

Essas aulas abordam dois conceitos importantes no estudo da Física Térmica: temperatura e equilíbrio térmico.

Partir da concepção prévia dos alunos com relação à noção de temperatura – sensação tátil de quente e frio, deixando clara a subjetividade e a limitação dessas sensações, justificando a necessidade de termômetros para encontrar medidas objetivas. Foi a observação da existência de propriedades termométricas dos materiais que permitiu a construção dos primeiros termômetros de coluna líquida com mercúrio e álcool. A escolha adequada dos pontos fixos possibilitou a criação das escalas termométricas graduadas que facilitam a leitura direta de altura da coluna líquida e a identificação da temperatura correspondente.

Apresentar a evolução do conceito de temperatura, associando-a à agitação das partículas microscópicas que compõem a matéria, levou à ideia de escala absoluta de temperatura – escala Kelvin. Conceituar calor como energia que se transfere espontaneamente do corpo mais quente (maior temperatura) para o corpo mais frio (menor temperatura).

Apresentar o conceito de equilíbrio térmico – quando dois ou mais corpos apresentam a mesma temperatura. Se possível, indicar a leitura da breve biografia do Conde Rumford, presente no box “Quer saber mais?”, que discute a observação desse físico que relacionou pela primeira vez calor e movimento, iniciando o debate de calor como uma forma de energia.

Embora as escalas possam apresentar graduações diferentes entre si, termômetros construídos de forma semelhante são equivalentes, e suas temperaturas podem ser convertidas entre si. Desenvolver com os alunos a conversão entre as três escalas atualmente utilizadas no mundo: Fahrenheit, Celsius e Kelvin. Isso irá prepará-los para resolver exercícios semelhantes com qualquer escala arbitrária. Destacar também a diferença entre conversão pontual entre temperaturas e comparação entre variações de temperatura. Os exercícios propostos em aula perpassam toda a construção conceitual dessas duas aulas iniciais.

### RESOLUÇÕES

#### Exercícios de sala

#### 1. A

Convertendo de Celsius para Kelvin:

$$\frac{T_C}{5} = \frac{T_K - 273}{5}$$

$$T_K = T_C + 273 = -65 + 273$$

$$T_K = 208$$

Convertendo de Fahrenheit para Kelvin:

$$\frac{T_F - 32}{9} = \frac{T_K - 273}{5}$$

$$T_K = 5 \cdot \frac{T_F - 32}{9} + 273 = 5 \cdot \frac{122 - 32}{9} + 273$$

$$T_K = 323$$

O módulo da diferença entre as duas temperaturas será:

$$|208 - 323| = |-115| = 115$$

#### 2. Da conversão entre escalas, temos:

$$\frac{T_C}{5} = \frac{T_F - 32}{9} \quad (I)$$

Na situação do problema, a temperatura em Fahrenheit excede em 2 unidades o triplo do valor em Celsius, ou seja:

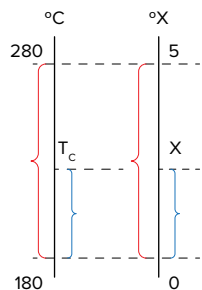
$$T_F - 3 \cdot T_C = 2 \Rightarrow T_F = 3 \cdot T_C + 2 \quad (II)$$

Substituindo (II) em (I):

$$\frac{T_C}{5} = \frac{(3T_C + 2) - 32}{9} \Rightarrow 9T_C = 5 \cdot 3T_C + 5 \cdot (2 - 32)$$

$$9T_C = 15T_C - 150 \Rightarrow 6T_C = 150 \Rightarrow T_C = 25^\circ\text{C}$$

3. O diagrama a seguir relaciona as duas temperaturas.



A equação de conversão é dada por:

$$\frac{T_c - 180}{280 - 180} = \frac{X - 0}{5 - 0}$$

$$T_c - 180 = \frac{100X}{5}$$

$$T_c = 180 + 20X$$

4. A relação entre a variação em Celsius e Fahrenheit é dada por:

$$\frac{\Delta T_c}{5} = \frac{\Delta T_F}{9}$$

Substituindo a amplitude de 300 °C, temos:

$$\frac{300}{5} = \frac{\Delta T_F}{9}$$

$$\Delta T_F = 540 \text{ °F}$$

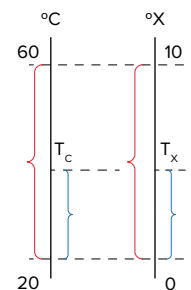
5. Substituindo os valores do enunciado na expressão da relação entre a variação de temperatura na escala Celsius e Fahrenheit, temos:

$$\frac{\Delta T_c}{5} = \frac{\Delta T_F}{9} \Rightarrow \frac{\Delta T_c}{5} = \frac{3}{9} \Rightarrow \Delta T_c = \frac{5}{3} \text{ °C}$$

Agora que sabemos a variação em °C, podemos obter a variação da resistência:

$$\left. \begin{array}{l} 5 \text{ °C} \text{ — } 1,8 \text{ } \Omega \\ \frac{5}{3} \text{ °C} \text{ — } \Delta R \end{array} \right\} \Rightarrow \Delta R = \frac{1,8 \cdot \frac{5}{3}}{5} \Rightarrow \Delta R = 0,6 \text{ } \Omega$$

6. Tomando como referência os pontos (0; 20) e (10; 60), obtemos o seguinte diagrama:



Sendo assim, a equação de conversão é obtida da seguinte maneira:

$$\frac{T_c - 20}{60 - 20} = \frac{T_x - 0}{10 - 0} \Rightarrow \frac{T_c - 20}{40} = \frac{T_x}{10}$$

$$T_c = 4T_x + 20$$

Organizar as aulas em dois conjuntos: aulas 3 e 4 para a dilatação de sólidos, e aulas 5 e 6 para dilatação de líquidos.

O primeiro conjunto de aulas (aulas 3 e 4) aborda o conceito de variação das dimensões de corpos em função da variação de sua temperatura. Apresentar o comportamento mais comum observado para os materiais:

- aumento de dimensões com o aumento de temperatura → dilatação térmica;
- redução de dimensões com a redução da temperatura → contração térmica.

Conceituar a dilatação térmica como efeito macroscópico, portanto observável, do aumento da agitação térmica das partículas do corpo em nível microscópico. Tal agitação aumenta o espaço médio ocupado pelas partículas que, no conjunto, refletem em aumento das dimensões do corpo. A contração é seu efeito oposto.

Registrar que existem materiais que apresentam comportamento diverso desse, por exemplo, encolhendo ao serem aquecidos, como diversos tipos de plástico e polímero.

No mundo natural, a variação das dimensões sempre envolve as três dimensões (comprimento, largura e altura), de forma que toda dilatação térmica implica alteração do volume do corpo. Porém, em determinadas circunstâncias, duas ou uma das dimensões podem apresentar variação desprezível se comparada à variação das demais. Nesses casos, podemos trabalhar com aproximações, desprezando uma ou duas dimensões. Assim, classificamos as dilatações em três categorias:

- dilatação linear: quando a dilatação de duas dimensões puder ser ignorada, frente à terceira, cuja dilatação é apreciável;
- dilatação superficial: quando a dilatação de uma dimensão puder ser ignorada, frente à dilatação das outras duas;
- dilatação volumétrica: quando a dilatação de todas as dimensões do corpo são consideradas.

Conceituar a dilatação térmica linear, por meio de desenhos ou representações simples. Mostrar que a dilatação pode ser associada à variação no comprimento do corpo e que essa dilatação ocorre para ambos os lados.

Apresentar a equação de dilatação linear, ressaltando que se trata de uma equação empírica, ou seja, construída a partir de observações experimentais. Comentar o papel da dimensão inicial no resultado da dilatação, bem como o tipo de material (identificado pelo coeficiente de dilatação térmica). Explicitar as unidades usuais.

Apresentar aplicações tecnológicas da dilatação térmica linear, como as lâminas bimetálicas e seus usos em diversos dispositivos como relés, disjuntores e sistemas de prevenção a incêndios (*sprinklers*).

Conceituar a dilatação térmica superficial, por meio de desenhos ou esquemas, ressaltando que a variação na área ocorre nas duas direções do plano do corpo.

Apresentar a equação de dilatação térmica correspondente, ressaltando que se trata também de uma equação empírica. Comentar a influência das dimensões iniciais e do material na dilatação (identificado pelo coeficiente de dilatação). Apresentar as unidades comuns.

Conceituar a dilatação volumétrica, por meio de desenhos ou esquemas, mostrando a variação do volume do corpo. Apresentar a equação empírica de dilatação volumétrica, fazendo os comentários pertinentes. Apresentar as unidades de medida correspondentes.

Comentar a relação entre os coeficientes de dilatação linear, superficial e volumétrico. No livro 1, capítulo 2, há uma demonstração cuidadosa dessa relação. Indicar como aprofundamento aos alunos que apresentam maior interesse por esse tipo de demonstração.

Pode-se também iniciar pedindo aos alunos exemplos de situações práticas nas quais ocorrem as dilatações térmicas para, a partir daí, começar a apresentação conceitual.

Explicar dilatação envolvendo espaços vazios, como vãos entre peças ou buracos em placas e corpos. No caso de vão entre peças, a dilatação das peças reduz o vão, como se ele estivesse em contração. Já um furo em uma placa dilata-se junto com a placa, como se fosse feito do mesmo material que ela. Um erro muito comum é acreditar que o furo se fecha com a dilatação da placa, comentar e explicar como ocorre a dilatação da peça e do furo.

Associar a variação de densidade à dilatação e à contração, mostrando que, com a variação da distribuição de massa, a densidade também se altera com a variação da temperatura.

Foram separadas duas aulas (aulas 5 e 6) para a apresentação do conceito de dilatação térmica de líquidos, mas é possível reorganizar a distribuição do assunto de acordo com a profundidade que quiser atingir, dando mais ênfase à dilatação de sólidos, por exemplo.

Explicitar que a dilatação térmica de líquidos envolve necessariamente a dilatação conjunta do recipiente que o contém. Outro aspecto importante é que a dilatação de líquidos é obrigatoriamente volumétrica.

Mostrar por meio de esquemas como a dilatação de um líquido pode ser observada de forma inadequada se não levarmos em conta a dilatação do recipiente (no livro 1, capítulo 2, há um esquema que pode ajudar nessa identificação). Com base nisso, conceituar o coeficiente de dilatação aparente e mostrar sua relação com o coeficiente de dilatação real do líquido e do recipiente.

Comentar o caso importante da dilatação da água, que muda de comportamento em torno de 4 °C. Mostrar o gráfico da densidade da água em torno dessa temperatura e a explicação microscópica para tal fenômeno, associada às ligações de hidrogênio. Um caso muito curioso e que chama a atenção dos alunos é o congelamento dos lagos no inverno em determinadas regiões do planeta, preservando a vida aquática.

1. a) O aumento percentual é a relação entre a variação e o comprimento original multiplicado por 100:

$$p = \frac{\Delta L}{L_0} \cdot 100$$

Da equação de dilatação linear, temos:

$$\Delta L = L_0 \cdot \alpha \cdot \Delta T \Rightarrow \frac{\Delta L}{L_0} = \alpha \cdot \Delta T$$

Substituindo os valores do enunciado, temos:

$$\frac{\Delta L}{L_0} = 2 \cdot 10^{-5} \cdot (40 - 5) \Rightarrow \frac{\Delta L}{L_0} = 5 \cdot 10^{-4}$$

Portanto, o aumento percentual é:

$$p = 5 \cdot 10^{-4} \cdot 100 \Rightarrow p = 0,05\%$$

- b) Substituindo na equação da dilatação linear:

$$L = L_0 \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta T)$$

$$L = 50 \cdot [1 + 2 \cdot 10^{-5} \cdot (40 - 15)]$$

$$L = 50 \cdot 1,0005 \Rightarrow L = 50,025 \text{ cm}$$

O mesmo resultado poderia ser obtido considerando o aumento percentual:

$$L = L_0 \cdot \left(1 + \frac{p}{100}\right) \Rightarrow L = 50 \cdot \left(1 + \frac{0,05}{100}\right)$$

$$L = 50 \cdot 1,0005 \Rightarrow L \Rightarrow 50,025 \text{ cm}$$

2. C

Da equação da dilatação linear, temos:

$$L = L_0 \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta \theta)$$

Substituindo a equação anterior para A e B, temos:

$$L_A = L_0 \cdot (1 + \alpha_A \cdot \Delta \theta)$$

$$L_B = 2L_0 \cdot (1 + \alpha_B \cdot \Delta \theta) \quad (I)$$

Considerando que  $\alpha_A = 2\alpha_B$ , temos:

$$L_B = L_0 \cdot (1 + 2\alpha_B \cdot \Delta \theta) \quad (II)$$

Subtraindo (I) de (II):

$$L_B - L_A = 2L_0 \cdot (1 + \alpha_B \cdot \Delta \theta) - L_0 \cdot (1 + 2\alpha_B \cdot \Delta \theta)$$

$$L_B - L_A = 2L_0 + 2L_0 \cdot \alpha_B \cdot \Delta \theta - L_0 - 2L_0 \cdot \alpha_B \cdot \Delta \theta$$

$$L_B - L_A = L_0$$

3. C

Como as paredes não se movem, os parafusos irão se tocar quando a dilatação total (latão + aço) for igual ao comprimento do vão ( $5 \mu\text{m}$ ). Sendo assim:

$$\Delta L_{\text{aço}} + \Delta L_{\text{latão}} = 5 \cdot 10^{-6} \text{ m}$$

Mas  $\Delta L = L_0 \cdot \alpha \cdot \Delta T$ , portanto, substituindo essa expressão na equação acima e aplicando os valores do enunciado, temos:

$$0,01 \cdot 11 \cdot 10^{-6} \cdot \Delta T + 0,03 \cdot 19 \cdot 10^{-6} \cdot \Delta T = 5 \cdot 10^{-6}$$

$$0,11 \cdot \Delta T + 0,57 \cdot \Delta T = 5 \Rightarrow 0,68 \cdot \Delta T = 5$$

$$\Delta T \cong 7,4 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Como a temperatura inicial é  $27 \text{ } ^\circ\text{C}$ , a temperatura final é:

$$\Delta T = T_F - T_0 \Rightarrow T_F = T_0 + \Delta T$$

$$T_F = 27 \text{ } ^\circ\text{C} + 7,4 \text{ } ^\circ\text{C} \Rightarrow T_F = 34,4 \text{ } ^\circ\text{C}$$

**4. D**

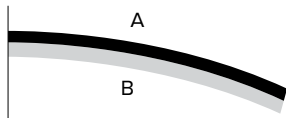
Tomemos o ponto  $(\Delta T, \Delta L) = (60, 1,2)$  e façamos substituição na equação da dilatação linear:

$$\Delta L = \ell_0 \cdot \alpha \cdot \Delta T \Rightarrow 1,2 \cdot 10^{-3} = 1 \cdot \alpha \cdot 60$$

$$\alpha = 0,02 \cdot 10^{-3} \Rightarrow \alpha = 20 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

**5. D**

Como o coeficiente de dilatação linear de A é maior que o de B, o aumento na temperatura do conjunto fará com que A fique maior que B. Para garantir que eles ainda estejam ligados, uma curvatura será formada, sendo que B estará no lado interno (menor arco) e A estará no lado externo (maior arco). Desta forma, as duas lâminas se curvarão para baixo, como na figura a seguir:

**6. D**

O enunciado nos oferece o coeficiente de dilatação linear ( $\alpha$ ), todavia o problema trata de dilatação superficial. Sendo assim, é necessário obter o coeficiente de dilatação superficial ( $\beta$ ) pela seguinte relação:

$$\beta = 2 \cdot \alpha \Rightarrow \beta = 2 \cdot 1,2 \cdot 10^{-5} \Rightarrow \beta = 2,4 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

Substituindo os valores na equação de dilatação superficial, temos:

$$\Delta S = S_0 \cdot \beta \cdot \Delta T \Rightarrow \Delta S = 5 \cdot 2,4 \cdot 10^{-5} \cdot [50 - (-10)]$$

$$\Delta S = 12 \cdot 10^{-5} \cdot 60 \Rightarrow \Delta S = 7,2 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

**7. C**

Quando trabalhamos um objeto com furo que tem sua temperatura alterada, deve-se imaginar o que aconteceria com o objeto de mesmo material que ocuparia exatamente o lugar do furo.

Nesse caso, o aumento da temperatura faria o furo circular dilatar, e seu novo comprimento seria dado por:

$$D = D_0 \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta T) \Rightarrow D = 5 \cdot [1 + 22 \cdot 10^{-6} \cdot (125 - 25)]$$

$$D = 5 \cdot (1 + 22 \cdot 10^{-6} \cdot 100) \Rightarrow D = 5 \cdot 1,0022$$

$$D = 5,011 \text{ cm}$$

**8.** A superfície do paralelepípedo é a soma das áreas de todas as superfícies:

$$S = 2 \cdot (3 \cdot 4 + 4 \cdot 5 + 3 \cdot 5)$$

$$S = 94 \text{ cm}^2 = 94 \cdot 10^2 \text{ mm}^2$$

Realizando a conversão da variação da temperatura para  $^\circ\text{C}$ :

$$\frac{\Delta T_C}{5} = \frac{\Delta T_F}{9} \Rightarrow \frac{\Delta T_C}{5} = \frac{36 - 72}{9} \Rightarrow \Delta T_C = -20 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Substituindo os valores na equação da dilatação superficial, temos:

$$\Delta S = S_0 \cdot \beta \cdot \Delta T \Rightarrow \Delta S = 94 \cdot 10^2 \cdot 4 \cdot 10^{-5} \cdot (-20)$$

$$\Delta S = -7,52 \text{ mm}^2$$

Portanto, a superfície do objeto diminuirá  $7,52 \text{ mm}^2$ .

**9. B**

A variação da área é obtida por:

$$\Delta S = S_0 \cdot \beta \cdot \Delta \theta = S_0 \cdot 2\alpha \cdot \Delta \theta$$

O percentual de variação da área pode ser obtido por:

$$\frac{\Delta S}{S} \cdot 100 = \frac{S_0 \cdot 2\alpha \cdot \Delta \theta}{S_0} \cdot 100 = 2\alpha \cdot \Delta \theta \cdot 100$$

Substituindo pelos valores do enunciado:

$$2 \cdot 1,5 \cdot 10^{-5} \cdot (60 - 20) \cdot 100 = 0,12$$

$$\frac{\Delta S}{S_0} = 0,12\%$$

**10.** Devemos considerar que, com o aquecimento, a massa da amostra de alumínio não se altera, ou seja,  $m_{(0^\circ\text{C})} = m_{(200^\circ\text{C})}$ . Lembrando que a massa específica é definida por  $\mu = \frac{m}{V}$ , podemos escrever a relação:

$$\mu_{(200^\circ\text{C})} \cdot V_{(200^\circ\text{C})} = \mu_{(0^\circ\text{C})} \cdot V_{(0^\circ\text{C})} \quad (\text{I})$$

A dilatação volumétrica da amostra de alumínio pode ser equacionada da seguinte maneira:

$$V_{(200^\circ\text{C})} = V_{(0^\circ\text{C})} \cdot (1 + \gamma_{Al} \cdot \Delta T) \quad (\text{II})$$

Substituindo (II) em (I), temos:

$$\mu_{200^\circ\text{C}} \cdot V_{0^\circ\text{C}} \cdot (1 + \gamma_{Al} \cdot \Delta T) = \mu_{0^\circ\text{C}} \cdot V_{0^\circ\text{C}}$$

$$\mu_{200^\circ\text{C}} = \frac{\mu_{0^\circ\text{C}}}{1 + \gamma_{Al} \cdot \Delta T}$$

$$\mu_{200^\circ\text{C}} = \frac{2,7}{1 + 25 \cdot 10^{-6} \cdot (200 - 0)}$$

$$\mu_{200^\circ\text{C}} \cong 2,68 \text{ g/cm}^3$$

**11. A**

Como o recipiente é cilíndrico, o volume ocupado pode ser dado por  $V = S \cdot h$ , sendo  $S$  a seção transversal, e  $h$ , a altura.

Da equação da dilatação volumétrica, temos:

$$\Delta V = V_0 \cdot \gamma \cdot \Delta T \Rightarrow S \cdot \Delta h = S \cdot h_0 \cdot \gamma \cdot \Delta T$$

Substituindo os valores da figura 2:

$$S \cdot (52,1 - 50,0) = S \cdot 50 \cdot \gamma \cdot (70 - 35)$$

$$2,1 = g \cdot 1750 \Rightarrow \gamma = 1,2 \cdot 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

**12.** O volume que transbordou diz respeito à dilatação aparente. Sendo assim:

$$\Delta V_{ap} = V_0 \cdot \gamma_{ap} \cdot \Delta T \Rightarrow 4,8 = 500 \cdot \gamma_{ap} \cdot (70 - 10)$$

$$4,8 = \gamma_{ap} \cdot 30000 \Rightarrow \gamma_{ap} = 1,6 \cdot 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

Mas  $\gamma_{ap} = \gamma_{Hg} - \gamma_{vidro}$ , então:

$$1,6 \cdot 10^{-4} = 1,8 \cdot 10^{-4} - \gamma_{vidro}$$

$$\gamma_{vidro} = 1,8 \cdot 10^{-4} - 1,6 \cdot 10^{-4}$$

$$\gamma_{vidro} = 2,0 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

Organizar as aulas em dois conjuntos: aulas 7 e 8 para os conceitos iniciais de Calorimetria, e aulas 9 e 10 para trocas de calor em sistemas termicamente isolados.

Reapresentar o conceito de calor como a energia que se transfere espontaneamente do corpo mais quente (maior temperatura) para o mais frio (menor temperatura).

Pontuar que o efeito do calor que será estudado no capítulo é a variação de temperatura:

- corpo recebe calor e se aquece: sua temperatura aumenta;
- corpo perde calor e se resfria: sua temperatura diminui.

Lembrar aos alunos que eles já estudaram anteriormente o efeito da dilatação e contração térmica. Convém associá-las ao calor também.

Conceituar capacidade térmica como uma grandeza medida experimentalmente que caracteriza o corpo quanto ao calor trocado por ele com o ambiente e a variação de temperatura apresentada.

Conceituar calor específico como a capacidade térmica por unidade de massa, caracterizando os diferentes materiais ou substâncias. Reforçar essa diferença:

- capacidade térmica: característica de um corpo;
- calor específico: característica de uma substância.

Representar graficamente o aquecimento ou resfriamento dos corpos (curvas de aquecimento), envolvendo calor e variação de temperatura.

Conceituar equivalente em água como a massa de água cuja capacidade térmica é igual à do corpo comparado.

Apresentar a equação fundamental da calorimetria e a convenção de sinais:

- calor perdido ( $Q < 0$ ): associado ao resfriamento;
- calor recebido ( $Q > 0$ ): associado ao aquecimento.

Definir potência térmica como a taxa de troca de calor pelo corpo em função do tempo.

Apresentar gráficos de calor em função do tempo e comentar como obter informações a partir deles.

Foram planejadas duas aulas para a apresentação do calorímetro e tratamento de problemas em sistemas termicamente isolados. É possível se estender um pouco mais no assunto ou resolver eventuais atrasos de programação acumulados anteriormente, ou, ainda, propor exercícios adicionais de acordo com o ritmo da turma.

Definir calorímetro como um dispositivo que simula uma situação ideal: o sistema termicamente isolado.

Mostrar que, em um calorímetro ideal, as trocas de calor entre corpos inicialmente a diferentes temperaturas são apenas internas e que o sistema inexoravelmente caminha para o equilíbrio térmico após determinado tempo.

Mostrar como equacionar problemas de sistemas termicamente isolados e que isso decorre do princípio da conservação da energia.

Comentar que, quando o calorímetro não é ideal, ele se comporta como mais um corpo envolvido nas trocas de calor.

## RESOLUÇÕES

### Exercícios de sala

#### 1. A

Da equação fundamental da calorimetria, temos:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T$$

$$Q = 2,0 \cdot 10^{-10} \cdot 3000 \cdot (46 - 36)$$

$$Q = 6 \cdot 10^{-6} \text{ J}$$

#### 2. A

Isolando o calor específico da equação fundamental da calorimetria, temos:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta\theta \Rightarrow c = \frac{Q}{m \cdot \Delta\theta}$$

Substituindo esses valores para os 4 objetos:

$$c_I = \frac{100}{20 \cdot 10} \Rightarrow c_I = 0,50 \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$$

$$c_{II} = \frac{120}{30 \cdot 20} \Rightarrow c_{II} = 0,20 \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$$

$$c_{III} = \frac{150}{60 \cdot 10} \Rightarrow c_{III} = 0,25 \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$$

$$c_{IV} = \frac{180}{40 \cdot 15} \Rightarrow c_{IV} = 0,30 \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$$

**3. C**

Para resolver essa questão, é necessário considerar que o sistema é termicamente isolado. Nesse caso:

$$Q_{\text{leite}} + Q_{\text{café}} = m_{\text{leite}} \cdot c \cdot \Delta T_{\text{leite}} + m_{\text{café}} \cdot c \cdot \Delta T_{\text{café}} = 0$$

$$m_{\text{leite}} = \frac{-(m_{\text{café}} \cdot c \cdot \Delta T_{\text{café}})}{c \Delta T_{\text{leite}}} = \frac{-(m_{\text{café}} \cdot \Delta T_{\text{café}})}{\Delta T_{\text{leite}}}$$

$$m_{\text{leite}} = \frac{-60 \cdot (65 - 80)}{(65 - 5)}$$

$$m_{\text{leite}} = 15 \text{ mL}$$

**4.** A capacitância térmica da peça será a soma das capacitâncias do alumínio e do cobre. Sendo assim:

$$C_{\text{peça}} = C_{\text{Cu}} + C_{\text{Al}} = m_{\text{Cu}} \cdot c_{\text{Cu}} + m_{\text{Al}} \cdot c_{\text{Al}}$$

$$36 = m_{\text{Cu}} \cdot 0,09 + m_{\text{Al}} \cdot 0,21 \quad (\text{I})$$

A massa da peça será a soma das massas utilizadas:

$$200 = m_{\text{Cu}} + m_{\text{Al}}$$

$$m_{\text{Cu}} = 200 - m_{\text{Al}} \quad (\text{II})$$

Substituindo (II) em (I), temos:

$$36 = (200 - m_{\text{Al}}) \cdot 0,09 + m_{\text{Al}} \cdot 0,21$$

$$36 = 18 - 0,09 \cdot m_{\text{Al}} + 0,21 \cdot m_{\text{Al}}$$

$$18 = 0,12 \cdot m_{\text{Al}} \Rightarrow m_{\text{Al}} = 150 \text{ g}$$

Substituindo esse valor em (II), obtemos:

$$m_{\text{Cu}} = 50 \text{ g}$$

**5. E**

A expressão que relaciona a potência térmica com o calor é a seguinte:

$$P_T = \frac{|Q|}{\Delta t} \Rightarrow |Q| = P_T \cdot \Delta t$$

Relacionando-a com a equação do calor sensível:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T = P_T \cdot \Delta t$$

$$\Delta t = \frac{m \cdot c \cdot \Delta T}{P_T} = \frac{200 \cdot (0,03 \cdot 4) \cdot (80 - 20)}{2}$$

$$\Delta t = 720 \text{ s} \Rightarrow \Delta t = 12 \text{ min}$$

**6. Soma: 01 + 02 + 04 + 08 = 15**

Afirmativa 01: correta. Considerando o sistema termicamente isolado:

$$Q_A + Q_B + Q_{\text{água}} = m_A \cdot c_A \cdot \Delta T_A + m_B \cdot c_B \cdot \Delta T_B + m_{\text{água}} \cdot c_{\text{água}} \cdot \Delta T_{\text{água}} = 0$$

$$300 \cdot 0,5 \cdot (T - 20) + 200 \cdot 0,6 \cdot (T - 20) + 270 \cdot 1 \cdot (T - 30) = 0$$

$$540 \cdot T = 13500 \Rightarrow T = 25 \text{ °C}$$

Afirmativa 02: correta. Quantidade de calor recebida pelo corpo A:

$$Q_A = m_A \cdot c_A \cdot \Delta T_A$$

$$Q_A = 300 \cdot 0,5 \cdot (25 - 20) \Rightarrow Q_A = 750 \text{ cal}$$

Afirmativa 04: correta. Quantidade de calor fornecida pela água:

$$Q_A = m_A \cdot c_A \cdot \Delta T_A$$

$$Q_A = 270 \cdot 1 \cdot (25 - 30) \Rightarrow Q_A = -1350 \text{ cal}$$

Afirmativa 08: correta. Módulo de ambas as variações:

$$|\Delta T_{\text{água}}| = |25 - 30| = |\Delta T_A| = |\Delta T_B| = |25 - 20| = 5$$

Afirmativa 16: incorreta. Quantidade de calor recebida pelo corpo B:

$$Q_B = m_B \cdot c_B \cdot \Delta T_B$$

$$Q_B = 200 \cdot 0,6 \cdot (25 - 20) \Rightarrow Q_B = 600 \text{ cal}$$

Então, é diferente do calor recebido pelo corpo A.

**7. C**

Como é necessário que o sistema de aquecimento tenha uma potência de 50 W para manter a temperatura constante, é possível supor que a água do aquário perca calor ao ambiente também a uma potência de resfriamento igual a 50 W. Dessa forma:

$$P_T = \frac{|Q|}{\Delta t} \Rightarrow |Q| = P_T \cdot \Delta t$$

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T = P_T \cdot \Delta t \Rightarrow \Delta T = \frac{P_T \cdot \Delta t}{m \cdot c}$$

Como a densidade da água é igual a  $1 \text{ kg} \cdot \text{L}^{-1}$ :

$$\Delta T = \frac{50 \cdot 3600}{1 \cdot 50 \cdot 4000} \Rightarrow \Delta T = 0,9 \text{ °C}$$

**8. B**

Tomando o ponto (120; 60) e substituindo na equação fundamental da calorimetria, temos:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T \Rightarrow c = \frac{Q}{m \cdot \Delta T}$$

$$c = \frac{120 \cdot 10^3}{500 \cdot 60} \Rightarrow c = 4 \text{ J/g} \cdot ^\circ\text{C}$$

**9. D**

Tomando-se os pontos (0; 20) e (30; 50), temos:

$$P = \frac{Q}{\Delta t} \Rightarrow Q = P \cdot \Delta t \Rightarrow Q = 30 \cdot 30$$

$$Q = 900 \text{ cal}$$

Da equação fundamental da calorimetria, temos:

$$Q = C \cdot \Delta T \Rightarrow 900 = C \cdot (50 - 20)$$

$$C = 30 \text{ cal}/^\circ\text{C}$$

**10. Soma: 01 + 02 + 04 = 07**

Afirmativa 01: correta. O coeficiente angular da reta é:

$$\alpha = \frac{\Delta Q}{\Delta T} = \frac{m \cdot c \cdot \Delta T}{\Delta T}$$

$$\alpha = m \cdot c \Rightarrow \alpha = c$$

Afirmativa 02: correta. Considerando os pontos (25; 1,5) e (40; 2,4) do gráfico, temos que:

$$\alpha = \frac{2,4 - 1,5}{40 - 25} \Rightarrow \alpha = 0,06 \text{ cal}/^\circ\text{C}$$

Como a capacidade térmica da amostra é numericamente igual ao coeficiente angular, temos que ela é 0,06 cal/°C.

Afirmativa 04: correta. Sabendo que a massa da amostra é de 20 miligramas (0,02 g), temos, da expressão do calor específico:

$$c = \frac{C}{m} \Rightarrow c = \frac{0,06}{0,02} \Rightarrow c = 3 \text{ cal}/(\text{g} \cdot ^\circ\text{C})$$

Afirmativa 08: incorreta. No SI, a unidade de medida de capacidade térmica é J/K. A unidade cal/(g · °C) é a unidade de calor específico e não está no SI.

Afirmativa 16: incorreta. Os dados experimentais descrevem uma equação matemática do 1º grau.

**11. B**

Sendo o sistema isolado, pode-se afirmar que a troca de calor ocorre somente entre a água e a barra de aço:

$$Q_{\text{água}} + Q_{\text{aço}} = 0$$

$$m_{\text{água}} \cdot c_{\text{água}} \cdot \Delta T_{\text{água}} = m_{\text{aço}} \cdot c_{\text{aço}} \cdot \Delta T_{\text{aço}} = 0$$

Como os dois corpos estarão em contato até o equilíbrio térmico, pode-se afirmar que a temperatura final T será igual para os dois:

$$m_{\text{água}} \cdot c_{\text{água}} \cdot (T - T_{\text{água}}) + m_{\text{aço}} \cdot c_{\text{aço}} \cdot (T - T_{\text{aço}}) = 0$$

$$400 \cdot 1,0 \cdot (T - 20) + 500 \cdot 0,12 \cdot (T - 80) = 0$$

$$400T - 8000 + 60T - 4800 = 0$$

$$T \cong 27,8 \text{ } ^\circ\text{C} \Rightarrow T \cong 28 \text{ } ^\circ\text{C}$$

**12. D**

Assumindo que a troca de calor ocorre somente entre a barra e o óleo, temos:

$$Q_{\text{óleo}} + Q_{\text{ferro}} = 0$$

$$m_{\text{óleo}} \cdot c_{\text{óleo}} \cdot \Delta T_{\text{óleo}} + m_{\text{ferro}} \cdot c_{\text{ferro}} \cdot \Delta T_{\text{ferro}} = 0$$

Como o material foi colocado até o equilíbrio térmico, conclui-se que o ferro também ficou com temperatura final igual a 38 °C. Sendo assim, temos:

$$10\,000 \cdot 0,40 \cdot (38 - 28) + 1000 \cdot 0,11 \cdot (38 - T) = 0$$

$$40\,000 + 4\,180 - 110T = 0$$

$$T \cong 400 \text{ } ^\circ\text{C}$$



Iniciar o tema lembrando que, quando um corpo recebe calor, é esperado que ele se aqueça. Porém, quando a temperatura do corpo atinge determinado valor, característico daquela substância a uma dada pressão, em vez de se aquecer, sua estrutura microscópica passa por reorganização. Do ponto de vista macroscópico, chamamos esse fenômeno de mudança de estado físico.

Falar sobre os três estados físicos mais facilmente identificáveis no cotidiano: sólido, líquido e gasoso, citando exemplos além dos estados da água (gelo, água, vapor).

Apresentar o critério forma e volume como uma primeira abordagem para caracterizar os três estados. Salientar que esse critério tem limitações. Por exemplo, como classificar pasta de dente? Apresentar o critério microscópico dos graus de liberdade como uma abordagem mais complexa e abrangente da classificação dos estados físicos.

Apresentar o diagrama de mudanças de estado, nomeando-as e apontando particularidades. Comentar a sublimação, destacando que não é tão comum, citando os exemplos clássicos, como a naftalina e o gelo seco (dióxido de carbono).

Explicar que, para substâncias puras e cristalinas, a mudança de estado se processa à temperatura constante, característica da substância a uma dada pressão. Comentar que impurezas e variações de pressão podem interferir no processo, alterando inclusive a temperatura em que a mudança ocorre.

Apresentar a curva de aquecimento como um registro completo do que ocorre com um corpo à medida que recebe calor a partir de determinada temperatura. Construir o digrama para a água, à temperatura ambiente padrão (1 atm), destacando as mudanças de estado e as temperaturas correspondentes.

Apresentar a equação do calor latente e comentar como calcular o calor a cada etapa e como encontrar a quantidade total de calor envolvida ao longo do processo. Destacar que as etapas são reversíveis e falar sobre os calores latentes a cada transformação.

Apresentar a sobrefusão e as condições em que ocorre, dando exemplos do cotidiano. É importante comentar sobre esse fenômeno, pois há um exercício de aula que aborda o assunto; por isso, outra estratégia é tratar da sobrefusão a partir do próprio exercício.

Se houver disponibilidade de tempo, explicar a diferença entre ebulição, evaporação e calefação ou, ao menos, indicar a leitura sobre o assunto no livro.

Apresentar os diagramas de fase, destacando o ponto triplo e a temperatura crítica. Mostrar, a partir desse diagrama, a influência da pressão e a diferença entre gás e vapor.

## RESOLUÇÕES

### Exercícios de sala

1. C

Primeira afirmativa: verdadeira. Desde que mantida a pressão constante, a mudança de estado de uma substância pura e cristalina, caso da água, ocorre à temperatura constante até que toda a transformação seja realizada.

Segunda afirmativa: falsa. A evaporação é endotérmica, ou seja, a água absorve calor. Sendo assim, a nossa pele cede calor para a água.

Terceira afirmativa: verdadeira. A temperatura de ebulição reduz com a diminuição da pressão.

2. C

Do enunciado, temos que o calor específico da água é o dobro do gelo, ou seja:

$$c_{\text{água}} = 2c_{\text{gelo}} \Rightarrow c_{\text{água}} = 2 \cdot 2,1 \Rightarrow c_{\text{água}} = 4,2 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C}$$

O calor necessário para atingir 10 °C é a soma dos calores sensíveis com o calor latente:

$$Q_T = Q_{S,\text{gelo}} + Q_L + Q_{S,\text{água}}$$

$$Q_T = m \cdot c_{\text{gelo}} \cdot \Delta T_{\text{gelo}} + m \cdot L + m \cdot c_{\text{água}} \cdot \Delta T_{\text{água}}$$

$$Q_T = m \cdot [2,1 \cdot (0 - (-2)) + 330 + 4,2 \cdot (10 - 0)]$$

$$\frac{Q_T}{m} = 376,2 \text{ kJ/kg}$$

3. A

Pela equação da potência térmica, temos:

$$P_T = \frac{|Q|}{\Delta t} = \frac{|m \cdot c \cdot \Delta T|}{\Delta t} = \frac{|m \cdot 1 \cdot (70 - 30)|}{4 \cdot 60} = \frac{m}{6}$$

Sendo essa a potência térmica, é possível determinar o tempo mínimo para evaporação da água da seguinte maneira:

$$P_T = \frac{|Q_L|}{\Delta t'} = \frac{|m \cdot L|}{\Delta t'} = \frac{m}{6}$$

$$\Delta t' = \frac{6}{m} \cdot m \cdot L = 6 \cdot L$$

$$\Delta t' = 3240 \text{ s} \Rightarrow \Delta t' = 54 \text{ min}$$

4. a) Durante o processo de fusão:

$$\Delta Q = m_{\text{gelo}} \cdot L_{\text{fusão}} \Rightarrow 9500 - 1500 = m_{\text{gelo}} \cdot 80$$

$$m_{\text{gelo}} = \frac{9500 - 1500}{80} \Rightarrow m_{\text{gelo}} = 100 \text{ g}$$

- b) O calor específico pode ser obtido utilizando a equação fundamental da Calorimetria:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T \Rightarrow c = \frac{Q}{m \cdot \Delta T}$$

Substituindo os valores:

$$c = \frac{Q}{m \cdot \Delta T} = \frac{1500}{100 \cdot 30} = \frac{1}{2}$$

$$c = 0,5 \frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot ^\circ\text{C}}$$

- c) A quantidade total de calor pode ser expressa por:

$$Q_{\text{total}} = Q_{\text{gelo}} + Q_{\text{fusão}} + Q_{\text{água}} = Q_{\text{gelo}} + Q_{\text{fusão}} + m_{\text{água}} \cdot c_{\text{água}} \cdot \Delta T_{\text{água}}$$

$$Q_{\text{total}} = 1500 + 8000 + 100 \cdot 1 \cdot (30 - 0)$$

$$Q_{\text{total}} = 12500 \text{ cal}$$

5. **A**

A energia que a água libera para atingir 0 °C é:

$$Q_{S,\text{água}} = m_{\text{água}} \cdot c_{\text{água}} \cdot \Delta T_{\text{água}} \Rightarrow Q_{S,\text{água}} = 200 \cdot 1 \cdot (0 - 30)$$

$$Q_{S,\text{água}} = -6000 \text{ cal}$$

A energia que o gelo recebe para atingir 0 °C é:

$$Q_{S,\text{gelo}} = m_{\text{gelo}} \cdot c_{\text{gelo}} \cdot \Delta T_{\text{gelo}}$$

$$Q_{S,\text{gelo}} = 50 \cdot 0,5 \cdot (0 - (-10))$$

$$Q_{S,\text{gelo}} = 250 \text{ cal}$$

Podemos notar que a quantidade de calor que a água pode fornecer é maior do que aquela que o gelo precisa absorver para chegar a 0 °C. Sendo assim, conclui-se que o gelo irá derreter. O calor necessário para derreter todo o gelo é dado por:

$$Q_L = \Delta m \cdot L \Rightarrow Q_L = 50 \cdot 80 \Rightarrow Q_L = 4000 \text{ cal}$$

Mesmo derretendo todo o gelo, ainda há uma quantidade de calor disponível que a água pode ceder. Isso significa que a temperatura final é superior a 0 °C. Sendo assim, usamos o calor que “sobrou” para aquecer toda a porção de água:

$$Q_{\text{sobra}} = |Q_{\text{liberado}}| - |Q_{\text{absorvido}}|$$

$$m_{\text{total}} \cdot c_{\text{água}} \cdot \Delta T = 6000 - (4000 + 250)$$

$$(200 + 50) \cdot 1,0 \cdot (T - 0) = 1750$$

$$T = 7 \text{ }^\circ\text{C}$$

6. **C**

Da equação de sobre-fusão, temos:

$$\Delta m \cdot L + m_{\text{liq}} \cdot c_{\text{liq}} \cdot \Delta T_{\text{liq}} = 0$$

$$\Delta m \cdot (-80) + 100 \cdot 1,0 \cdot [0 - (-10)] = 0$$

$$\Delta m = 12,5 \text{ g}$$

Essas aulas abordam os processos pelos quais o calor se transfere de uma região mais quente a uma mais fria, envolvendo ou não matéria. Reforçar a necessidade de duas temperaturas diferentes para que a transferência ocorra de forma espontânea.

Apresentar o processo de condução térmica, ressaltando a necessidade da presença de matéria e a restrição ao seu movimento, associando esse processo aos sólidos. Classificar os materiais em bons e maus condutores. Explicar que o termo “isolante”, apesar de muito utilizado em normas de segurança e manuais, refere-se a materiais que são maus condutores, uma vez que não existe material isolante de fato.

Quantificar a transferência de calor através de barras ou paredes, por meio do modelo de Fourier.

Apresentar o processo de convecção, explicitando a movimentação de matéria e associando-o a líquidos e gases, devido à característica de maior mobilidade das partículas nesses dois estados da matéria. Ressaltar a influência da temperatura na diferença de densidades e a influência da gravidade na formação das correntes de convecção.

Comentar a formação de brisas litorâneas e, sendo possível, falar sobre chuvas orográficas. Pode-se também associar esse fenômeno da convecção à inversão térmica e aos efeitos nocivos da poluição atmosférica em centros urbanos, agravados no inverno.

Apresentar a irradiação, caracterizando-a como emissão de ondas eletromagnéticas e mencionando a não necessidade de matéria para sua ocorrência. Relacioná-la ao vácuo e explicar como o fenômeno da irradiação solar aquece o planeta. Se possível, explicar a ocorrência do efeito estufa e a manutenção das condições para a vida na Terra como a conhecemos. Sugerir leituras sobre a intensificação do efeito estufa por causas antrópicas e suas consequências apontadas atualmente pela ciência.

Comentar a necessidade de minimizar a transferência de calor em determinadas situações. Apresentar o vaso de Dewar como dispositivo tecnológico criado para esse fim, minimizando as transferências de calor pelos três processos.

## RESOLUÇÕES

### Exercícios de sala

1. D

O calor no espaço é transferido por meio da irradiação, visto que é o único modo que independe de meio material (lacuna I). A condução ocorre pela transmissão do calor entre partículas adjacentes (lacuna II). A convecção é a troca de calor por troca de matéria (lacuna III), o que é característico dos meios fluidos (líquido ou gasoso).

2. C

Para que a temperatura seja mantida constante, o aquecedor deverá fornecer um fluxo de calor equivalente a:

$$\phi = \frac{Q}{\Delta t} = k \cdot A \cdot \frac{\Delta T}{L}$$

$$\phi = 0,8 \cdot (2 \cdot 1) \cdot \frac{(20 + 4)}{0,012}$$

$$\phi = 3\,200 \text{ W}$$

**3. A**

Alternativa A: correta. A transferência de calor entre o sol e a ilha de calor ocorre por meio de irradiação, já que é a única forma de transferir calor através do vácuo. Já a transferência entre a ilha de calor e a brisa marítima ocorre por meio da convecção, já que são as massas de ar que realizam a troca de energia.

Alternativa B: incorreta. A transferência predominante entre a ilha de calor e a brisa marítima se dá por convecção.

Alternativa C: incorreta. Não há como o sol transferir energia por meio da condução, já que no espaço não há matéria para conduzir calor.

Alternativa D: incorreta. Os processos são os apontados na alternativa, mas estão relacionados de forma errada.

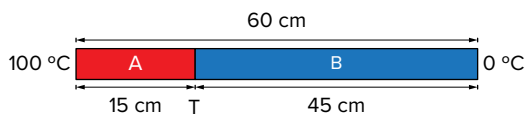
Alternativa E: incorreta. Não há matéria suficiente no espaço para que haja a troca de calor mencionada.

4. a) Da equação de Fourier, temos:

$$\phi = k \cdot A \cdot \frac{\Delta T}{L} = 0,16 \cdot 12 \cdot \frac{(100 - 0)}{60}$$

$$\phi = 3,2 \text{ cal/s}$$

b) Podemos pensar que a barra original é formada por duas barras menores em série e que a temperatura na interface vale  $T$ , como na figura a seguir.



Se a barra está no regime permanente, então o fluxo é constante ao longo de toda a barra. Sendo assim, pode-se igualar os fluxos de ambas as barras:

$$\phi_A = \phi_B \Rightarrow k \cdot A \cdot \frac{\Delta T_A}{L_A} = k \cdot A \cdot \frac{\Delta T_B}{L_B}$$

$$\frac{(100 - T)}{15} = \frac{(T - 0)}{45} \Rightarrow 300 - 3T = T$$

$$T = 75 \text{ °C}$$

5. Como o sistema está em regime estacionário, todo o fluxo que entra na barra de cobre deve ser transferido para as barras de alumínio e de ferro. Sendo assim:

$$\phi_{Cu} = \phi_{Al} + \phi_{Fe} \Rightarrow k_{Cu} \cdot A_{Cu} \cdot \frac{\Delta T_{Cu}}{L_{Cu}} =$$

$$= k_{Al} \cdot A_{Al} \cdot \frac{\Delta T_{Al}}{L_{Al}} + k_{Fe} \cdot A_{Fe} \cdot \frac{\Delta T_{Fe}}{L_{Fe}}$$

$$400 \cdot 2A \cdot \frac{(90 - T)}{2L} =$$

$$= 240 \cdot A \cdot \frac{(T - 0)}{2L} + 80 \cdot A \cdot \frac{(T - 0)}{L}$$

$$40 \cdot (90 - T) = 20 \cdot (T - 0)$$

$$180 - 2T = T \Rightarrow 180 = 3T$$

$$T = 60 \text{ °C}$$

É interessante notar que o coeficiente de condutividade térmica foi dado em kelvin, porém, como a variação de temperatura em kelvin é equivalente à variação em grau Celsius, podemos usar diretamente os valores de temperatura em graus Celsius.

**6. D**

Relacionando as afirmações aos processos de transferência de calor, temos:

- I. O plástico é um mau condutor térmico, portanto reduz a troca de calor por condução.
- II. O vácuo impede que haja troca de calor dependente dos meios materiais, portanto reduz as trocas por condução e convecção.
- III. A parede espelhada minimiza a troca de calor por radiação.

Esse conjunto de aulas aborda de forma mais específica o comportamento dos gases e os desdobramentos tecnológicos decorrentes desses estudos. Iniciar conceituando o modelo de gás ideal.

Enunciar as variáveis de estado utilizadas para estudar um gás ideal, comentar cada uma delas, associando-as ao comportamento das partículas que compõem o gás, suas unidades e conversões importantes.

Apresentar as transformações gasosas como processos físicos reversíveis envolvendo alterações nas variáveis de estado. Descrever as transformações gasosas especiais e suas características. Apresentar conjuntamente as relações matemáticas entre as variáveis de estado em cada transformação.

Apresentar a equação geral de transformações gasosas. Explicar como ela pode ser utilizada em qualquer transformação.

Enunciar a equação de Clapeyron, as grandezas envolvidas e as unidades, principalmente da constante dos gases R.

Apresentar as curvas de Clapeyron ou digramas PV. No livro, esses diagramas são apresentados após trabalhar as transformações, pois, historicamente, os diagramas usados por Clapeyron foram introduzidos depois dos estudos dos gases abordados anteriormente. No entanto, é possível optar por introduzi-los em conjunto com as transformações.

## RESOLUÇÕES

## Exercícios de sala

## 1. A

Para uma transformação isobárica, sabe-se que a razão  $\frac{V}{T}$  é constante. Chamemos essa constante de K:

$$\frac{V}{T} = K \Rightarrow V = K \cdot T$$

Percebe-se que o gráfico é uma função do 1º grau que passa pela origem. Tratando-se de uma expansão, necessariamente o sentido do vetor representado no gráfico é aquele que indica o aumento do volume.

## 2. C

Para um gás ideal, a equação da transformação gasosa fica:

$$\frac{P_i \cdot V_i}{T_i} = \frac{P_f \cdot V_f}{T_f}$$

Como a pressão se manteve inalterada:

$$\frac{V_i}{T_i} = \frac{V_f}{T_f} \Rightarrow \frac{V_f}{V_i} = \frac{T_f}{T_i} = \frac{319}{290} = 1,1$$

A variação do volume é, então:

$$\Delta V = V_f - V_i = 1,1 \cdot V_i - V_i = 0,1V_i$$

$$\Delta V = 10\% \cdot V_i$$

## 3. Soma: 01 + 02 + 04 = 07

Afirmativa 01: correta. A partir do gráfico, pode-se calcular o trabalho a partir da área abaixo das linhas AB e BC:

$$\tau = \frac{100 + 20}{2} \cdot (20 - 10) + 20(60 - 20) = 600 + 800$$

$$\tau = 1400 \text{ J ou } 350 \text{ cal}$$

Afirmativa 02: correta. Na transformação isobárica, a pressão se mantém constante.

Afirmativa 04: correta. A partir da equação de Clapeyron para o estado B, tem-se que:

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

$$n = \frac{p \cdot V}{R \cdot T} = \frac{20 \cdot 20}{8,3 \cdot 300} = \frac{400}{2490} \Rightarrow n = 0,16 \text{ mol}$$

Afirmativa 08: incorreta. Na transformação isotérmica, a temperatura é constante. O produto de pressão e volume de AB e BC não é constante de uma transformação para outra.

## 4. E

Para qualquer gás que se comporte idealmente, a relação entre pressão, volume, temperatura e quantidade de matéria é relacionada pela constante universal dos gases:

$$\frac{P \cdot V}{n \cdot T} = R$$

Comparando as informações do 1º e do 2º tempo, temos:

$$\frac{CA_1 \cdot V_1}{n_1 \cdot T_1} = \frac{CA_2 \cdot V_2}{n_2 \cdot T_2}$$

Mas  $V_2 = 3V$ ,  $CA_2 = \frac{CA}{3}$  e  $T_2 = 3T$ , portanto:

$$\frac{CA \cdot V}{n_1 \cdot T} = \frac{\frac{CA}{3} \cdot 3V}{n_2 \cdot 2T} \Rightarrow \frac{n_1}{n_2} = 2$$

**5. C**

Como o gás pode ser considerado ideal:

$$\frac{P_A \cdot V_A}{T_A} = \frac{P_B \cdot V_B}{T_B}$$

$$T_B = \frac{T_A \cdot P_B \cdot V_B}{P_A \cdot V_A} = \frac{50 \cdot 60 \cdot 150}{20 \cdot 50}$$

$$T_B = 450 \text{ K}$$

**6. D**

A temperatura do gás em kelvin (T) é:

$$T = 7 + 273 \Rightarrow T = 280 \text{ K}$$

O volume do pescoço da garrafa, em m<sup>3</sup>, é:

$$V = 24 \text{ mL} = 24 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$$

Substituindo os valores na equação de Clapeyron, temos:

$$P \cdot V = n \cdot R \cdot T \Rightarrow n = \frac{P \cdot V}{R \cdot T}$$

$$n = \frac{(2,8 \cdot 10^5) \cdot (24 \cdot 10^{-6})}{8 \cdot 280}$$

$$n = 0,003 \text{ mol} = 3,0 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$$

Conceituar trabalho de um gás associando-o, se possível, ao conceito de trabalho mecânico envolvendo movimento de matéria. Mostrar como obter o trabalho pelo método gráfico, quando a pressão é variável. Havendo tempo, é possível demonstrar como obter essa equação, por meio de um exemplo simples envolvendo um recipiente cilíndrico, ou comentar a demonstração presente no livro.

Mostrar os sinais do cálculo do trabalho e suas interpretações físicas.

Conceituar transformações cíclicas, representando-as graficamente, e apresentar o cálculo do trabalho por ciclo executado, bem como a forma prática de obter seu sinal (“rotação” do ciclo).

Conceituar energia interna do gás, destacando que, no modelo do gás ideal, ela é diretamente associada à energia cinética das partículas que o compõem, podendo, portanto, ser associada à temperatura do gás. Apresentar a equação da energia interna, sem demonstração. Comentar a sua variação.

Enunciar a primeira lei da Termodinâmica, destacando-a como uma aplicação do princípio da conservação da energia.

Apresentar as equações de cálculo da quantidade de calor, explicitando que experimentalmente é percebida diferença na capacidade térmica molar quando o gás sofre transformação a pressão ou volume constantes. Apresentar a relação de Mayer; ela está deduzida no livro, caso julgue oportuno indicar a leitura.

## RESOLUÇÕES

## Exercícios de sala

## 1. D

O volume inicial de ar é a diferença entre a capacidade da garrafa e o que foi colocado de água, ou seja:

$$V_0 = 2,0 - 0,6 = 1,4 \text{ L ou } 1,4 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

Sabendo que ocorre uma transformação isobárica no interior da garrafa, temos que a equação geral dos gases à pressão constante é:

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \Rightarrow \frac{1,4 \cdot 10^{-3}}{300} = \frac{V_2}{280} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow V_2 = \frac{1,4 \cdot 10^{-3} \cdot 280}{300} \Rightarrow V_2 = 1,3 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

Calculando o trabalho à pressão constante, tem-se que:

$$\tau = p \cdot \Delta V = 10^5 (1,3 - 1,4) \cdot 10^{-3} \Rightarrow \tau = -10 \text{ J}$$

O sinal negativo apenas indica que o sistema recebeu, convergindo com o enunciado. Portanto:

$$\tau = 10 \text{ J}$$

## 2. a) Utilizando a equação dos gases ideais:

$$\frac{P_A \cdot V_A}{T_A} = \frac{P_C \cdot V_C}{T_C}$$

$$T_A = \frac{P_A \cdot V_A \cdot T_C}{P_C \cdot V_C} = \frac{P_A \cdot T_C}{P_C} = \frac{8 \cdot 10^5 \cdot 800}{2 \cdot 10^5}$$

$$T_A = 3200 \text{ K} \Rightarrow T_B = 3200 \text{ K} = 2927 \text{ }^\circ\text{C}$$

## b) Por se tratar de um ciclo termodinâmico, a variação da energia interna é nula.

Já o valor absoluto do trabalho realizado na compressão do gás é:

$$|W| = P_C \cdot \Delta V_{BC} = 2 \cdot 10^5 \cdot (2,5 \cdot 10^{-3} - 0,5 \cdot 10^{-3})$$

$$|W| = 400 \text{ J}$$

## 3. a) O trabalho na transformação AB é nulo, uma vez que essa transformação é isovolumétrica.

O trabalho em CA é:

$$\tau = p \cdot \Delta V = 2 \cdot 10^5 \cdot (3 - 9) \cdot 10^{-3} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \tau = -1,2 \cdot 10^3 \text{ J}$$

## b) A partir da equação de Clapeyron, tem-se que:

$$n = \frac{p \cdot V}{R \cdot T} = \frac{2 \cdot 10^5 \cdot 3 \cdot 10^{-3}}{8 \cdot 300} = \frac{600}{2400} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow n = \frac{1}{4} \text{ mol}$$

A partir da equação geral para a transformação BC, tem-se que:

$$\frac{P_B V_B}{T_B} = \frac{P_C V_C}{T_C} \Rightarrow P_B = \frac{P_C V_C}{T_C} = \frac{2 \cdot 10^5 \cdot 9 \cdot 10^{-3}}{3 \cdot 10^{-3}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow P_B = 6 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$$

**4. B**

Afirmativa I: correta. Na etapa BC, o gás sofre um resfriamento isométrico; portanto:

$$W_{BC} = 0 \text{ e } \Delta U_{BC} < 0$$

Assim, da conservação de energia, temos:

$$Q_{BC} = \Delta U_{BC} - W_{BC} \Rightarrow Q_{BC} = \Delta U_{BC}$$

Como  $\Delta U_{BC} < 0$ , temos que:

$$Q_{BC} < 0 \text{ (o gás cedeu calor ao meio externo)}$$

Já na etapa CA, o gás sofre uma compressão isotérmica:

$$W_{CA} > 0 \text{ e } \Delta U_{CA} = 0$$

Portanto, da conservação de energia, temos:

$$Q_{CA} = \Delta U_{CA} - W_{CA} \Rightarrow Q_{CA} = -W_{CA}$$

Como  $W_{CA} > 0$ , temos que:

$$Q_{CA} < 0 \text{ (o gás cedeu calor ao meio externo)}$$

Afirmativa II: incorreta. Na etapa BC, o gás não varia de volume, portanto o trabalho nessa etapa é nulo.

Afirmativa III: incorreta. A temperatura do gás aumenta na etapa AB, mas diminui na etapa CA.

**5. D**

Como não houve alteração de volume durante a transformação, consequentemente, o trabalho será nulo. Dessa forma, a variação da energia interna é:

$$\Delta U = Q = \frac{3}{2} \cdot n \cdot R \cdot \Delta T = \frac{3}{2} \cdot V \cdot \Delta P$$

$$Q = \frac{3}{2} \cdot 20 \cdot 10^{-3} \cdot (6 \cdot 10^5 - 2 \cdot 10^5)$$

$$Q = 12\,000 \text{ J}$$

**6.** Sendo o gás monoatômico, temos que:

$$C_V = \frac{3}{2}R \text{ e } C_P = \frac{5}{2}R$$

Para a transformação AD, temos:

$$\Delta U_{AD} = n \cdot C_V \cdot \Delta T_{AD} = \frac{3}{2} \cdot n \cdot R \cdot \Delta T_{AD}$$

$$\Delta U_{AD} = \frac{3}{2} \cdot \Delta(P \cdot V)_{AD}$$

$$\Delta U_{AD} = \frac{3}{2} \cdot [(2 \cdot 10^5) \cdot (3 \cdot 10^{-3}) - (1 \cdot 10^5) \cdot (3 \cdot 10^{-3})]$$

$$\Delta U_{AD} = 450 \text{ J}$$

Para a transformação CB, temos:

$$\Delta V_{CB} = 0 \Rightarrow W_{CB} = 0$$

$$\Delta U_{CB} = n \cdot C_V \cdot \Delta T_{CB} = \frac{3}{2} \cdot n \cdot R \cdot \Delta T_{CB} = \frac{3}{2} \cdot \Delta(P \cdot V)_{CB}$$

$$\Delta U_{CB} = \frac{3}{2} \cdot [(1 \cdot 10^5) \cdot (9 \cdot 10^{-3}) - (2 \cdot 10^5) \cdot (9 \cdot 10^{-3})]$$

$$\Delta U_{CB} = -1350 \text{ J}$$

Da primeira lei da Termodinâmica, temos:

$$Q_{CB} = \Delta U_{CB} + W_{CB} \Rightarrow Q_{CB} = -1350 \text{ J} + 0$$

$$Q_{CB} = -1350 \text{ J}$$

No ciclo ADCBA, o trabalho é numericamente igual à área compreendida pelas curvas do gráfico:

$$W \stackrel{N}{=} \text{Área} \Rightarrow W = [(9 - 3) \cdot 10^{-3}] \cdot [(2 - 1) \cdot 10^5]$$

$$W = 600 \text{ J}$$

O sinal é positivo, pois o ciclo ocorre no sentido horário. O quadro com as células indicadas fica da seguinte maneira:

Transformação	AD	DC	CB	BA	ADCBA
$\Delta U$	450 J				
$Q$			-1350 J		
$W$					600 J