

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

Lucas Jacinto Gonçalves RA: 240013

Leonardo Novaes do Nascimento RA: 220142

Jorge Henrique de Andrade Pacheco Reis RA: 237966

Relatório do experimento 5: Calorimetria

Relatório do experimento 5, da disciplina
de Física Experimental 2, F 229.

Professor Dr. Ricardo Urbano.

Campinas, novembro de 2019.

Resumo

Ao estudar processos termodinâmicos, muitas vezes é necessário a quantização das trocas de energia, na forma de calor, de um dado processo físico ou químico. Por isso é fundamental que um dado processo quando for analisado as trocas de energia seja feito em um espaço termodinamicamente isolado para que não ocorra troca de energia com o ambiente externo (ao redor).

Na quantização da energia trocada na forma de calor, quando corpos a diferentes temperaturas são colocados em contato e entram em equilíbrio térmico, queremos analisar Q que é a energia transferida na forma de calor para ou de um corpo de massa m , por meio de seu resfriamento ou aquecimento, estando relacionada com a variação de sua temperatura através da equação:

$$Q = C\Delta T = mc\Delta T,$$

onde C é a *capacidade térmica* de um objeto e c é o *calor específico* de um objeto.

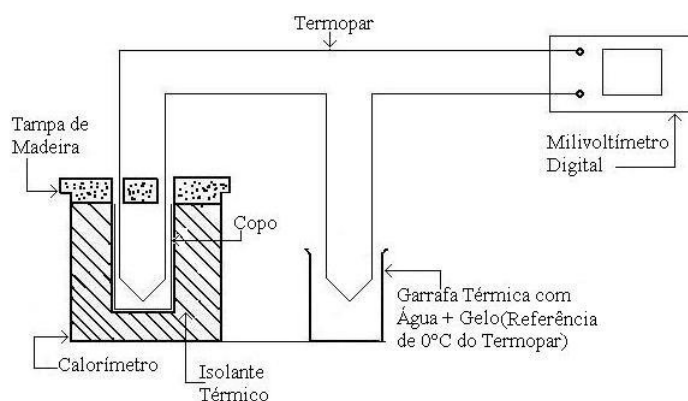


Figura 1. Esquema do calorímetro mostrando seus componentes. O termopar atravessa a tampa do calorímetro através de furos de pequeno diâmetro. A garrafa térmica deve ficar cheia de água com gelo para manter a referência em 0 °C. O milivoltímetro lê a tensão do termopar que corresponde à uma dada temperatura.

Procedimentos e incertezas

Para esse procedimento utilizamos os seguintes aparatos: chaleira elétrica, calorímetro, água, termômetro de álcool, termopar, milivoltímetro, blocos de cobre, chumbo e alumínio, garrafa térmica com gelo, cronômetro e balança de precisão.

Tabela 1: Massa dos metais e sua respectiva incerteza.

METAL	MASSA (g)	INCERTEZA (g)
Aço	42,9	0,03
Cobre	93,9	0,03
Chumbo	46,1	0,03

Tabela 2: Incerteza dos Equipamentos.

EQUIPAMENTO	INCERTEZA	FUNÇÃO PROBABILIDADE	TIPO
Milivoltímetro	0,01 mv	Retangular	B
Termômetro	0,2 °C	Triangular	B
Balança de precisão	0,03 g	Retangular	B

Para esse experimento dividimos o procedimento em três partes: Na primeira parte fizemos medições da tensão gerada por um termopar sendo que um lado estava a 0°C e o outro lado a temperatura foi variada (ambos estavam em porções de água).

Na segunda parte do experimento foi calculado a capacidade térmica do calorímetro utilizando para isso a lei de conservação de energia, para o cálculo da capacidade térmica do calorímetro foi necessário misturar duas porções de água a diferentes temperaturas no calorímetro afim de que atingissem o equilíbrio térmico.

A terceira e última parte do experimento foi calculada o calor específico de três metais diferentes: cobre, chumbo e aço. Para esse procedimento, cada metal foi colocado por um intervalo de tempo em água com temperatura elevada e logo em seguida, foi colocado no calorímetro juntamente com água a temperatura ambiente para que fosse atingido o equilíbrio térmico para obtenção da temperatura final. Com esses dados, e utilizando a lei de conservação de energia, obtivemos ferramental para cálculo do calor específico de cada metal.

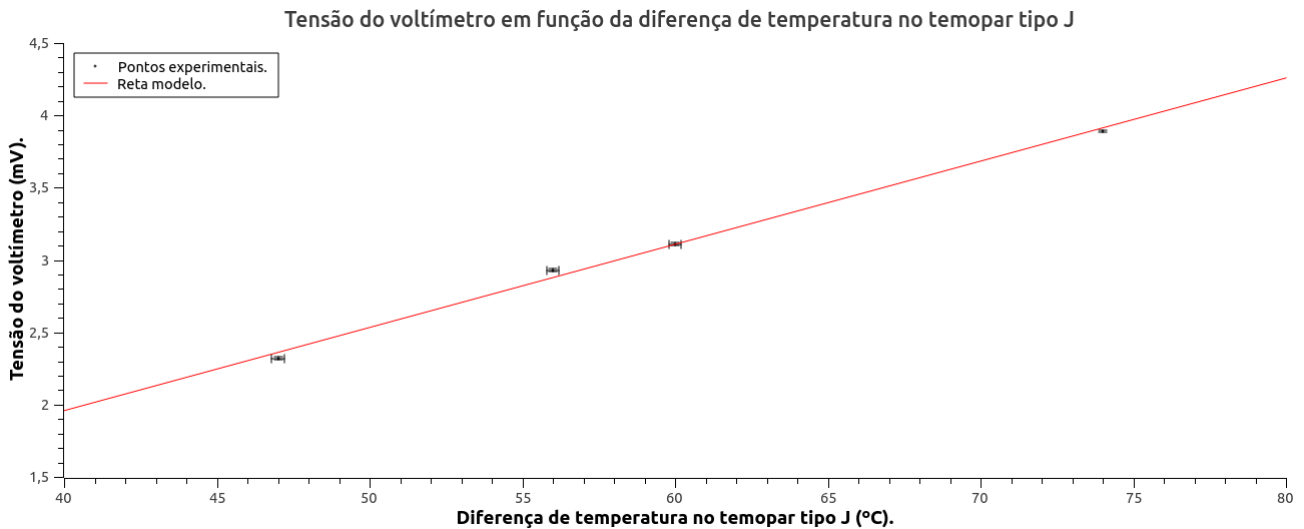
Resultados

Na primeira parte do experimento, foram feitas 4 medidas a fim de montar um gráfico da Tensão do voltímetro em função da diferença de temperatura no termopar ($V(t)$): Os resultados obtidos experimentalmente estão na tabela a seguir:

Tabela 3: Tensão do voltímetro para cada diferença de temperatura.

Número da medida	Voltagem (mV)	Temperatura (°C)
1	2,32 +/- 0,01	46,0 +/- 0,2
2	2,93 +/- 0,01	56,0 +/- 0,2
3	3,11 +/- 0,01	60,0 +/- 0,2
4	3,89 +/- 0,01	74,0 +/- 0,2

Com isso, pode-se obter um gráfico de ($V(t)$):



Com isso obtemos um coeficiente angular $a = 0,0575 \pm 0,0005 \text{ mV}^\circ\text{C}^{-1}$ e um coeficiente linear $b = -0,34 \pm 0,03 \text{ }^\circ\text{C}$. A partir de agora o coeficiente angular e o linear serão usados como os fatores de conversão entre a leitura do voltímetro e a diferença de temperatura.

Na segunda parte do experimento, a equipe calculou o valor da capacidade térmica do calorímetro. Foi usada uma porção de água a $T_1 = 29 \pm 0,2 \text{ }^\circ\text{C}$ de $m_1 = 194,7 \pm 0,04 \text{ g}$ e outra a $T_2 = 80 \pm 0,2 \text{ }^\circ\text{C}$ de $m_2 = 46,4 \pm 0,04 \text{ g}$. A temperatura inicial do calorímetro foi considerada como a temperatura ambiente, igual a temperatura de uma das porções de água $29 \pm 0,2 \text{ }^\circ\text{C}$. Após a mistura e o equilíbrio térmico do conjunto o voltímetro mostra $2,34 \pm 0,01 \text{ mV}$ que, segundo o fator de conversão encontrado pela equipe, é $T = 46,6 \pm 0,7 \text{ }^\circ\text{C}$. Por fim, com a *Lei Zero da Termodinâmica*, e com o calor específico da água $c = 1 \text{ cal g}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ pode-se montar uma expressão para calcular a capacidade térmica do calorímetro, encontrada abaixo:

$$C = \frac{-cm_1(T - T_1) - cm_2(T - T_2)}{T - T_1}$$

O valor encontrado experimentalmente para a capacidade térmica é $C = -107 \pm 5 \text{ cal g}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$.

Na terceira parte do experimento, usamos a mesma lógica da segunda parte do experimento, a equipe usou a lei da conservação de energia e o calor específico da água $c = 1 \text{ cal g}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ para montar uma expressão para calcular o calor específico do metal, encontrada abaixo:

$$c_m = \frac{-C(T - T_1) - cm_a(T - T_1)}{m_m(T - T_q)}$$

Sendo c_m o calor específico do metal, T a temperatura final do conjunto, T_1 a temperatura inicial do calorímetro e da água, m_a massa de água, T_q a temperatura inicial do metal e m_m a massa do metal. Colocando os valores encontrados experimentalmente na tabela a seguir:

Tabela 4: valores das massas dos metais, massas de água e respectivas temperaturas

Metais	m_m (g)	T_q ($^{\circ}\text{C}$)	m_a (g)	T_1 ($^{\circ}\text{C}$)	T ($^{\circ}\text{C}$)
Cobre	93,9 +/- 0,03	66 +/- 0,2	119,5 +/- 0,03	27 +/- 0,2	30,3 +/- 0,6
Chumbo	46,9 +/- 0,03	64 +/- 0,2	222,7 +/- 0,03	28 +/- 0,2	28,7 +/- 0,6
Aço	42,1 +/- 0,03	76 +/- 0,2	195,9 +/- 0,03	28 +/- 0,2	28,7 +/- 0,6

Colocando esses valores na expressão obtemos que o seguinte:

Tabela 5: calor específico encontrado para cada metal.

Metal	Calor específico ($\text{cal.g}^{-1}.\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$)
Cobre	0,012 +/- 0,005
Chumbo	0,12 +/- 0,04
Aço	0,30 +/- 0,02

Discussão

Na primeira parte do experimento foi encontrado o fator de conversão da leitura do voltímetro para a diferença de temperatura entre os fios do termopar. Pode-se comparar esse fator com a tabela de calibração dada pelo Moodle.

Tabela 6: comparando os resultados com os valores do Moodle.

Temperatura (°C)	0	50	100	150	200
Previsto pelo Moodle (mV)	0,000	2,585	5,269	8,010	10,779
Obtido através do fator (mV)	-0,34 +/- 0,03	2,53 +/- 0,03	5,41 +/- 0,03	8,28 +/- 0,03	11,16 +/- 0,03

OBS: Podemos perceber que o valor obtido pelo fator de conversão se afasta do valor previsto com o aumento da temperatura.

Logo, vemos que o valor encontrado experimentalmente não bate com o previsto, porém com uma maior incerteza poderíamos englobar o valor modelo.

Por fim, na terceira parte do experimento, obtivemos os valores dos calores específicos de cada metal e procurando na internet obtemos os valores de referência:

Cobre = $0,094 \text{ cal g}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$.

(<https://www.materiais.gelsonluz.com/2018/09/calor-especifico-do-cobre.html>)

Chumbo = $0,031 \text{ cal g}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$.

(<https://www.materiais.gelsonluz.com/2018/09/calor-especifico-do-chumbo.html>)

Aço = $0,12 \text{ cal g}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$.

(<https://www.materiais.gelsonluz.com/2018/09/calor-especifico-do-aco.html>)

No caso do cobre e do aço, os valores de referência estão de acordo com os obtidos no experimento, no caso do chumbo um pequeno aumento da incerteza poderia colocar os valores em acordo.

Nota: Obtivemos um valor negativo para a capacidade térmica do calorímetro e mediante algumas discussões com os membros da equipe pudemos supor que alguns fatores influenciaram esse resultado: em primeiro lugar tivemos um problema sério com relação ao tempo, já que nosso milivoltímetro com o termopar não estava calibrando corretamente, onde perdemos muito tempo; em segundo lugar, a questão do equilíbrio térmico do sistema, que não tínhamos como saber com exatidão se havia ocorrido, o que comprometia a qualidade do experimento e, semelhante, imperfeições/ineficiências de construção no calorímetro; em terceiro lugar, os resultados dos calores específicos do aço e do chumbo aparentemente "trocados" indica que, embora o intervalo de incerteza "cubra", pode ser que tenhamos nos equivocado com relação a *qual peça correspondia a qual material* e; em quarto lugar, o fato de que a mistura de gelo e água na referência a $0 \text{ }^{\circ}\text{C}$ não estarem exatamente nessa temperatura — tendo em vista que o gelo acabou muito rápido no dia do experimento — e o "transporte" dos metais do recipiente de água quente para o calorímetro, que deu certa resfriada nele, mudando a temperatura.

Anexos