

Relatório de Física Experimental III
2004/2005

Engenharia Física Tecnológica

CALORIMETRIA

Trabalho realizado por:
Ricardo Figueira, nº53755;
André Cunha, nº53757
Tiago Marques, nº53775

Grupo 1; 3ªfeira 16-20h

Lisboa, 26 de Abril de 2005

Dada a natureza prática deste trabalho, vai-se começar por definir os objectivos em detalhe recorrendo apenas a uma base teórica quando necessário. Desta forma o trabalho experimental divide-se em 5 objectivos principais:

- Determinação da **capacidade calorífica** do **calorímetro**;
- Determinação da relação entre a **caloria** e a unidade S.I. de energia;
- Determinação do **calor específico** do cobre, do alumínio e do ferro;
- Determinação da composição de uma peça metálica a partir da medição do seu calor específico;
- Determinação do calor latente de vaporização da água.

O aparato base de que se faz uso nesta experiência, consiste num recipiente isolado termicamente denominado **calorímetro** onde através de um termómetro se podem acompanhar as transferências térmicas entre substâncias a diferentes temperaturas. Desta forma, tendo n substâncias a n temperaturas, conhecendo a capacidade calorífica de n-1 substâncias utilizadas pode-se sempre obter a **capacidade calorífica** da n ésima substância.

O princípio atrás descrito consiste no chamado **método das misturas** que irá ser a base de todo o estudo calorimétrico efectuado. No caso de duas substâncias de massas m_1 e m_2 e calores específicos C_1 e C_2 a temperaturas T_1 e T_2 , a mistura irá atingir uma temperatura final T_3 , como o **calorímetro** é isolado termicamente, a transferência térmica é exclusivamente interna, não havendo perdas de energia do sistema para o exterior. Tendo que a quantidade de calor envolvido na transferência térmica entre as substâncias é dado por:

$$Q = m_1 \cdot C_1 \cdot |T_F - T_1| = m_2 \cdot C_2 \cdot |T_F - T_2|$$

pode-se calcular com relativa facilidade o calor específico desconhecido.

Antes de realizar o primeiro dos objectivos, começar-se-á por efectuar a verificação da calibração do **termómetro** que irá ser utilizado ao longo da experiência. Este processo é feito através da medição de duas temperaturas conhecidas, neste caso dos pontos de fusão e ebulição da água.

Por fim, para se poder determinar a **capacidade calorífica** do **calorímetro**, ou seja, a quantidade de calor necessária para aumentar a temperatura deste em 1 grau Celsius, utiliza-se água a duas temperaturas distintas conhecidas, e através da transferência de calor entre a água a temperatura X e a água a temperatura Y, cuja **capacidade calorífica é conhecida**, consegue-se então obter a do **calorímetro**.

Para determinar a relação entre a caloria e a unidade S.I. de energia colocar-se-á água a uma temperatura inferior à ambiente no **calorímetro** fornecendo-lhe uma dada quantidade de energia térmica (medida em Joule) medindo no final a diferença de temperatura. Assim conhecendo a temperatura inicial, a

temperatura final e a energia cedida em Joule obtém-se a relação desejada directamente.

No caso da determinação do **calor específico** de uma peça de metal pura, isto é a sua **capacidade calorífica** por unidade de massa, recorre-se ao mesmo princípio usado anteriormente. Induzindo na peça metálica uma temperatura conhecida superior à ambiente, tendo a água no **calorímetro** uma temperatura inferior à ambiente e **capacidade calorífica** conhecidas, obtém-se a **capacidade calorífica** por unidade de massa da peça metálica. No final comparar-se-ão os valores obtidos experimentalmente com os valores tabelados calculados teoricamente segundo os **modelos de Debye e Dulong-Petit**.

O **modelo de Dulong-Petit** elaborado em 1819 por Pierre Louis Dulong e Alexis Thérèse Petit consiste na relação clássica entre o calor específico e as vibrações da estrutura cristalina dos sólidos. Esta visão clássica dos sólidos, baseada numa rede de osciladores ligados entre si (com o estado vibracional dependente de 6 graus de liberdade em que cada átomo realiza movimentos em todos os sentidos e direcções) resultou num modelo muito simples válido para qualquer sólido independentemente da sua natureza, em que o calor específico era dado simplesmente por:

$$C_v = 3 \frac{R}{M}$$

Apesar da sua aparente simplicidade, este modelo é válido para sólidos com estruturas cristalinas simples a altas temperaturas.

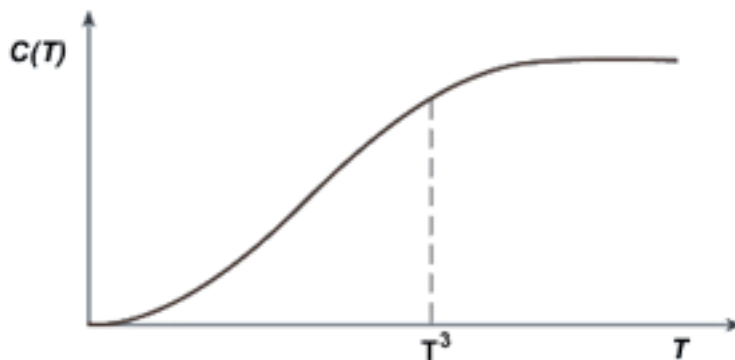
No entanto, a baixas temperaturas o modelo falha devido à manifestação da natureza quântica da matéria. Para estas situações temos o **modelo de Debye**.

Desenvolvido por Peter Debye em 1913 este modelo é traduzido matematicamente por:

$$C_v = \left(\frac{d\varepsilon_T}{dT} \right)_v = 9 \cdot R \cdot \left(\frac{T}{\theta} \right)^3 \cdot \int_0^{\frac{\theta}{T}} dx \cdot \frac{x^4 \cdot e^x}{(e^x - 1)^2}$$

onde θ é a chamada temperatura de Debye, específica para cada material.

Graficamente, este modelo é representado da seguinte forma:



Para concluir o estudo da calorimetria, determinar-se-á o **calor latente de vaporização** da água. O **calor latente** é a energia térmica necessária a uma substância para a efectuar mudança de estado, sendo neste caso a transição do estado líquido para o estado gasoso.

Começa-se então por injectar vapor de água no **calorímetro**, que contém uma determinada massa de de água, até que esta suba uma determinada temperatura. Sabe-se assim a variação da massa de água no **calorímetro**, bem como as temperaturas iniciais da água e do vapor e a final no calorímetro. Tendo todos os valores, pode-se calcular o **calor latente**.

Além do material atrás referido utiliza-se um gerador de vapor, um frigorífico para arrefecimentos, uma chaleira e uma resistência para os aquecimentos, uma resistência de aquecimento, munida de um medidor de energia, ligada a uma fonte de tensão para os aquecimentos de energia quantificada e, finalmente, uma balança de precisão às décimas de grama .

Procedimento Experimental

Começou-se por verificar a calibração do termómetro. Para tal, preparou-se um recipiente com gelo fundente e deixou-se a temperatura do sistema equilibrar, registando esse valor (**T1**) com o termómetro. Ligou-se o gerador de vapor e registou-se a temperatura do vapor (**T2**) depois de a água ter entrado em ebulição. Preencheu-se a Tabela 1 com estes valores, comparando-os com os esperados (0°C para a T1 e 100°C para T2 à pressão atmosférica).

Após se ter verificado o correcto funcionamento do termómetro, colocou-se no calorímetro uma massa (**m1**) de água a uma temperatura inferior à ambiente. Deixou-se a temperatura no interior do calorímetro estabilizar e registou-se o seu valor (**T1**). De seguida, adicionou-se uma outra quantidade de água (**m2**), a uma temperatura (**T2**) superior à ambiente (pelo menos 15°C acima de T1). Deixou-se a temperatura equilibrar no interior do calorímetro e mediu-se o seu valor (**T3**).

Análise de Resultados

Sabendo que o calor específico da água a 15°C e à pressão de 1 atm é de 1 cal/g°, determinou-se a capacidade calorífica do calorímetro (**C_{cal}**). Para tal, tomou-se em conta que o calor cedido pela água mais quente não aqueceu somente a água mais fria, mas também o calorímetro (água e calorímetro encontram-se em equilíbrio térmico). Usou-se a seguinte fórmula bem como o seu erro associado (Tabela 2):

$$C_{cal} = \frac{C_{H_2O} \cdot (m_2 \cdot (T_2 - T_3) - m_1 \cdot (T_3 - T_1))}{T_3 - T_1};$$

$$\varepsilon_{C_{cal}} = |C_{H_2O}| \cdot \varepsilon_{m_1} + \left| \frac{C_{H_2O} \cdot (T_2 - T_3)}{T_3 - T_1} \right| \cdot \varepsilon_{m_2} + \left| \frac{C_{H_2O} \cdot m_2 \cdot (T_2 - T_3)}{(T_3 - T_1)^2} \right| \cdot \varepsilon_{T_1} + \left| \frac{C_{H_2O} \cdot m_2}{T_3 - T_1} \right| \cdot \varepsilon_{T_2} + \left| \frac{C_{H_2O} \cdot m_2 \cdot (T_1 - T_2)}{(T_3 - T_1)^2} \right| \cdot \varepsilon_{T_3}.$$

Neste cálculo usou-se a aproximação de que a capacidade calorífica da água e do calorímetro não variam na gama de temperaturas consideradas.

Procedimento Experimental

Voltou-se a colocar no calorímetro uma massa (**m1**) de água, a uma temperatura inferior à ambiente. Deixou-se estabilizar a temperatura e mediu-se o seu valor (**T1**). Ligou-se o medidor de energia e a fonte de alimentação da resistência aplicando uma tensão (**V**) de 12V. Forneceu-se à resistência uma quantidade de energia (**E**) de cerca de 4000J, e desligou-se de seguida a fonte quando este valor foi atingido. Esperou-se que a temperatura estabilizasse e mediu-se esta (**T2**).

Análise dos Resultados

O calor absorvido pelo calorímetro e pela água é igual à energia fornecida à resistência. Para se achar a relação entre 1 J e 1 cal, faz-se a razão entre E e o calor absorvido em calorias (Tabelas 3 e 4):

$$Q = (C_{cal} + C_{H_2O} \cdot m1) \cdot (T2 - T1);$$

$$\varepsilon_Q = |C_{cal} \cdot (T2 - T1)| \cdot \varepsilon_{m1} + |C_{cal} + C_{H_2O} \cdot m1| \cdot \varepsilon_{T1} + |C_{cal} + C_{H_2O} \cdot m1| \cdot \varepsilon_{T2} + |(T2 - T1)| \cdot \varepsilon_{C_{cal}} ;$$

$$\frac{E}{Q} = \frac{E}{(C_{cal} + C_{H_2O} \cdot m1) \cdot (T2 - T1)} ;$$

$$\varepsilon_{\frac{E}{Q}} = \left| \frac{1}{Q} \right| \cdot \varepsilon_E + \left| \frac{E}{Q^2} \right| \cdot \varepsilon_Q \cdot$$

Procedimento Experimental

Ligou-se o gerador de vapor e esperou-se que este atingisse o funcionamento pleno. Colocou-se no calorímetro uma massa (**m1**) de água a uma temperatura inferior à ambiente. Deixou-se a temperatura estabilizar e registou-se o seu valor (**T1**). Mediu-se a massa da peça de cobre (**m2**) e colocou-se no gerador de vapor sem tocar na água. Deixou-se a temperatura estabilizar e mediu-se o seu valor (**T2**). Introduziu-se rapidamente a peça no calorímetro, evitando ao máximo trocas de calor com o ambiente, e deixou-se a temperatura do calorímetro estabilizar (**T3**). Repetiu-se o mesmo procedimento para as peças de alumínio e de ferro.

Análise dos Resultados

É possível determinar o calor específico dos três metais através da relação (Tabelas 5, 6 e 7):

$$C_{metal} = \frac{(C_{H_2O} \cdot m1 + C_{cal}) \cdot (T3 - T1)}{m_{metal} \cdot (T2 - T3)};$$

$$\begin{aligned} \varepsilon_{Cmetal} = & \left| \frac{T1 - T3}{m_{metal} (T3 - T2)} \right| \cdot \varepsilon_{Ccal} + \left| \frac{C_{H_2O} \cdot (T3 - T1)}{m_{metal} \cdot (T2 - T3)} \right| \cdot \varepsilon_{m1} + \left| \frac{(C_{H_2O} \cdot m1 + C_{cal}) \cdot (T1 - T3)}{m_{metal}^2 \cdot (T2 - T3)} \right| \cdot \varepsilon_{mmetal} + \\ & + \left| \frac{(C_{H_2O} \cdot m1 + C_{cal})}{m_{metal} \cdot (T3 - T2)} \right| \cdot \varepsilon_{T1} + \left| \frac{(C_{H_2O} \cdot m1 + C_{cal}) \cdot (T1 - T3)}{m_{metal} \cdot (T2 - T3)^2} \right| \cdot \varepsilon_{T2} + \left| \frac{(C_{H_2O} \cdot m1 + C_{cal}) \cdot (T1 - T2)}{m_{metal} \cdot (T2 - T3)^2} \right| \cdot \varepsilon_{T3} \cdot \end{aligned}$$

Actividade 4

Procedimento Experimental

Repetiu-se o procedimento descrito na actividade anterior, mas desta vez para a peça metálica composta por ferro e alumínio.

Análise dos Resultados

Calculou-se o calor específico da peça da mesma forma que na actividade anterior (Tabela 8):

$$C_{peça} = \frac{(C_{H_2O} \cdot m_1 + C_{cal}) \cdot (T_3 - T_1)}{m_{peça} \cdot (T_2 - T_3)};$$

$$\begin{aligned} \varepsilon_{C_{peça}} = & \left| \frac{T_1 - T_3}{m_{peça} (T_3 - T_2)} \right| \cdot \varepsilon_{C_{cal}} + \left| \frac{C_{H_2O} \cdot (T_3 - T_1)}{m_{peça} \cdot (T_2 - T_3)} \right| \cdot \varepsilon_{m_1} + \left| \frac{(C_{H_2O} \cdot m_1 + C_{cal}) \cdot (T_1 - T_3)}{m_{peça}^2 \cdot (T_2 - T_3)} \right| \cdot \varepsilon_{m_{peça}} + \\ & + \left| \frac{(C_{H_2O} \cdot m_1 + C_{cal})}{m_{peça} \cdot (T_3 - T_2)} \right| \cdot \varepsilon_{T_1} + \left| \frac{(C_{H_2O} \cdot m_1 + C_{cal}) \cdot (T_1 - T_3)}{m_{peça} \cdot (T_2 - T_3)^2} \right| \cdot \varepsilon_{T_2} + \left| \frac{(C_{H_2O} \cdot m_1 + C_{cal}) \cdot (T_1 - T_2)}{m_{peça} \cdot (T_2 - T_3)^2} \right| \cdot \varepsilon_{T_3}. \end{aligned}$$

Para calcular as percentagens dos constituintes (%_{Fe}, %_{Al}), resolveu-se o seguinte sistema:

$$\begin{aligned} C_{peça} = \%_{Fe} \cdot C_{Fe} + \%_{Al} \cdot C_{Al} & \Leftrightarrow \%_{Fe} = \frac{C_{peça} - C_{Al}}{C_{Fe} - C_{Al}} \cdot 100 \\ 100 = \%_{Fe} + \%_{Al} & \Leftrightarrow \%_{Al} = \frac{C_{Fe} - C_{peça}}{C_{Fe} - C_{Al}} \cdot 100 \end{aligned}$$

$$\varepsilon_{\%_{Fe}} = 100 \cdot \left(\left| \frac{1}{C_{Fe} - C_{Al}} \right| \cdot \varepsilon_{C_{peça}} + \left| \frac{C_{peça} - C_{Fe}}{(C_{Al} - C_{Fe})^2} \right| \cdot \varepsilon_{C_{Al}} + \left| \frac{C_{Al} - C_{peça}}{(C_{Al} - C_{Fe})^2} \right| \cdot \varepsilon_{C_{Fe}} \right);$$

$$\varepsilon_{\%_{Al}} = 100 \cdot \left(\left| \frac{1}{C_{Al} - C_{Fe}} \right| \cdot \varepsilon_{C_{peça}} + \left| \frac{C_{Fe} - C_{peça}}{(C_{Al} - C_{Fe})^2} \right| \cdot \varepsilon_{C_{Al}} + \left| \frac{C_{peça} - C_{Al}}{(C_{Al} - C_{Fe})^2} \right| \cdot \varepsilon_{C_{Fe}} \right).$$

Para se ter um valor de comparação, mediram-se as massas em separado das partes da peça, sendo assim possível determinar quais as suas percentagens mássicas. Com os valores desta actividade preencheu-se a Tabela 9.

Procedimento Experimental

Ligou-se o gerador de vapor e esperou-se até que este atingisse o funcionamento pleno. Colocou-se no calorímetro uma massa (**m1**) de água a uma temperatura inferior à ambiente e deixou-se a temperatura no interior do calorímetro estabilizar (**T1**). Utilizando um tubo flexível, conduziu-se o vapor do gerador através do retentor de água até ao calorímetro. Mediu-se a temperatura do vapor (**T2**). De seguida mergulhou-se a saída de vapor no calorímetro e deixou-se a experiência correr até a temperatura da água subir 15°C acima de T1 (**T3**). Mediu-se a massa da água existente no calorímetro (**m2**).

Análise dos Resultados

Com os dados obtidos, calculou-se o calor latente de vaporização da água (**Q_v**) (Tabela 10):

$$Q_v = \frac{(C_{H_2O} \cdot m1 + C_{cal}) \cdot (T3 - T1)}{m2 - m1} - C_{H_2O} \cdot (T2 - T3);$$

$$\varepsilon_{Q_v} = \left| \frac{T1 - T3}{m1 - m2} \right| \cdot \varepsilon_{C_{cal}} + \left| \frac{(C_{cal} + C_{H_2O} \cdot m1) \cdot (T3 - T1)}{(m1 - m2)^2} \right| \cdot \varepsilon_{m1} + \left| \frac{(C_{H_2O} \cdot m1 + C_{cal}) \cdot (T1 - T3)}{(m1 - m2)^2} \right| \cdot \varepsilon_{m2} +$$

$$+ \left| \frac{(C_{H_2O} \cdot m1 + C_{cal})}{m1 - m2} \right| \cdot \varepsilon_{T1} + |C_{H_2O}| \cdot \varepsilon_{T2} + \left| \frac{C_{H_2O} \cdot m2 + C_{cal}}{m2 - m1} \right| \cdot \varepsilon_{T3}.$$

Discussão de Resultados

Antes das medições propriamente ditas, fez-se uma prévia verificação da calibração do termómetro utilizado em toda a experiência. Os resultados obtidos foram muito satisfatórios, uma vez que se revelaram muito exactos (desvios à exactidão de 0,13% para a temperatura de fusão e 0,039% para temperatura de ebulição) e também bastante precisos (desvios à precisão de 0,011% e 0,0054%). Apesar de os resultados obtidos não abrangerem os teóricos com a margem de erro, a pressão na sala podia não ser exactamente 1 atm. Como os valores se encontravam muito próximos considerou-se o termómetro bastante bem calibrado.

Na primeira actividade, determinou-se experimentalmente a capacidade calorífica do calorímetro. Obteve-se o valor de $18,319 \pm 1,9746$ cal/°C, o que representa um desvio à precisão de 10,78%. Este valor é significativo, e reflecte as diversas fontes de erro presentes nas medições. Uma vez que não existe um valor tabelado, não é possível determinar o desvio à exactidão.

A medição desta grandeza é de extrema importância para toda a experiência, uma vez que a capacidade calorífica do calorímetro entra em todos os próximos cálculos.

É importante referir que esta parte da experiência foi repetida, dado que da primeira vez, obteve-se o valor de 3,2179 cal/°C, sendo este número muito reduzido para a capacidade calorífica em questão. Esta grande discrepância, ficou-se a dever a uma possível má medição de temperaturas, visto que pequenas variações nestas conduziam a grandes diferenças nos resultados.

Na segunda parte, determinou-se a razão entre uma quantidade de energia em Joule e e calorias. Desta forma dever-se-ia ter o valor de 4,18, uma vez que uma caloria corresponde a 4,18 J. O valor obtido foi de $4,2524 \pm 0,11074$. o que representa um desvio à precisão de 2,60% e um desvio à exactidão de 1,73%. Desta forma, o valor teórico encontra-se abrangido pela margem de erro do obtido experimentalmente.

Para comparar os valores obtidos para os calores específicos dos três sólidos considerados (cobre, alumínio e ferro) preencheu-se a Tabela 11. O Cu apresenta um desvio à precisão de 4,11%, o Al de 3,45% e 4,99%. Desta forma, constatou-se que o valor obtido para o Cu apresenta um desvio de 2,65% face ao valor tabelado, um de 0,69% ao obtido do modelo de Dulong et Petit e de 0,17% em relação ao modelo de Debye. Para o Al obtiveram-se os desvios de 4,48%, 1,71%, 4,16%, respectivamente e para o Fe 2,51%, 1,90%, 5,90%.

Como se pode constatar os valores teóricos encontram-se bastante próximos dos obtidos experimentalmente, embora não estejam sempre cobertos pela margem de erro. O modelo de Dulong et Petit, ao contrário do que seria de esperar uma vez que não apresenta dependência da temperatura, foi o que mais se aproximou aos valores determinados, estando sempre coberto pela margem de erro experimental. No caso do modelo de Debye, tal só acontece para o Cu. Observou-se ainda que todos os valores obtidos experimentalmente se

apresentavam por excesso face aos valores teóricos. Tal facto, leva-nos a concluir que foi cometido um erro sistemático durante as medições, provavelmente a determinação da capacidade calorífica do calorímetro.

No entanto, os pequenos desvios face a todos os valores teóricos levam-nos a concluir que o método utilizado para a determinação das capacidades caloríficas específicas permite resultados bastante exactos.

Para a determinação dos valores dos modelos usaram-se as descrições efectuadas na introdução. Importa referir que a temperatura considerada no modelo de Debye foi a média das temperaturas extremas dos metais.

A proximidade do modelo de Dulong et Petit aos resultados obtidos experimentalmente, deve-se ao facto de se ter operado com temperaturas elevadas na escala absoluta. Sabe-se que este modelo só garante uma boa aproximação nestas condições.

Na penúltima actividade estimou-se a capacidade calorífica para a peça metálica, $0,19613 \pm 0,0048539$ cal/g°C com um desvio à precisão de 2,47%. Com base neste valor, e usando as capacidades caloríficas determinadas para o Fe e Al, determinou-se a percentagem destes constituintes na peça. Obteve-se, então, 24,830% para o Fe e 75,170% para o Al. Quando comparados com os valores obtidos através da medição das massas (30,7% para o Fe e 60,3% para o Al) verificou-se que estes estavam cobertos pela margem de erro.

Finalmente, determinou-se experimentalmente o calor latente de vaporização da água. Obteve-se $552,2 \pm 22,43$ cal o que representa um desvio à precisão de 4,06%. Quando comparado com o valor teórico (540,0 cal) obtém-se um desvio à exactidão de 2,26% e verifica-se que este se encontra coberto pela margem de erro. Mais uma vez foi verificada a eficiência do método utilizado.

Conclusões

A experiência decorreu conforme previsto, obtendo-se resultados bastante satisfatórios nas várias actividades.

Confirmaram-se algumas previsões teóricas, como o calor de vaporização de água, a relação entre Joule e caloria, bem como as capacidades caloríficas de alguns metais. Também foi possível confrontar os dados das percentagens de Ferro e Alumínio presentes na peça de metal, obtidos por calorimetria com os obtidos directamente através da medição da suas massas.

No entanto, em todas as actividades foi notória a presença de fontes de erro que não devem, de forma alguma, ser desprezadas:

- Os valores das temperaturas medidas no termómetro oscilaram bastante, além de serem presentes gradientes de temperatura nos fluídos, apesar da constante agitação;
- A presença de impurezas na água e no gelo, que pode afectar trocas de calor;
- O valor da capacidade calorífica específica da água utilizado só é válido para água em condições padrão que não se verificaram de todo;
- O calorímetro utilizado, um simples termo, não é um isolante perfeito. Tal facto traduz-se em trocas de calor com o ambiente, sobretudo nas actividades onde a água no interior do calorímetro permaneceu durante algum tempo enquanto se fizeram outras medições (como por exemplo a medição da temperatura dos metais);
- Os metais também realizaram trocas de calor, durante o trajecto do gerador de vapor até ao calorímetro. Como se sabe os metais realizam trocas de calor com extrema facilidade. Desta forma, a sua temperatura no instante em que entram em contacto com a água é inferior à determinada previamente;
- Os metais utilizados não se encontram no estado puro, o que se vai traduzir num maior afastamento das suas capacidades caloríficas em relação às tabeladas.

Bibliografia

- Aulas teóricas e protocolo do Professor Figueirinhas;
- Introdução à Física , Jorge Dias de Deus
- www.wikipedia.org

$T_{\text{fusão exp}} (^{\circ}\text{C})$	$\epsilon T_{\text{fusão exp}} (^{\circ}\text{C})$	$T_{\text{fusão teo}} (^{\circ}\text{C})$	$T_{\text{ebulição exp}} (^{\circ}\text{C})$	$\epsilon T_{\text{ebulição exp}} (^{\circ}\text{C})$	$T_{\text{ebulição teo}} (^{\circ}\text{C})$
0,376	0,03	0	99,856	0,02	100

Tabela 1 - Verificação da calibração do termómetro

massa	m (g)	ϵm (g)	T ($^{\circ}\text{C}$)	ϵT ($^{\circ}\text{C}$)	T_3 ($^{\circ}\text{C}$)	ϵT_3 ($^{\circ}\text{C}$)	$C_{\text{H}_2\text{O}}$ (cal/g $^{\circ}\text{C}$)	C_{cal} (cal/ $^{\circ}\text{C}$)	ϵC_{cal} (cal/ $^{\circ}\text{C}$)
1	100,0	0,05	16,575	0,06	25,500	0,03	1	18,319	1,9746
2	100,0	0,05	36,060	0,03					

Tabela 2 - Determinação da capacidade calorífica do calorímetro

massa	m (g)	ϵm (g)	T_1 ($^{\circ}\text{C}$)	ϵT_1 ($^{\circ}\text{C}$)	T_2 ($^{\circ}\text{C}$)	ϵT_2 ($^{\circ}\text{C}$)	Q (cal)	ϵQ (J/cal)
1	100,0	0,05	14,750	0,04	22,700	0,03	940,64	16,980

Tabela 3 - Determinação do calor transferido pela resistência ao sistema

Q (cal)	ϵQ (J/cal)	E (J)	$\epsilon_{E(J)}$	E/Q (J/cal)	$\epsilon E/Q$ (J/cal)
940,64	16,980	4000	0,5	4,2524	0,11074

Tabela 4 - Determinação da relação entre a Caloria (cal) e a unidade SI de energia Joule (J)

massa	m (g)	ϵm (g)	T ($^{\circ}\text{C}$)	ϵT ($^{\circ}\text{C}$)	T_3 ($^{\circ}\text{C}$)	ϵT_3 ($^{\circ}\text{C}$)	C_{Cu} (cal/g $^{\circ}\text{C}$)	ϵC_{Cu} (cal/g $^{\circ}\text{C}$)
1	150,0	0,05	16,400	0,03	19,357	0,05	0,094547	0,003886
2	66,6	0,05	98,400	0,05				

Tabela 5 - Determinação do calor específico do Cobre (Cu)

massa	m (g)	ϵm (g)	T ($^{\circ}\text{C}$)	ϵT ($^{\circ}\text{C}$)	T_3 ($^{\circ}\text{C}$)	ϵT_3 ($^{\circ}\text{C}$)	C_{Al} (cal/g $^{\circ}\text{C}$)	ϵC_{Al} (cal/g $^{\circ}\text{C}$)
1	150,0	0,05	9,500	0,05	13,460	0,03	0,2249	0,007759
2	34,6	0,05	99,100	0,04				

Tabela 6 - Determinação do calor específico do Alumínio (Al)

massa	m (g)	ϵm (g)	T (°C)	ϵT (°C)	T ₃ (°C)	ϵT_3 (°C)	C _{Fe} (cal/g°C)	ϵC_{Fe} (cal/g°C)
1	150,0	0,05	11,000	0,05	14,052	0,06	0,10888	0,0054352
2	55,4	0,05	99,200	0,02				

Tabela 7 - Determinação do calor específico do Ferro (Fe)

massa	m (g)	ϵm (g)	T (°C)	ϵT (°C)	T ₃ (°C)	ϵT_3 (°C)	C _{peça} (cal/g°C)	$\epsilon C_{peça}$ (cal/g°C)
1	150,0	0,05	13,425	0,02	19,000	0,04	0,19613	0,0048539
2	59,2	0,05	99,820	0,05				

Tabela 8 - Determinação do calor específico da peça

%Fe	$\epsilon_{\%Fe}$	%Al	$\epsilon_{\%Al}$	m _{Fe} (g)	ϵm_{Fe} (g)	m _{Al} (g)	ϵm_{Al} (g)	% mássica _{Fe}	% mássica _{Al}
24,830	10,370	75,170	10,370	18,2	0,05	41	0,05	30,7	69,3

Tabela 9 - Cálculo das percentagens mássicas experimentais e teóricas

massa	m (g)	ϵm (g)	T (°C)	ϵT (°C)	T ₃ (°C)	ϵT_3 (°C)	Q (cal)	ϵQ (J/cal)
1	150,0	0,05	4,920	0,05	24,630	0,05	552,2	22,43
2	155,3	0,05	98,400	0,05				

Tabela 10 - Determinação do calor latente de vaporização da água

metal	C _{metal} (cal/g°C)	ϵC_{metal} (cal/g°C)	C _{metal} (J/mol°C)	ϵC_{metal} (J/mol°C)	tabelado (J/mol°C)	Dulong et Petit (J/mol°C)	Debye (J/mol°C)
Cobre (Cu)	0,094547	0,003886	25,114	1,03214	24,465	24,943	25,072
Alumínio (Al)	0,2249	0,007759	25,370	0,87508	24,283	24,943	24,357
Ferro (Fe)	0,10888	0,0054352	25,417	1,26876	24,795	24,943	23,999

Tabela 11 - Comparação do calor específico dos metais segundo os diversos modelos