

## EQUIVALENTE DO CALOR E DA ENERGIA

### I – INTRODUÇÃO

#### UNIDADES DE MEDIDA DA ENERGIA

A energia é uma grandeza que foi definida de maneira independente na mecânica e na calorimetria, onde são respectivamente denominadas energia mecânica e calor. Com a descoberta que estas duas definições independentes se referem a um mesmo ente físico, surge uma nova teoria, a termodinâmica, que trata das relações de troca de energia sob forma de calor e energia mecânica (ou química) entre os sistemas físico-químicos. A termodinâmica requer, portanto, uma relação quantitativa entre as duas unidades de medida independentes para calor e energia mecânica. A primeira unidade é a caloria, definida como a quantidade de calor necessária para elevar a temperatura de 1 gr de água de 14,5 para 15,5 °C. A unidade de energia mecânica é expressa em termos das unidades fundamentais de comprimento [L], massa [M] e tempo [T] baseada na análise dimensional: [Energia] = [ML<sup>2</sup>T<sup>-2</sup>]. No sistema SI a unidade de energia é o Joule (J), e no sistema CGS é o erg. A energia elétrica pode ser medida na mesma unidade de energia mecânica, pois ela pode ser definida em termos da força elétrica de Coulomb entre cargas. Normalmente, em uma conta de consumo de energia elétrica, ela é medida em unidades de kilowatt-hora (kWh). Note que 1 Watt = 1J/seg e portanto 1kWh = 3,6x10<sup>6</sup> J.

O objetivo deste experimento é a determinação do equivalente entre a caloria e o Joule, i.e., a determinação do valor da constante A, definida por:

$$1 \text{ cal} = A \text{ Joule} \Rightarrow \text{valor}[\text{cal}] = \frac{1}{A} \text{valor}[\text{Joule}] \quad (1)$$

#### CALOR ESPECÍFICO

Quando fornecemos calor a um corpo material a sua temperatura aumenta. Este aumento depende da quantidade de calor fornecida, da massa do corpo e de uma propriedade chamada de calor específico, indicada pela letra *c*. Ele mede a “inércia térmica” do material, i.e., a sua resistência em alterar a temperatura quando troca calor. Ele é expresso em unidades de calor (ou energia) dividido por massa e por grau, e é quantitativamente medido a partir da relação básica da calorimetria:

$$Q = c.m.(T_{\text{final}} - T_{\text{inicial}}). \quad (2)$$

O valor do *c* pode variar com a temperatura ( $c=c(T)$ ), mas a variação é pequena para maioria dos materiais. Seu valor depende das unidade de energia, massa e temperatura utilizadas. Usualmente em *c* é medido em unidades de cal/gr°C. No caso da água, que é o material utilizado para a definição da caloria, temos que

$$c_{\text{água}} = 1 \frac{\text{cal}}{\text{g } ^\circ\text{C}}. \quad (3)$$

Neste experimento iremos também medir o calor específico do alumínio.

#### DETERMINAÇÃO DA CONSTANTE A

Vamos aquecer uma determinada massa de água com um aquecedor elétrico, medindo a energia elétrica fornecida pelo aquecedor (em J) e o aumento da temperatura. Temos:

$$W_{\text{fornecida}} = P.t, \quad (4)$$

onde  $P$  é a potência do aquecedor (quantidade de energia fornecida por unidade de tempo, medida em Watt) e  $t$  o tempo (em segundos) em que o mesmo forneceu energia para a água. Por outro lado, o calor absorvido pela água pode ser expresso (e medido em calorias) por:

$$W_{\text{absorvida}} = m c_{\text{água}} \Delta T, \quad (5)$$

onde  $m$  = massa da água;  $c_{\text{água}} = 1 \text{ cal/g } ^\circ\text{C}$ ;  $\Delta T_{\text{água}} = T_{f,\text{água}} - T_{i,\text{água}}$ . Igualando a energia fornecida à absorvida, e usando a expressão (1), podemos determinar o valor de  $A$  pela relação:

$$Pt[\text{Joule}] = mc_{\text{água}} \Delta T[\text{Joule}] = Amc_{\text{água}} \Delta T[\text{caloria}]. \quad (6)$$

## O PROCESSO DE MEDIDA DE TEMPERATURA

Os processos de medidas adotados nos experimentos anteriores são feitos pela leitura em um aparelho (seja ele uma régua ou um multímetro digital) do valor registrado. Nestes processos basta que os aparelhos sejam posicionados corretamente para que a leitura possa ser feita imediatamente. No caso de experimentos que dependem de registros temporais, a exigência é que o instante em que um dado evento ocorreu, ou a sua duração, seja marcado com precisão em um relógio ou cronômetro.

No entanto, em medidas de temperatura, é imprescindível que o aparelho de medida (o termômetro) entre em equilíbrio térmico com o objeto que está sendo medido. Se isto não ocorre, a leitura do termômetro não registra a verdadeira temperatura do objeto. O tempo necessário para que o equilíbrio térmico ocorra depende do aparelho, do objeto, e das temperaturas em que estes se encontram antes do processo de medida ser iniciado. Por isso o processo de medida exige que a leitura do termômetro seja feita continuamente (ou a intervalos pequenos em relação ao tempo necessário para o equilíbrio ser atingido). Assim pode-se perceber quando o termômetro entra em equilíbrio térmico com o objeto. É claro que após o termômetro e o objeto entrarem em equilíbrio este estado não vai ser alterado, e a leitura do termômetro após este instante será sempre a mesma. No entanto, o termômetro e o objeto podem trocar calor também com outros objetos. No nosso experimento o calorímetro não é totalmente isolado e há sempre perdas para o meio externo. É claro que elas são pequenas mas, se o intervalo de tempo em que a água quente ficar dentro do calorímetro aumentar muito, estas perdas podem ser significativas. Por isso é importante que o processo de leitura do termômetro seja a intervalos curtos, para que possamos detectar rapidamente o processo de equilíbrio entre o termômetro e a água e separá-lo da diminuição de temperatura devido às perdas de calor para o meio externo.

## II - MATERIAL NECESSÁRIO

1. Aquecedor
2. Termômetro
3. Calorímetro - Caixa de alumínio dentro de uma de isopor
4. Relógio
5. Béquer
6. Vaso calibrado ou balança

## III – PROCEDIMENTO

Pese a caixa de alumínio e coloque-a no isopor. Pese também uma massa de cerca de 4 kg (4 litros) de água. É importante que a massa de água seja pesada, pois a medida de volume dada pelos vasilhames graduados não é precisa. Coloque a água dentro do calorímetro, tampe-o e meça a temperatura da água. Leia o valor da potência do aquecedor. Registre todos os dados na tabela.

A caixa de isopor é isolante e impede a perda de calor para o meio (até certo ponto, é claro). A caixa de alumínio evita o esvaziamento da água. Anote o tempo inicial e ligue o aquecedor. Controle o aumento de temperatura, registrando na tabela o valor da temperatura e o tempo em intervalos de 1 minuto, até a temperatura atingir cerca de 80°C. Desligue o aquecedor e registre na tabela o instante em que o aquecedor foi desligado. Mantenha ainda o calorímetro tampado, registrando na tabela a temperatura da água por mais 5 minutos em intervalos de 1 minuto ou até perceber que a temperatura da água se estabilizou.

Para determinar o calor específico do alumínio vamos usar o calorímetro e a água quente em seu interior. Pese uma barra de alumínio e meça a sua temperatura, registrando os dados na tabela. Abra rapidamente o calorímetro, coloque em seu interior a barra de alumínio e volte a tampá-lo. Continue a medir a temperatura da água no interior do calorímetro em intervalos de 1 minuto por mais 5 minutos, até perceber que ela se estabilizou. Registre os dados na tabela. Desta vez a temperatura da água cai um pouco e a curva da temperatura está abaixo da curva do primeiro experimento, pois neste caso a água quente perdeu calor para aquecer o alumínio.

#### IV – TRATAMENTO DOS DADOS

Faça o gráfico da temperatura em função do tempo desde o início do aquecimento até o momento em que a temperatura da água com a barra de alumínio estabilizou. Identifique no gráfico e determine o valor numérico das seguintes grandezas: o tempo total  $t$  usado para aquecer a água; a variação de temperatura  $\Delta T_{\text{água}} = T_{f,\text{água}} - T_{i,\text{água}}$ ; a variação de temperatura sofrida pela barra de alumínio após a sua imersão na água  $\Delta T_{Al} = T_{f,Al} - T_{i,Al}$ ; a variação de temperatura sofrida pela água no calorímetro após a imersão da barra de alumínio  $\Delta T_{\text{água}+Al} = T_{f,Al} - T_{f,\text{água}}$ .

Usando as expressões desenvolvidas na Introdução determine o valor de  $A$  e compare o seu resultado com o melhor valor experimental tabelado:

$$1 \text{ cal} = 4,19 \text{ Joule}, \text{ ou } 1 \text{ Joule} = 0,239 \text{ cal}. \quad (7)$$

O valor encontrado pode ser diferente do tabelado porque foi calculado usando outras grandezas sujeitas a erros experimentais: a massa  $m$ , a temperatura inicial e final, o tempo da ligação do aquecedor, a potência do aquecedor. Além disso, o calorímetro não é perfeitamente isolado, e há uma constante perda de calor para o ambiente que não é levada em conta. Finalmente há um erro sistemático que pode ser corrigido: a não inclusão da capacidade calorífica da cuba de alumínio que é ignorada na expressão acima.

Determine agora o valor do calor específico do alumínio. Para isso basta igualar, em módulo, o calor recebido pela barra com o calor cedido pela água. Temos:

$$Q_{\text{abs}} = m_{Al} \cdot c_{Al} \cdot (T_{f,Al+\text{água}} - T_{i,Al}) \quad \text{e} \quad Q_{\text{perdido}} = m_{\text{água}} \cdot c_{\text{água}} \cdot (T_{f,Al+\text{água}} - T_{f,\text{água}}). \quad (8)$$

Compare o valor obtido com o melhor valor experimental tabelado:

$$c_{Al} = 0,90 \frac{J}{g^{\circ}C} = 0,90 \frac{\text{kiloJ}}{\text{kg}^{\circ}C}. \quad (9)$$

#### CORREÇÃO DOS ERROS SISTEMÁTICOS

As fontes de erros experimentais que influenciam o valor obtido para  $c_{Al}$  são basicamente as mesmas que influenciam o cálculo de  $A$ . Devemos acrescentar ainda a perda de calor ao se abrir o calorímetro para a imersão da barra de alumínio. Também aqui há um erro sistemático devido a não inclusão da cuba de alumínio.

Se passamos a considerar a influência da caixa de alumínio nas trocas térmicas dentro do calorímetro as expressões para o valor de  $A$  e para o calor específico do alumínio têm que ser modificadas. No primeiro caso temos:

$$W_{absorvida} = m_{\text{água}} \cdot c_{\text{água}} (T_{f,\text{água}} - T_{i,\text{água}}) + m_{\text{caixa}} \cdot c_{Al} (T_{f,\text{água}} - T_{i,\text{água}}). \quad (10)$$

No caso do calor específico do alumínio  $A$  devemos considerar que o calor cedido à barra é:

$$Q_{perdido} = m_{\text{água}} \cdot c_{\text{água}} \cdot (T_{f,Al+\text{água}} - T_{f,\text{água}}) + m_{\text{caixa}} \cdot c_{Al} \cdot (T_{f,Al+\text{água}} - T_{f,\text{água}}). \quad (11)$$

Refaça os cálculos para  $A$  e  $c_{Al}$  e compare-os com os da tabela e com os obtidos com o erro sistemático.

Se quisermos corrigir a perda de calor para o ambiente ao abrir o calorímetro para colocar a barra de alumínio podemos adotar o seguinte procedimento. Retire a barra de alumínio do calorímetro e reaqueça a água até os 80 °C. Espere 3 minutos até a temperatura estabilizar. Em seguida abra o calorímetro durante o mesmo intervalo de tempo que foi preciso para inserir a barra de alumínio. Registre durante mais 3 minutos a temperatura. Agora sabemos que esta variação foi devida apenas à perda de calor para o meio. Calcule a quantidade de calor perdido neste processo e inclua este termo no balanço de calor na determinação do calor específico do alumínio.