

## Calorimetria

### Teoria

---

**Calor** é definido com um processo de transferência espontânea de energia da região de maior temperatura (maior concentração de energia cinética média por partícula) para a região de menor temperatura (menor concentração de energia cinética média por partícula).

#### Capacidade Térmica (C)

A capacidade térmica de um objeto é o quanto deve ceder ou receber de energia por calor para variar a temperatura do objeto. Também pode ser o produto da massa do corpo vezes o calor específico do material que o constitui. Assim, temos:

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

A unidade de capacidade térmica é **cal/°C**, ou no Sistema Internacional, **J/K**. Já a unidade de calor específico é **cal/g°C**, que no SI é **J/g.K**. É muito comum o uso da caloria como unidade fora do SI. Na unidades atuais, 1 cal  $\approx$  4,2 J. Não se preocupe em decorar esse valor. Caso necessário, ele será fornecido, e a aproximação mais comum de aparecer em provas é que 1 caloria = 4 joules.

A quantidade de calor calculada **dessa maneira** é denominada **calor sensível** ( $Q_s$ ). Desta forma, juntando as duas equações acima, temos que:

$$Q_s = mc\Delta T$$

Onde "m" é a massa do corpo, "c" é o calor específico do material que o constitui e  $\Delta T$  é a variação de temperatura correspondente. Cada corpo é constituído de uma substância/material que, por sua vez, possui um valor de calor específico para cada estado físico. Esses valores são tabelados e você não precisa gravar nenhum deles.

Resumindo, o calor sensível é todo o calor cedido ou recebido por algum corpo e essa energia é revertida em variação de temperatura.

**Exemplo:** Calor específico da água líquida à pressão atmosférica ao nível do mar:  $c_{\text{água}} = 1,0 \frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot ^\circ\text{C}} = 4,0 \times 10^3 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$ .

É bom ter o conhecimento do valor específico da água, já que é bem comum sua utilização. A primeira unidade é usualmente usada, enquanto a segunda é a adotada pelo Sistema Internacional de Unidades.

---

### Equilíbrio térmico

Quando colocamos dois objetos em contato um com o outro e esperamos tempo suficiente, eles tendem a atingir a mesma temperatura. Dizemos então que eles estão em *equilíbrio térmico* e a energia foi transferida de um ao outro, por meio do processo calor. Para dois ou mais corpos, vale a seguinte expressão:

$$Q_{cedido} + Q_{recebido} = 0$$

Ou seja, a soma das quantidades de calor entre os corpos deve ser nula.

Normalmente, o corpo que está a uma temperatura mais elevada deve ceder calor para o corpo que está a uma temperatura mais baixa.

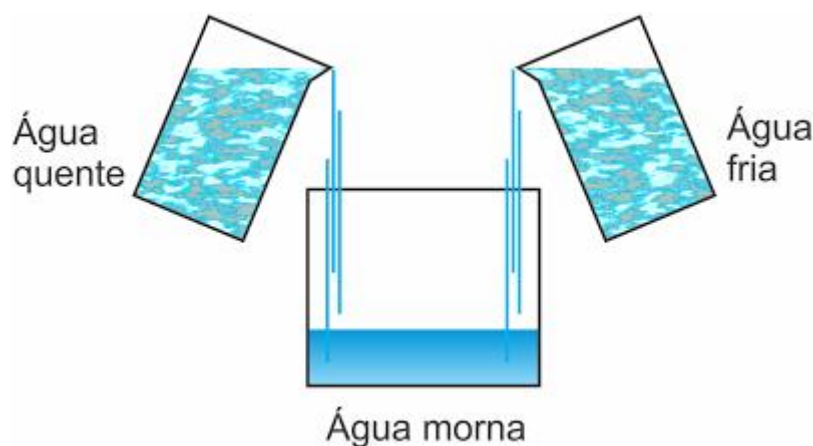


Figura 01 – Equilíbrio térmico. Disponível em: <http://fisica.hi7.co/fisica/fisica-56cb6d8f03243.png>

### Calor Latente

Em algumas situações, você pode fornecer calor para um sistema sem aumentar em nada sua temperatura. Isto normalmente ocorre durante uma *mudança de estado físico (mudança de fase)*, como o gelo derretendo ou a água fervendo. Tecnicamente, a capacidade térmica fica mal definida, já que você estaria dividindo por zero o calor! No entanto, ainda é interessante saber a quantidade de calor necessária para derreter ou ferver uma substância completamente. Esta quantidade de calor dividida pela massa da substância é chamada de **calor latente** da transformação, e é denotada por L:

$$Q = mL$$

O calor latente de **fusão** do gelo vale 80 cal/g, já o calor latente de **vaporização** da água é 540 cal/g.

**Obs.:** Cabe salientar que as mudanças de estado que ocorrem com perda de calor apresentam calores latentes negativos (solidificação e condensação).

Um diagrama importante relaciona a temperatura de um objeto com o calor fornecido a ele (calor fornecido é positivo; calor cedido é negativo):

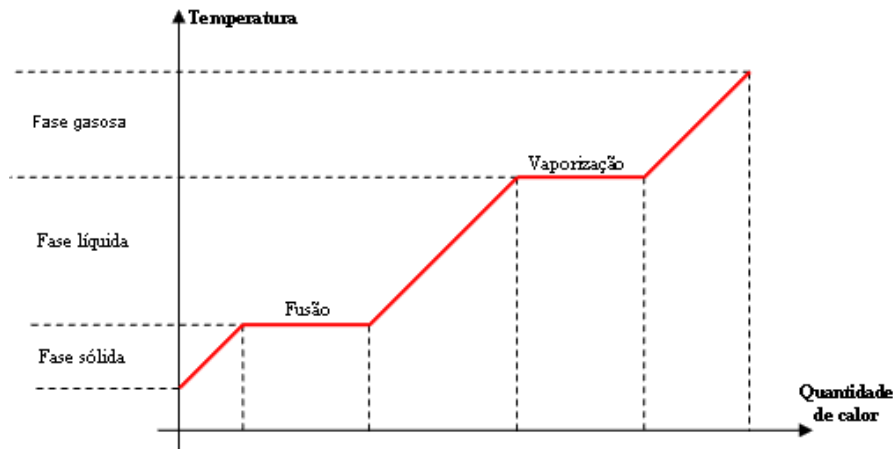


Gráfico Temperatura x Quantidade de calor.

Começando na fase sólida, o corpo absorve calor a partir de uma fonte externa (fogão por exemplo) e aumenta de temperatura até chegar na temperatura de **fusão**. Nesse estágio, a temperatura do corpo não varia e todo calor absorvido (calor latente) é usado para quebrar ligações químicas (estamos numa mudança de fase). Logo em seguida a temperatura aumenta de novo até atingir a temperatura de **vaporização** e a análise se repete.

## Potência térmica

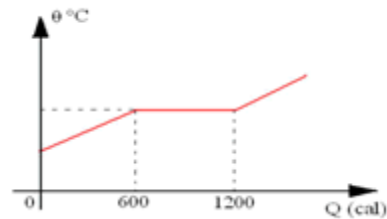
Quando temos em um sistema um elemento capaz de promover calor constante ao longo do tempo, dizemos que temos uma fonte térmica. Essa fonte térmica pode ser pensada como um forno, por exemplo. A fonte térmica, por apresentar esse fluxo constante de energia ao longo do tempo, iremos quantificar esse fluxo através de uma grandeza física chamada de Potência térmica.

$$P_{ot} = \frac{Q}{\Delta t}$$

Vale lembrar que a quantidade de calor emitida pela fonte térmica pode ser capaz tanto de alterar a temperatura de um corpo como também alterar seu estado físico.

## Exercícios de fixação

- Um corpo de massa 6g em estado sólido, é aquecido até o ponto de fusão. Sabendo que o calor latente do corpo é de 35 cal/g, determine a quantidade de calor recebida pelo corpo para que mude completamente da fase sólida para a líquida.
- O gráfico representa a temperatura de uma amostra de massa 100g de determinado metal, inicialmente sólido, em função da quantidade de calor por ela absorvida.



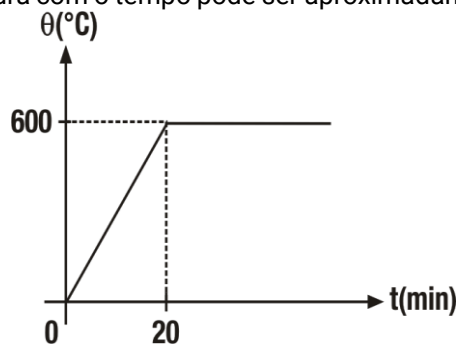
Pode-se afirmar que o calor latente de fusão desse metal, em cal/g é:

- 12
  - 10
  - 8
  - 6
  - 2
- Inicialmente em estado líquido, um corpo com massa igual a 40g é resfriado e alcança, devido ao resfriamento, o estado de solidificação. Sabendo que a quantidade de calor necessária para que ele altere completamente a sua fase é de 1200 cal, determine o calor latente do processo de solidificação desse corpo.
  - Uma massa de 2 kg de água está a 100 °C. Determine a quantidade de calor necessária para que 20 % da substância sofra mudança para o estado gasoso.  
Dado: LVAPORIZAÇÃO = 540 cal/g
    - 200.000 cal
    - 166.000 cal
    - 216.500 cal
    - 216.000 cal
    - 116.000 cal
  - (Mackenzie) Uma fonte calorífica fornece calor continuamente, à razão de 150 cal/s, a uma determinada massa de água. Se a temperatura da água aumenta de 20°C para 60°C em 4 minutos, sendo o calor específico sensível da água 1,0 cal/g°C, pode-se concluir que a massa de água aquecida, em gramas, é:
    - 500
    - 600
    - 700
    - 800
    - 900

## Exercícios de vestibulares



- Qual a quantidade de calor necessária para que uma massa de 100g de gelo a  $-20^{\circ}\text{C}$  se transforme em 50g de vapor. São dados:
  - calor específico do gelo =  $0,50\text{cal/g}^{\circ}\text{C}$ ;
  - calor específico da água =  $1,0\text{cal/g}^{\circ}\text{C}$ ;
  - calor latente de fusão do gelo =  $80\text{cal/g}$
  - calor latente de vaporização da água =  $540\text{ cal/g}$
- (Mackenzie SP) Um corpo de certo material, com 200g, ao receber 1000 cal aumenta sua temperatura  $10^{\circ}\text{C}$ . Outro corpo de 500g, constituído do mesmo material, terá capacidade térmica de:
  - $300\text{cal}/^{\circ}\text{C}$
  - $250\text{cal}/^{\circ}\text{C}$
  - $150\text{cal}/^{\circ}\text{C}$
  - $100\text{cal}/^{\circ}\text{C}$
  - $50\text{cal}/^{\circ}\text{C}$
- (UFF, 2ª Fase) Uma amostra metálica é submetida a um tratamento térmico, à pressão constante, no qual a variação da temperatura com o tempo pode ser aproximadamente representada pelo gráfico  $\theta \times t$ :



Durante todo o processo a perda de calor da amostra é desprezível e a taxa de aquecimento mantém-se constante.

Dados da amostra: massa = 30g

calor específico =  $0,20\text{cal/g}^{\circ}\text{C}$  (valor médio sob pressão constante e temperatura entre  $0^{\circ}\text{C}$  e  $600^{\circ}\text{C}$ )

calor latente de fusão =  $90\text{cal/g}$ .

Determine:

- a potência, em  $\text{cal}/\text{min}$ , fornecida pelo sistema de aquecimento à amostra;
- a fração da amostra que fundiu até o instante  $t=30\text{min}$ ;
- o instante  $t$ , a partir do qual, mantidas as condições da experiência, a temperatura da amostra voltará a subir.

4. (Enem, 2006) Uma garrafa de vidro e uma lata de alumínio, cada uma contendo 330mL de refrigerante, são mantidas em um refrigerador pelo mesmo longo período de tempo. Ao retirá-las do refrigerador com as mãos desprotegidas, tem-se a sensação de que a lata está mais fria que a garrafa. É correto afirmar que:
- a) a lata está realmente mais fria, pois a capacidade calorífica da garrafa é maior que a da lata.
  - b) a lata está de fato menos fria que a garrafa, pois o vidro possui condutividade menor que o alumínio.
  - c) a garrafa e a lata estão à mesma temperatura, possuem a mesma condutividade térmica, e a sensação deve-se à diferença nos calores específicos.
  - d) a garrafa e a lata estão à mesma temperatura, e a sensação é devida ao fato de a condutividade térmica do alumínio ser maior que a do vidro.
  - e) a garrafa e a lata estão à mesma temperatura, e a sensação é devida ao fato de a condutividade térmica do vidro ser maior que a do alumínio.

5. (Enem digital, 2020) Um fabricante de termômetros orienta em seu manual de instruções que o instrumento deve ficar três minutos em contato com o corpo para aferir a temperatura. Esses termômetros são feitos com o bulbo preenchido com mercúrio conectado a um tubo capilar de vidro.

De acordo com a termodinâmica, esse procedimento se justifica, pois é necessário que

- a) o termômetro e o corpo tenham a mesma energia interna.
  - b) a temperatura do corpo passe para o termômetro.
  - c) o equilíbrio térmico entre os corpos seja atingido.
  - d) a quantidade de calor dos corpos seja a mesma.
  - e) o calor do termômetro passe para o corpo.
6. (Enem, 2015) Às altas temperaturas de combustão e o atrito entre suas peças móveis são alguns dos fatores que provocam o aquecimento dos motores à combustão interna. Para evitar o superaquecimento e consequentes danos a esses motores, foram desenvolvidos os atuais sistemas de refrigeração, em que um fluido arrefecedor com propriedades especiais circula pelo interior do motor, absorvendo o calor que, ao passar pelo radiador, é transferido para a atmosfera.

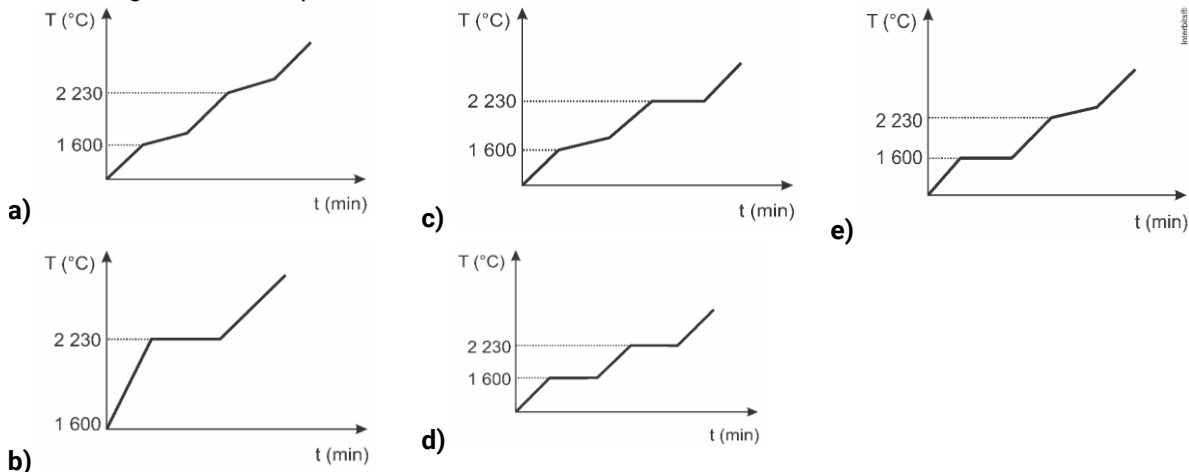
Qual propriedade o fluido arrefecedor deve possuir para cumprir seu objetivo com maior eficiência?

- a) Alto calor específico.
  - b) Alto calor latente de fusão.
  - c) Baixa condutividade térmica.
  - d) Baixa temperatura de ebulição.
  - e) Alto coeficiente de dilatação térmica.
-

7. (Enem digital, 2020) Para assegurar a boa qualidade de seu produto, uma indústria de vidro analisou um lote de óxido de silício ( $SiO_2$ ), principal componente do vidro. Para isso, submeteu uma amostra desse óxido ao aquecimento até sua completa fusão e ebulição, obtendo ao final um gráfico de temperatura  $T(^{\circ}C)$  versus tempo  $t(\text{min})$ . Após a obtenção do gráfico, o analista concluiu que a amostra encontrava-se pura.

Dados do  $SiO_2$ :  $1600^{\circ}C$ ;  $T_{\text{fusão}} = 1600^{\circ}C$ ;  $T_{\text{ebulição}} = 2230^{\circ}C$ ;

Qual foi o gráfico obtido pelo analista?



8. (Enem PPL, 2015) Sabe-se que nas proximidades dos polos do planeta Terra é comum a formação dos *icebergs*, que são grandes blocos de gelo, flutuando nas águas oceânicas. Estudos mostram que a parte de gelo que fica emersa durante a flutuação corresponde a aproximadamente 10% do seu volume total. Um estudante resolveu simular essa situação introduzindo um bloquinho de gelo no interior de um recipiente contendo água, observando a variação de seu nível desde o instante de introdução até o completo derretimento do bloquinho.

Com base nessa simulação, verifica-se que o nível da água no recipiente

- a) subirá com a introdução do bloquinho de gelo e, após o derretimento total do gelo, esse nível subirá ainda mais.
- b) subirá com a introdução do bloquinho de gelo e, após o derretimento total do gelo, esse nível descerá, voltando ao seu valor inicial.
- c) subirá com a introdução do bloquinho de gelo e, após o derretimento total do gelo, esse nível permanecerá sem alteração.
- d) não sofrerá alteração com a introdução do bloquinho de gelo, porém, após seu derretimento, o nível subirá devido a um aumento em torno de 10% no volume de água.
- e) subirá em torno de 90% do seu valor inicial com a introdução do bloquinho de gelo e, após seu derretimento, o nível descerá apenas 10% do valor inicial.

9. (Enem, 2013) Aquecedores solares usados em residências têm o objetivo de elevar a temperatura da água até  $70^{\circ}\text{C}$ . No entanto, a temperatura ideal da água para um banho é de  $30^{\circ}\text{C}$ . Por isso, deve-se misturar a água aquecida com a água à temperatura ambiente de um outro reservatório, que se encontra a  $25^{\circ}\text{C}$ .

Qual a razão entre a massa de água quente e a massa de água fria na mistura para um banho à temperatura ideal?

- a) 0,111.
  - b) 0,125.
  - c) 0,357.
  - d) 0,428.
  - e) 0,833.
10. (Uerj, 2014) Um sistema é constituído por uma pequena esfera metálica e pela água contida em um reservatório. Na tabela, estão apresentados dados das partes do sistema, antes de a esfera ser inteiramente submersa na água.

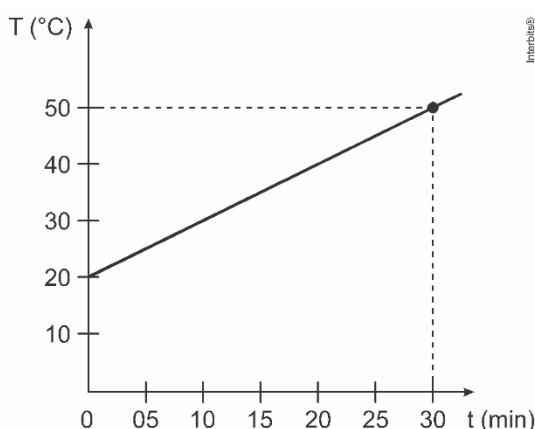
Partes do sistema	Temperatura inicial ( $^{\circ}\text{C}$ )	Capacidade térmica ( $\text{cal}/^{\circ}\text{C}$ )
esfera metálica	50	2
água do reservatório	30	2000

A temperatura final da esfera, em graus Celsius, após o equilíbrio térmico com a água do reservatório, é cerca de:

- a) 20
  - b) 30
  - c) 40
  - d) 50
  - e) 60
-



11. (Eear, 2018) Um corpo absorve calor de uma fonte a uma taxa constante de 30 cal/min e sua temperatura (T) muda em função do tempo (t) de acordo com o gráfico a seguir.



A capacidade térmica (ou calorífica), em cal/°C desse corpo, no intervalo descrito pelo gráfico, é igual a

- a) 1
- b) 3
- c) 10
- d) 30
- e) 15

12. (Enem, 2019) Em uma aula experimental de calorimetria, uma professora queimou 2,5 g de castanha-de-caju crua para aquecer 350 g de água, em um recipiente apropriado para diminuir as perdas de calor. Com base na leitura da tabela nutricional a seguir e da medida da temperatura da água, após a queima total do combustível, ela concluiu que 50% da energia disponível foi aproveitada. O calor específico da água é 1 cal/g. °C e sua temperatura inicial era de 20 °C.

Quantidade por porção de 10 g (2 castanhas)	
Valor energético	70 kcal
Carboidratos	0,8 g
Proteínas	3,5 g
Gorduras totais	3,5 g

Qual foi a temperatura da água, em grau Celsius, medida ao final do experimento?

- a) 25
- b) 27
- c) 45
- d) 50
- e) 70

13. (Enem, 2015) Uma garrafa térmica tem como função evitar a troca de calor entre o líquido nela contido e o ambiente, mantendo a temperatura de seu conteúdo constante. Uma forma de orientar os consumidores na compra de uma garrafa térmica seria criar um selo de qualidade, como se faz atualmente para informar o consumo de energia de eletrodomésticos. O selo identificaria cinco categorias e informaria a variação de temperatura do conteúdo da garrafa, depois de decorridas seis horas de seu fechamento, por meio de uma porcentagem do valor inicial da temperatura de equilíbrio do líquido na garrafa.

O quadro apresenta as categorias e os intervalos de variação percentual da temperatura.

Tipo de selo	Variação de temperatura
A	menor que 10%
B	entre 10% e 25%
C	entre 25% e 40%
D	entre 40% e 55%
E	maior que 55%

Para atribuir uma categoria a um modelo de garrafa térmica, são preparadas e misturadas, em uma garrafa, duas amostras de água, uma a  $10^{\circ}\text{C}$  e outra a  $40^{\circ}\text{C}$  na proporção de um terço de água fria para dois terços de água quente. A garrafa é fechada. Seis horas depois, abre-se a garrafa e mede-se a temperatura da água, obtendo-se  $16^{\circ}\text{C}$ .

Qual selo deveria ser posto na garrafa térmica testada?

- a) A
- b) B
- c) C
- d) D
- e) E

## Gabaritos

---

### Exercícios de fixação

1.  $Q=m.L$   
 $Q=6 \cdot 35=210 \text{ cal}$
2. **D**  
 $Q=m.L$   
 $L=Qm$   
 $L=600100=6 \text{ cal/g}$
3.  $Q=m.L$   
 $L=Qm$   
 $L=120040=30 \text{ cal/g}$
4. **D**  
 $Q=m.L$   
 $Q=400 \cdot 540=216000 \text{ cal}$
5. **E**  
Podemos calcular, utilizando a potência térmica, a quantidade de calor envolvida no processo:  
 $P=Q\Delta t$   
 $150=Q240$   
 $Q=36000 \text{ cal}$

Com isso, podemos calcular a massa usando a expressão de calor sensível:

$$Q=m.c.\Delta T$$
$$36000=m.1.60-20$$
$$m=3600040=900\text{g}$$

### Exercícios de vestibulares

1.  $Q_1 = 50 \cdot 0,5 \cdot (0 - (-20))$   
 $Q_1 = 25 \cdot 20 = 500 \text{ cal}$   
 $Q_2 = 50 \cdot 80 = 4000 \text{ cal}$   
 $Q_3 = 50 \cdot 1 \cdot (100 - 0)$   
 $Q_3 = 50 \cdot 100 = 5000 \text{ cal}$   
 $Q_4 = 50 \cdot 540 = 27000 \text{ cal}$   
 $Q_t = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4$   
 $Q_r = 500 + 4000 + 5000 + 27000 = 36500 \text{ cal}$
  2.  $Q = m \cdot c \cdot \Delta t$   
 $1000 = 200 \cdot c \cdot 10$   
 $c = \frac{1000}{2000} = 0,5 \text{ cal/g} \cdot \text{C}^\circ$   
 $C = m \cdot c = 500 \cdot 0,5 = 250 \text{ cal/g}$
-

3.  $P = \frac{m \cdot c \cdot \Delta T}{\Delta t} = \frac{30 \cdot 0,2 \cdot 600}{20} = 180 \text{ cal/min}$

$$P = \frac{m_f \cdot L}{\Delta t}$$

$$180 = \frac{m_f \cdot 90}{10}$$

$$m_f = 20 \text{ g}$$

$$\frac{m_f}{m_t} = \frac{20}{30} = \frac{2}{3}$$

$$P = \frac{m \cdot L}{\Delta t}$$

$$180 = \frac{30 \cdot 90}{t}$$

$$\Delta t = 15 \text{ min}$$

$$t = 20 + 15 = 35 \text{ min}$$

4. **D**

A garrafa e a lata estão à mesma temperatura, e a sensação é devida ao fato de a condutividade térmica do alumínio ser maior que a do vidro.

5. **C**

Para que o termômetro possa aferir a temperatura do indivíduo, é necessário que se tenha estabelecido o equilíbrio térmico entre eles, motivo pelo qual há a necessidade de três minutos de contato.

6. **A**

Da expressão do calor específico sensível:

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

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

O fluido arrefecedor deve receber calor e não sofrer superaquecimento. Para tal, de acordo com a expressão acima, o fluido deve ter alto calor específico.

7. **D**

Como se trata de uma substância pura, as temperaturas durante as mudanças de estado devem permanecer constantes. Sendo assim, o único gráfico que atende esse requisito é o da alternativa [D].

8. **C**

Ao colocar o bloquinho, o nível da água subirá pois 90% do seu volume afundará e 10% ficará imerso. Durante o derretimento do gelo há redução de volume. Esses 10% desaparecem e o nível da água no recipiente não se altera.

9. **B**

Considerando o sistema termicamente isolado, temos:

$$Q_{\text{água}1} + Q_{\text{água}2} = 0$$

$$m_{\text{quente}} \cdot c_{\text{água}} \cdot (30 - 70) + m_{\text{fria}} \cdot c_{\text{água}} \cdot (30 - 25)$$

$$\frac{m_{\text{quente}}}{m_{\text{fria}}} = \frac{5}{40} = \frac{1}{8} = 0,125$$

10. **B**

A análise dos dados dispensa cálculos. A capacidade térmica da esfera metálica é desprezível em relação à da água contida no reservatório, portanto, a temperatura da água praticamente não se altera, permanecendo em cerca de 30 °C.

Mas, comprovamos com os cálculos.

Considerando o sistema água-esfera termicamente isolado:

$$Q_{esf} + Q_{água} = 0$$

$$C_{esf} \cdot \Delta T_{esf} + C_{água} \Delta T_{água} = 0$$

$$2(T - 50) + 2000(T - 30) = 0$$

$$2002 T - 60 \cdot 100 = 0$$

$$T = \frac{60 \cdot 100}{2002} = 30,0998 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T = 30^\circ\text{C}$$

### 11. D

Para  $\Delta t = 30 \text{ min}$ , temos:

$$\Delta t = 50 - 20 = 30^\circ\text{C}$$

$$Q = 30 \cdot 30 = 900 \text{ cal}$$

Portanto:

$$C = \frac{Q}{\Delta T} = \frac{900}{30} = 30 \text{ cal}/^\circ\text{C}$$

### 12. C

Energia liberada na queima de 2,5 g de castanha-de-caju:

$$Q = 2,5 \frac{70000}{10} = 17500 \text{ cal}$$

Energia aproveitada para aquecer 350 g de água:

$$Q' = \frac{50}{100} \cdot 17500 \text{ cal} = 8750 \text{ cal}$$

Logo, a temperatura final da água foi de:

$$Q' = m \cdot c \cdot \Delta T$$

$$8750 = 350 \cdot 1 \cdot (T_f - 20)$$

$$T_f = 45^\circ\text{C}$$

### 13. D

Desprezando a capacidade térmica da garrafa, pela equação do sistema termicamente isolado calculamos a temperatura de equilíbrio ( $T_e$ ):

$$\sum Q = 0$$

$$Q_{água 1} + Q_{água 2} = 0$$

$$m_1 c (T_e - T_1) + m_2 c (T_e - T_2) = 0$$

$$\frac{m}{3} c (T_e - 10) + \frac{2m}{3} c (T_e - 40) = 0$$

$$T_e - 10 + 2 T_e - 80 = 0$$

$$T_e = 30^\circ\text{C}$$

O módulo da variação de temperatura é:

$$|\Delta T| = |16 - 30| = 14^\circ\text{C}$$

Calculando a variação percentual (x%):

$$x\% = \frac{|\Delta T|}{T_e} \cdot 100 = \frac{14}{30} \cdot 100 = 46,7\%$$

