

CALOR DE TRANSFORMAÇÃO (RELATÓRIO)

“Neste experimento vamos tentar determinar o calor latente de vaporização da água, o calor latente de fusão do gelo e compará-los com os valores já conhecidos 540 cal/g e 80 cal/g”

I. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

- ✓ Dependendo dos valores da pressão e da temperatura, uma substância pode apresentar-se em qualquer uma das três fases da matéria: *sólida*, *líquida* ou *gasosa*.
- ✓ Durante a mudança de fase a temperatura de um corpo é bem definida e se mantém constante durante todo o processo.
- ✓ Se um corpo se encontra em sua temperatura de mudança de fase, é necessário fornecer ou retirar calor a ele para que ocorra a mudança de fase.
- ✓ Essa quantidade de calor por unidade de massa (m), é denominada **calor latente** (L), que é característico de cada substância e pode ser calculada fazendo-se: $Q = m \times L$
- ✓ A quantidade de calor fornecido por uma fonte de potência constante, num determinado intervalo de tempo Δt , será calculado fazendo-se: $Q = Pot \cdot \Delta t$.
- ✓ A quantidade de calor recebido ou cedido por um corpo, com variação de temperatura pode ser calculada fazendo-se: $Q = m \cdot c \cdot \Delta T$, onde m é a massa do corpo, c é o calor específico da substância.
- ✓ Para fins de cálculo vamos considerar 1 cal = 4,2 J

II. MATERIAL NECESÁRIO

1. Calorímetro para calor de vaporização.
2. Calorímetro para calor de fusão
3. Termômetros
4. Aquecedor
5. Balança
6. Relógio
7. Água e gelo

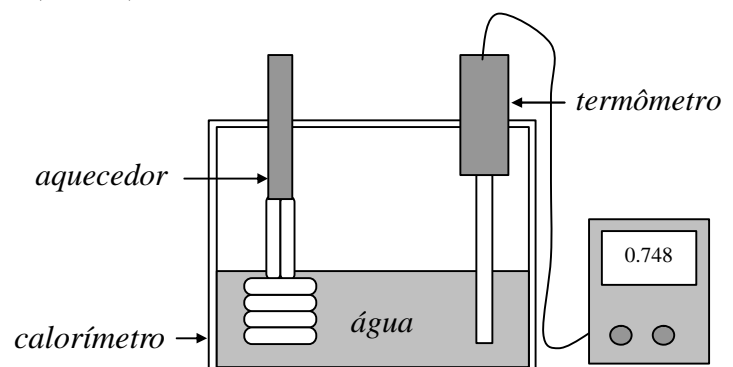
III. PROCEDIMENTOS

1 - CALOR DE VAPORIZAÇÃO

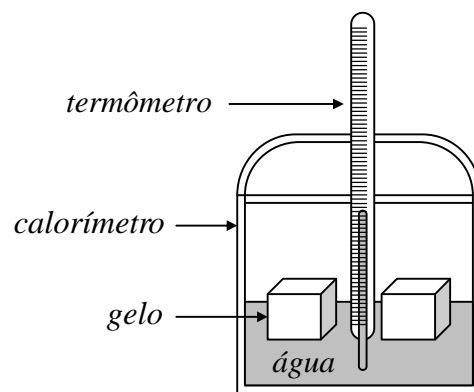
- ✓ Pesamos uma massa inicial m de água e colocamos dentro de um calorímetro.
- ✓ Pesamos o conjunto (calorímetro + água).
- ✓ Medimos a temperatura inicial da água.
- ✓ Ligamos o aquecedor de potência conhecida (597 W)
- ✓ Anotamos a temperatura da água em intervalos de 1 min.
- ✓ Quando a temperatura da água atingiu aproximadamente 100 °C (100,8 °C), observamos que a temperatura se estabilizou, deixamos a água ferver por mais 7 min.
- ✓ Retiramos o termômetro e o aquecedor do calorímetro e tornamos a pesar o conjunto.

2 - CALOR DE FUSÃO

- ✓ Pesamos um calorímetro pequeno (isopor).



- ✓ Acrescentamos uma massa inicial de água $m_0 = 0$
- ✓ Pesamos o conjunto (calorímetro + água).
- ✓ Medimos a temperatura inicial da água no interior do calorímetro e registramos os dados numa tabela.
- ✓ Medimos a temperatura do gelo no interior de um recipiente (0°C).
- ✓ Retiramos duas pedras de gelo de dentro do recipiente e a colocamos dentro do calorímetro.
- ✓ Anotamos a temperatura da água no interior do calorímetro em intervalos de 1 min, até que ela se estabilizou.
- ✓ Retiramos o termômetro do calorímetro e tornamos a pesar o conjunto.



IV. TRATAMENTO DOS DADOS

1 - CALOR DE VAPORIZAÇÃO

$m_{\text{caixa}} = 1015 \text{ g}$,
Potência = 597 W

$m_{\text{água}} = 1983,6 \text{ g}$,
 $t_{\text{inicial}} = 0$

$m_{\text{conjunto inicial}} = 2999,4 \text{ g}$,
 $t_{\text{início da ebulição}} = 1380 \text{ s}$

$m_{\text{conjunto final}} = 2802,2 \text{ g}$
 $m_{\text{transformada}} = 197,2 \text{ g}$

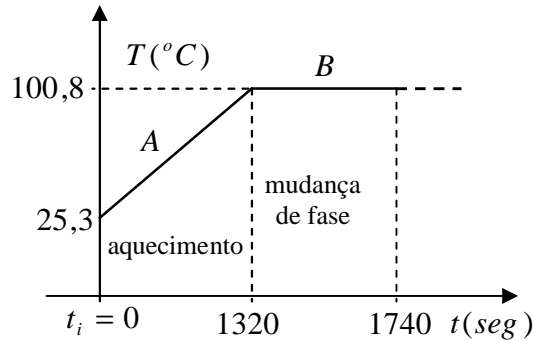
| t(s) | T (°C) |
|------|--------|
| 0 | 25,3 |
| 60 | 25,7 |
| 120 | 28,8 |
| 180 | 32,3 |
| 240 | 35,9 |
| 300 | 39,9 |
| 360 | 43,8 |
| 420 | 47,8 |
| 480 | 52,0 |
| 540 | 55,8 |
| 600 | 59,8 |
| 660 | 64,0 |
| 720 | 68,8 |
| 780 | 71,7 |
| 840 | 75,0 |

| t (s) | T (°C) |
|-------|--------|
| 900 | 78,4 |
| 960 | 82,1 |
| 1020 | 86,0 |
| 180 | 90,5 |
| 1140 | 93,8 |
| 1200 | 96,4 |
| 1260 | 99,1 |
| 1320 | 100,4 |
| 1380 | 100,7 |
| 1440 | 100,8 |
| 1500 | 100,8 |
| 1560 | 100,8 |
| 1620 | 100,8 |
| 1680 | 100,8 |
| 1740 | 100,8 |

Cálculo do calor latente de vaporização

Com base nos dados acima podemos construir em papel milimetrado o gráfico da temperatura em função do tempo (em anexo).

Observamos que essa função se comporta conforme o esboço a seguir.



No trecho A

Vamos determinar o rendimento do aquecedor.

$$Q_A = Pot \cdot \Delta t_A$$

$$Q_A = 597 \times 1320 = 788.040 \text{ J} = 187.628,57 \text{ cal}$$

$$\text{Mas } Q_A = m \cdot c \cdot \Delta T = 1.983,6 \times 1,0 \times 75,5 = 149.761,8$$

Logo parte da energia fornecida (37.866,77 cal) pelo aquecedor foi absorvida pelo calorímetro .

$$Q_{Al} = m_{Al} \cdot c_{Al} \cdot \Delta T = 1.015,8 \cdot 0,2143 \cdot 75,5 = 16.435,29 \text{ cal e parte foi dissipada}$$

$$Q_{dissipada} = 187.628,57 - 149.761,8 - 16.435,29 = 21.431,48 \text{ cal}$$

Logo o rendimento do aquecedor é:

$$h_{\%} = \frac{166.197,09}{187.628,57} \times 100 = 88,58 \%$$

No trecho B

i) Vamos determinar o calor latente de vaporização “ L_V ” usando apenas o tempo em que a água ficou em ebulição através da relação:

$$L_V = \frac{Q}{m}$$

Onde $m = 97,2 \text{ g}$ (massa de água vaporizada)

Q é a energia útil fornecida pelo aquecedor e é dada por $Q = P \times \Delta t \times \eta$

$$Q = Pot \times \Delta t_B \times h = 597 \times 420 \times 0,8858 = 222.105,49 \text{ J} = 52.882,26 \text{ cal}$$

$$L_V = \frac{52.882,26}{97,2} = 544,06 \text{ cal / g}$$

ii) Vamos, agora, determinar o calor latente de vaporização usando o tempo total do aquecimento através da relação:

$$Q = Pot \cdot t \cdot h = L_V \cdot \Delta m + [(m_{\text{água}} \cdot c_{\text{água}} + m_{\text{caixa}} \cdot c_{Al}) \cdot (100 - T_{\text{inicial}})]$$

$$597 \cdot 1740 \cdot 0,8858 = L_V \cdot 97,2 + [(1.983,6 \cdot 1,00 + 1.015,8 \cdot 0,2143) \cdot (100 - 25,3)]$$

$$L_V = 562,22 \text{ cal/g}$$

Encontramos valores bem próximos do esperado $L_V = 540 \text{ cal/g}$.

2 – CALOR DE FUSÃO

$$m_{\text{calorímetro}} = 16 \text{ g}, \\ m_{\text{gelo}} = 30,5 \text{ g}$$

$$m_{\text{calorímetro} + \text{água}} = 96,0 \text{ g}, \\ T_{\text{inic. água}} = 23 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$m_{\text{água}} = 80,0 \text{ g}, \\ T_{\text{f. água} + \text{gelo}} = 7^{\circ}\text{C}$$

$$m_{\text{calorímetro} + \text{água} + \text{gelo}} = 126,5 \text{ g}$$

| t(s) | T (°C) |
|------|--------|
| 0 | 23 |
| 60 | 25 |
| 120 | 12 |
| 180 | 10 |
| 240 | 8 |

| t (s) | T (°C) |
|-------|--------|
| 300 | 7 |
| 360 | 7 |
| 420 | 7 |
| 480 | 7 |
| 540 | 7 |

Cálculo do calor latente de fusão do gelo “ L_F ”

Vamos obter a massa da pedra de gelo fazendo:

$$m_{\text{gelo}} = m_{\text{calorímetro} + \text{água} + \text{gelo}} - m_{\text{calorímetro} + \text{água}} = 126,5 - 96,0 = 30,5 \text{ g}$$

Durante o processo de troca de calor a temperatura da água varia até que o equilíbrio térmico se estabeleça.

$$Q_{\text{gelo}} + Q_{\text{água}} = 0 \text{ onde } Q_{\text{gelo}} = m_{\text{gelo}} \times L_F + m_{\text{gelo}} \times c_{\text{gelo}} \times (0 - T_{i,\text{gelo}}) \text{ e } Q_{\text{água}} = m \times c_{\text{água}} \times (T_f - T_i)$$

$$m_{\text{gelo}} \times L_F + m_{\text{gelo}} \times c_{\text{gelo}} \times (0 - T_{i,\text{gelo}}) + m_{\text{água}} \times c_{\text{água}} \times (T_f - T_i) = 0$$

$$30,5 \times L_F + 30,5 \times 0,5 \times (0 - 0) + 80 \times 1 \times (-16) = 0$$

$$30,5 \times L_F + 0 - 1280 = 0$$

$$30,5 \times L_F + 0 - 1280 = 0$$

$$L_F = 41,97 \text{ cal/g}$$

Encontramos um valor incompatível com o esperado $L_F = 80 \text{ cal/g}$.

Atribuímos parte deste erro à temperatura inicial do gelo que consideramos igual a zero.

FOLHA DE QUESTIONÁRIO

1. Compare os valores obtidos para o calor de vaporização. Qual deles é mais preciso?

Resposta: Os valores obtidos foram: 544,06 cal/g e 562,22 cal/g (vide página 3), 544,06 cal/g e o valor mais próximo do esperado.

2. A temperatura da água realmente estabilizou em 100°C? Para onde está indo o calor fornecido pelo aquecedor?

Resposta: Em nosso experimento a temperatura da água estabilizou-se em 10,8 °C, que é um valor bem próximo do esperado 100°C.

Parte do calor foi usado inicialmente no aquecimento do sistema (água + calorímetro) e depois na vaporização da água, outra parte foi perdida para o meio exterior. (maiores esclarecimentos no pag. 3)

3. Por que no cálculo de L feito usando apenas o tempo em que a água ficou em ebulição não é necessário se considerar a capacidade calorífica da caixa de alumínio?

Resposta: Porque, estando o calorímetro em equilíbrio térmico com a água cuja temperatura não varia durante a mudança de fase, então a temperatura do calorímetro também não se altera, logo ele não absorve calor.

4. “Após a água atingir 100°C a taxa de evaporação (a quantidade de água que evapora por unidade de tempo) vai aumentando à medida que a quantidade de água vai diminuindo”. Você concorda com esta afirmação? Por que?

Resposta: Sim, porque, o fluxo de energia fornecido pelo aquecedor continua o mesmo para vaporizar uma quantidade de água menor, ou seja: a energia fornecida é igual à energia de vaporização,

$P \cdot \Delta t = m \cdot L \Rightarrow$ se a massa **m** diminui então **Dt** diminui também visto que **P** e **L** são constantes.

5. Se você usasse o dobro da quantidade de água, mas quisesse que a quantidade de água vaporizada fosse exatamente a mesma, você deveria esperar que: a) o tempo total t_t que o aquecedor fica ligado aumentasse; b) o tempo de evaporação t_e aumentasse. No seu entender essas afirmações são verdadeiras? Por que?

Resposta: Sim, pois uma maior massa implica numa maior quantidade de calor ($Q = P \cdot \Delta t$) tanto para aquecê-la ($Q = m \cdot c \cdot \Delta t$), quanto para vaporizá-la ($Q = m \cdot L$), pois a potência do aquecedor é constante.

6. Por que na experiência para a medição do calor de fusão do gelo é importante que toda a massa do gelo no calorímetro seja fundida?

Resposta: Conhecendo-se, previamente, a **massa** de gelo que foi aquecida, depois fundida e a quantidade de calor liberada pela água, podemos determinar o calor latente de fusão. (vide procedimento à página 4).

7. Se fosse usado o dobro da quantidade de água e o dobro da quantidade de gelo você esperaria que a temperatura final T_f fosse também dobrada?

Resposta: Não, a temperatura final seria a mesma.

$$m_{\text{água}} \cdot c_{\text{água}} \cdot \Delta T_{\text{água}} = m_{\text{gelo}} \cdot L_f + m_{\text{gelo}} \cdot \Delta T_{\text{gelo}}$$

$$m_{\text{água}} \cdot c_{\text{água}} \cdot \Delta T_{\text{água}} = m_{\text{gelo}} \cdot (L_f + \Delta T_{\text{gelo}})$$

$$\cancel{2} \cdot m_{\text{água}} \cdot c_{\text{água}} \cdot \Delta T_{\text{água}} = \cancel{2} \cdot m_{\text{gelo}} \cdot (L_f + \Delta T_{\text{gelo}})$$