela 3: Dados relacionando  $\ln \Delta T$  à  $t$

Temperatura ( $^{\circ}C$ )	$\Delta T$ ( $^{\circ}C$ )	$\ln \Delta T$ ( $\ln ^{\circ}C$ )	tempo ( $s$ )
$89 \pm 0.5$	$62.5 \pm 0.7$	$4.135 \pm 0.008$	0
$78 \pm 0.5$	$51.5 \pm 0.7$	$3.941 \pm 0.009$	700
$76 \pm 0.5$	$49.5 \pm 0.7$	$3.90 \pm 0.01$	860
$71 \pm 0.5$	$44.5 \pm 0.7$	$3.79 \pm 0.01$	1500
$70 \pm 0.5$	$43.5 \pm 0.7$	$3.77 \pm 0.01$	1610

$\Delta T$  for calculado a partir de uma temperatura ambiente de  $26.5^{\circ}C$

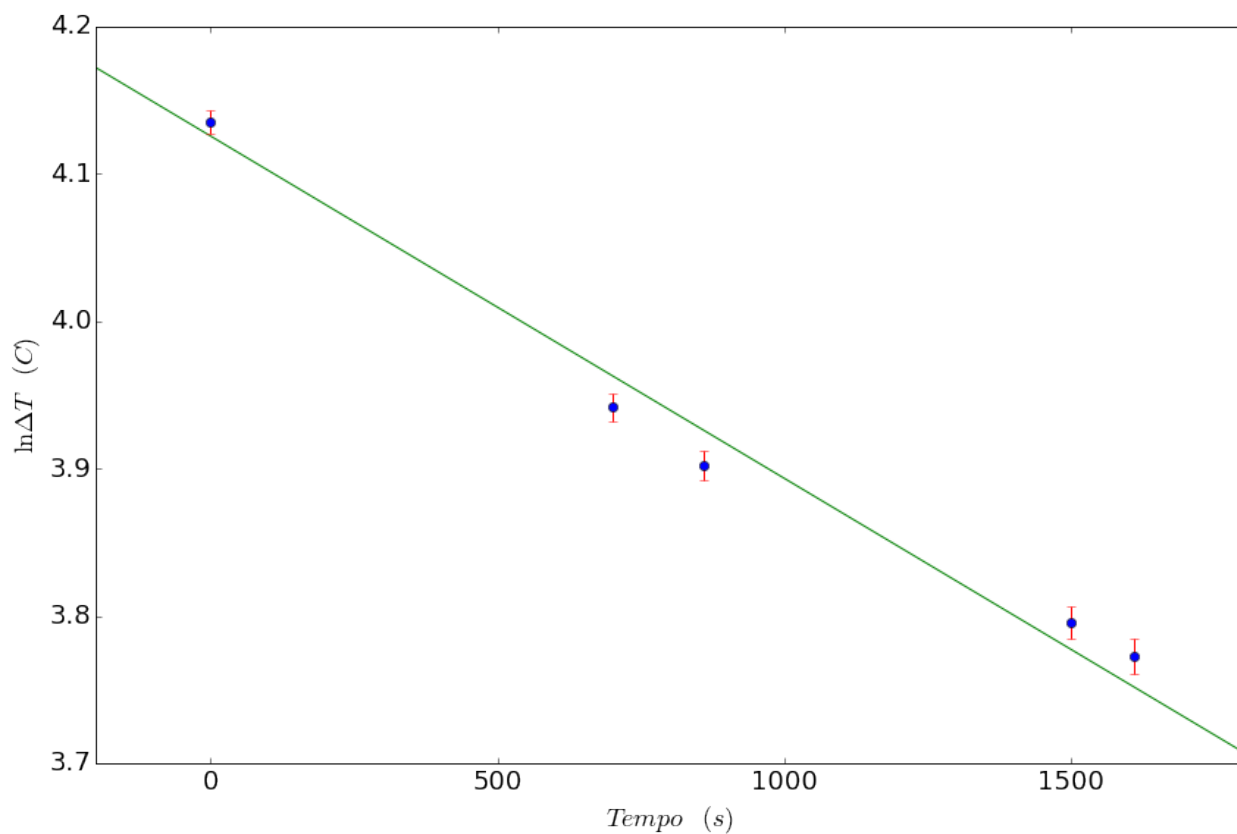


Figura 4: Gráfico de regressão linear de  $\ln \Delta T$  por  $t$ .

### 4.3 Capacidade termica do calorímetro

A partir da fórmula

$$C_{cal} = \frac{m_{H_2O} \cdot c_{H_2O} \cdot (\theta_{quente} + \theta_{frio} - 2\theta_{final})}{(\theta_{final} - \theta_{frio})},$$

sabemos calcular a capacidade térmica do calorímetro. Para determinar a massa de água quente e fria, na ausência de uma balança acessível, foram utilizados o volume da parte interna do calorímetro ( $V = 88\text{cm}^3 \pm 1\text{cm}^3$ ) e a densidade conhecida da água, ( $d_{H_2O} = 1,0\text{g/cm}^3 \pm 0,1\text{g/cm}^3$ ). Com isso, e sabendo que encheu-se o mesmo volume de água quente e fria preenchendo todo o volume interno, tem-se que a massa de água quente e fria ocuparam metade do volume cada uma. Isso, corresponde a  $m_{H_2O} = (44 \pm 1)\text{g}$ . A partir disso, tem-se que

$$C_{cal} = -22^\circ\text{C}^{-1}$$

## 5 Conclusões

## 6 Bibliografia