

# Termologia

Prof. Lucas Costa  
Prof. Henrique Goulart  
*Aula 05*

## SUMÁRIO

<i>Introdução</i> .....	3
<i>1 - Conceitos iniciais</i> .....	4
1.1 - <i>Temperatura</i> .....	4
1.2 - <i>Calor</i> .....	4
1.3 - <i>Equilíbrio térmico</i> .....	5
<i>2 - Escalas termométricas</i> .....	5
2.1 - <i>As escalas absolutas</i> .....	6
2.2 - <i>Escalas relativas</i> .....	6
2.3 - <i>Escalas arbitrárias</i> .....	13
<i>3 - Propriedades térmicas dos materiais</i> .....	16
3.1 - <i>Calor específico</i> .....	16
3.2 - <i>Calor latente</i> .....	21
3.3 - <i>O equilíbrio térmico</i> .....	29
3.4 - <i>Dilatação térmica</i> .....	33
<i>4 - Processos de transferência de calor</i> .....	38
4.1 - <i>Condutores e isolantes térmicos</i> .....	39
4.2 - <i>Fluxo de calor</i> .....	42
<i>5. Lista de exercícios</i> .....	43
<i>6. Gabarito sem comentários</i> .....	47
<i>7. Lista de exercícios comentada</i> .....	48
<i>8. Considerações finais da aula</i> .....	61
<i>9. Referências bibliográficas</i> .....	62
<i>10. Versão de aula</i> .....	63



## Introdução

Além de fazer as questões do Colégio Naval, não deixe de fazer as questões das outras instituições que construirão seu conhecimento.

Caso tenha alguma dúvida entre em contato conosco através do fórum de dúvidas do Estratégia Militares, ou se preferir:



@prof.lucascosta



@profhenriquegoulart



# 1 - Conceitos iniciais

Calor e temperatura **não são a mesma coisa**. O conceito de temperatura é relativo, ou seja, dizemos se um corpo está mais quente ou mais frio que outro, e as escalas termométricas nos auxiliam nessa tarefa. Por outro lado, o calor é uma energia em trânsito, isto é, uma energia que é cedida de um corpo para outro.



É um erro afirmar que o calor sempre flui de um corpo de **maior energia** para um de menor. O calor flui de um corpo de **maior temperatura** para um de menor temperatura.

## 1.1 - Temperatura

A temperatura de um sistema é uma propriedade que nos permite dizer se dois ou mais corpos estão ou não em **equilíbrio térmico**. Ela está relacionada com o conceito termodinâmico de **energia interna**, que mede o **nível de agitação das moléculas** de um sistema.

Intuitivamente, a temperatura é relacionada com as sensações de quente e frio, além de ser uma das sete grandezas fundamentais do Sistema Internacional.

A temperatura de um corpo é mensurável, e várias foram as escalas adotadas ao longo do tempo, como a Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ ), a Fahrenheit ( $^{\circ}\text{F}$ ), a Kelvin (K), a Rankine (Ra), dentre outras.

## 1.2 - Calor

De acordo com a lei zero da termodinâmica, **calor é a energia transferida** entre dois os mais corpos em razão, exclusivamente, da **diferença de temperatura** entre eles existente.

Aluno, alternativas que afirmem que a troca de calor entre dois sistemas depende da **diferença de energia térmica** armazenada em cada um deles estão **incorretas**. Lembre-se, essa troca depende da **diferença de temperatura** entre os dois.

Como uma noção mais intuitiva calor, colocando alguns cubos de gelo em um copo com água em temperatura ambiente, vemos a água transferir calor para o gelo, aumentar a temperatura desse e até alterar o seu estado físico, que vai de sólido para líquido.

ESCLARECENDO!



Algo extensivamente cobrado é a noção de que o **calor flui do corpo quente para o mais frio**. Dessa forma, **não se pode falar que o frio flui do corpo mais de menor temperatura para o mais quente**.



Se os dois corpos envolvidos na troca térmica estiverem isolados, então, toda a energia cedida pelo corpo de maior temperatura irá se destinar ao corpo de menor temperatura.

**(2017/EAM)**

A termologia é a parte da física que estuda os fenômenos ligados à energia térmica. Dentre os conceitos relacionados aos fenômenos térmicos, marque a opção INCORRETA:

- a) Temperatura é a grandeza que mede o estado de agitação das moléculas de um corpo.
- b) Calor é a sensação que se tem quando o dia está muito quente.
- c) Fusão é a passagem do estado sólido para o estado líquido.
- d) Convecção é a principal forma de transmissão do calor através dos fluidos (líquidos e gases).
- e) Transformação isométrica é aquela que ocorre sem alteração do volume ocupado pelo gás.

**Comentários:**

a) Correta. A temperatura está relacionada ao nível médio de agitação das moléculas que compõe certo corpo.

b) Incorreta. O calor é a energia em transição, e nada se relaciona com as sensações térmicas experimentadas pelo corpo humano. Não misture dizeres cotidianos com conceitos Físicos.

c) Correta. Fusão é a passagem do estado sólido para o estado líquido, e quando ocorrida em pressão constante para uma substância pura, se dá a temperatura constante.

d) Correta. As correntes de convecção são comuns em líquidos e gases.

e) Correta. Uma transformação isovolumétrica, isométrica ou isocórica é aquela que ocorre a volume constante. Esse conceito será trabalhado na aula em que abordamos os gases ideais e a termodinâmica.

**Gabarito: “b”.**

### 1.3 - Equilíbrio térmico

Quando dois corpos estão em **equilíbrio térmico**, as suas **temperaturas são iguais**, e vice-versa. De forma mais rigorosa, podemos citar novamente a Lei Zero da termodinâmica, dessa vez em uma tradução mais fiel à originalmente proposta:

Dois corpos em equilíbrio térmico com um terceiro corpo estão em equilíbrio em equilíbrio térmico entre si.

Isso equivale a dizer que, se um bloco de metal e outro de cerâmica estiverem a uma mesma temperatura de 50 °C, podemos afirmar que eles estarão em equilíbrio com um terceiro corpo, que pode conter uma substância que varie com a temperatura de forma regular, daí surge o termômetro.

## 2 - Escalas termométricas

Um termômetro é um instrumento capaz de medir a temperatura de um sistema, e que se utiliza da lei zero da termodinâmica para fazê-lo por comparação.



Para a criação de uma escala termométrica, é necessário que sejam escolhidos pontos térmicos arbitrários, e a esses pontos sejam atribuídas temperaturas, logo, no fundo todas as escalas são arbitrárias.

Dividiremos as escalas termométricas dentre **absolutas**, **relativas** e **arbitrárias**, durante o nosso estudo, e aprenderemos a fazer as devidas conversões decorando o mínimo possível.

## 2.1 - As escalas absolutas

Teoricamente não existe uma temperatura máxima limitante, contudo, existe, de acordo com as principais teorias aceitas atualmente, uma temperatura mínima, na qual todos os movimentos atômicos cessam.

As escalas ditas absolutas partem do zero absoluto, ou seja, seu zero é propositalmente escolhido conforme o zero absoluto.



As escalas absolutas atribuem valor zero ao estado de agitação molecular mais baixo.

As escalas absolutas mais comuns são a Kelvin (K) e a Rankine (Ra). Sendo a Kelvin a mais importante e definida a partir do ponto triplo da água.

$$\theta_3 = 273,16 \text{ K}$$

**Ponto triplo da água definido em uma escala Kelvin**

Aluno, existe um detalhe que vale ser explorado, quando você tiver que escrever algum valor de temperatura em Kelvin ou Rankine, não use o símbolo do grau (~~°K~~). Escreva simplesmente K. Como 300 K, e leia “trezentos kelvins”. Isso decorre do fato de essas escalas serem absolutas, e não relativas como as escalas Celsius e Fahrenheit.

## 2.2 - Escalas relativas

A escala Celsius (antigamente chamada de escala centígrada) é a mais usada em quase todos os países do mundo que adotam o Sistema Internacional de unidades. Essa escala tem seu zero definido no ponto de congelamento da água, e o ponto de ebulição desse líquido marca 100 °C.

É importante que você se lembre que a escala Celsius se relaciona com a escala Kelvin, de forma que a variação de um grau Celsius equivale à variação de um Kelvin, ou, de forma matemática:

$$\Delta^\circ\text{C} = \Delta\text{K}$$

**A variação de 1 °C equivale à variação de 1 K**

A notação mais correta, e pouco utilizada no universo dos vestibulares, é de que a posição do símbolo de grau “°” em relação às letras “C” e “F” serve para distinguir medidas e relações de variação entre as duas escalas. Dessa forma:

$$100 \text{ }^\circ\text{C} = 212 \text{ }^\circ\text{F}$$



Significa que uma temperatura de 100 °C na escala Celsius é equivalente a uma temperatura de 212 °F na escala Fahrenheit. Por outro lado:

$$5 \text{ C}^\circ = 9 \text{ F}^\circ$$

Significa que uma variação de temperatura de 5 graus na escala Celsius equivale a uma variação de 9 graus na escala Fahrenheit. Note que o símbolo de grau foi escrito após a letra representante da escala em questão.



Alguns avaliadores escolhem a letra grega  $\theta$  (teta) para representar uma temperatura escrita em uma escala relativa, ao passo que, preferem a letra  $T$  (maiúscula) para fazer referência à temperatura em uma escala absoluta.

Como forma de simplificar, trarei as temperaturas escritas com a notação usando o  $\theta$ , porém, não se surpreenda caso encontre até um  $t$  (minúsculo) sendo usado em algumas questões.

A escala Fahrenheit é usada em países que ainda adotam o Sistema Imperial de unidades, como os EUA e alguns outros países que adotam o idioma inglês. Essa escala também tem o ponto de congelamento da água definido como 32 °F, e o de ebulição desse líquido a 212 °F.

A escala Fahrenheit se relaciona com a escala absoluta Rankine, de modo que a variação de um grau Fahrenheit equivale a variação de um Rankine.

$$\Delta^\circ\text{F} = \Delta\text{Ra}$$

**A variação de 1 °F equivale à variação de 1 Ra**

## 2.2.1 Conversões entre escalas absolutas e relativas

A conversão mais comum se dá entre a escala Kelvin e a Celsius. Sendo a variação de um grau Celsius equivalente à de um Kelvin, podemos simplesmente relacionar as duas escalas a partir do zero absoluto. Esse vale 0 K, e  $-273,15 \text{ }^\circ\text{C}$ , daí podemos escrever:

$$\theta_{\text{C}} = \theta_{\text{K}} - 273,15$$

**Conversão de Kelvin em graus Celsius**

Algumas pessoas acham mais intuitivo conhecer a relação tomando a temperatura em Kelvin como objetivo isolado:

$$\theta_{\text{K}} = \theta_{\text{C}} + 273,15$$

**Conversão de graus Celsius em Kelvin**

É bastante usual que os avaliadores, para fins de simplificação, adotem a conversão com a soma de 273, sem a parte decimal. Algo parecido acontece entre as escalas Fahrenheit e Rankine:

$$\theta_{\text{Ra}} = \theta_{\text{F}} + 459,67$$

**Conversão de graus Fahrenheit em Rankine**



## 2.2.2 Conversões entre escalas relativas

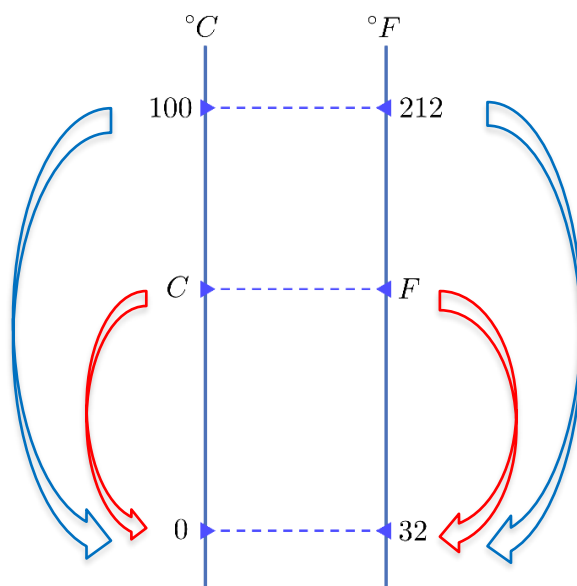
Aluno, a seguinte dedução pode ser feita para qualquer escala, conforme será mostrado posteriormente em um exemplo com uma escala arbitrária qualquer.

Peço que você preste bastante atenção à dedução a seguir, pois conhecendo esse procedimento e os pontos de relação entre quaisquer duas escalas termométricas, fica dispensado o uso de fórmulas decoradas.

A conversão mais importante se dá entre a escala Celsius e a escala Fahrenheit. Para montar a relação entre as duas, basta conhecer alguns valores de correspondência:

Temperatura	°C	°F
Ponto de fusão da água	0	32
Ponto de ebulição da água	100	212

Conhecidos os referidos pontos, monte o seguinte esquema em seu caderno:



Sabendo que os intervalos são proporcionais, podemos escrever:

$$\frac{C - 0}{100 - 0} = \frac{F - 32}{212 - 32}$$



Em cada numerador você deve escrever um dos dois intervalos proporcionais, o mesmo deve ser feito para cada denominador, ou seja,  $(C - 0)$  é proporcional a  $(F - 32)$ , assim como  $(100 - 0)$  se relaciona a  $(212 - 32)$ .



Sugiro que você marque cada um desses segmentos em seu material como forma de fixar esse conhecimento. Continuando:

$$\frac{C}{100} = \frac{F - 32}{180}$$

Efetuando a multiplicação cruzada:

$$180 \cdot C = 100 \cdot (F - 32)$$

Simplificando:

$$18 \cdot C = 10 \cdot (F - 32)$$

$$9 \cdot C = 5 \cdot (F - 32)$$

Isolando a temperatura em Celsius:

$$C = \frac{5 \cdot (F - 32)}{9}$$

**Conversão de graus Celsius em Fahrenheit**

Uma outra importante relação que podemos extrair desse mesmo desenvolvimento, é a entre as variações de um grau Celsius e um grau Fahrenheit:

$$9 \cdot C = 5 \cdot (F - 32)$$

$$\frac{C}{5} = \frac{(F - 32)}{9}$$

Ignorando a subtração, por se tratar de uma variação, podemos escrever:

$$\frac{\Delta^{\circ}C}{5} = \frac{\Delta^{\circ}F}{9}$$

**Relação entre uma variação entre graus Celsius e graus Fahrenheit**

Finalmente, podemos exercitar:

**(2018/EAM)**

Três termômetros de mercúrio são colocados num mesmo líquido e, atingido o equilíbrio térmico, o graduado na escala Celsius registra 45 °C. Os termômetros graduados nas escalas Kelvin e Fahrenheit, respectivamente, devem registrar que valores?

(A) 218 K e 113 °F

(B) 318 K e 113 °F

(C) 318 K e 223 °F

(D) 588 K e 313 °F

(E) 628 K e 423 °F

**Comentários:**

Ao atingir o equilíbrio térmico, a temperatura dos três termômetros é igual, portanto, basta converter as temperaturas de Celsius para Kelvin e de Celsius para Fahrenheit:

$$\frac{C}{5} = \frac{F - 32}{9}$$



Assim:

$$\frac{45}{5} = \frac{F - 32}{9} \Rightarrow F = \frac{45 \cdot 9}{5} + 32 = 9 \cdot 9 + 32 = 113$$

Para determinarmos a temperatura em Kelvin, a partir da temperatura em Celsius, basta acrescentarmos 273:

$$K = 45 + 273 = 318$$

**Gabarito: “b”.**

**(2016/EAM)**

Uma cidade localizada na Serra Catarinense a uma altitude de 1.450 m acima do nível do mar, durante um determinado ano, registrou  $-8,9^{\circ}\text{C}$ , a mais baixa temperatura do inverno. Essa temperatura caso tivesse sido registrada na escala Fahrenheit, seria de aproximadamente

- (A)  $2^{\circ}\text{F}$                       (B)  $8^{\circ}\text{F}$                       (C)  $16^{\circ}\text{F}$                       (D)  $22^{\circ}\text{F}$                       (E)  $38^{\circ}\text{F}$

**Comentários:**

Vamos usar novamente a relação entre Celsius e Fahrenheit:

$$\frac{T_f - 32}{9} = \frac{T_c - 0}{5}$$

Da equação acima, temos que  $T_f = 16^{\circ}\text{F}$ .

**Gabarito: “c”.**

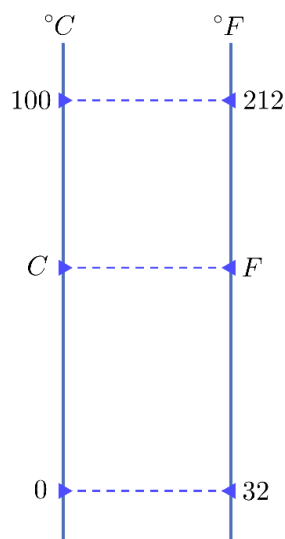
**(2015/EAM)**

Considerando as escalas termométricas Celsius, Fahrenheit e Kelvin, assinale a opção que apresenta a igualdade correta.

- a)  $0^{\circ}\text{C} = -273\text{K}$                       b)  $32^{\circ}\text{F} = 0\text{K}$                       c)  $212^{\circ}\text{F} = 100\text{K}$   
d)  $212^{\circ}\text{F} = 100\text{K}$                       e)  $273\text{K} = 32^{\circ}\text{F}$

**Comentários:**

Devemos nos lembrar da relação entre as escalas relativas:



Além disso, sabemos que a conversão de Celsius para Kelvin se dá pela adição com 273. Pelas relações das três escalas termométricas, as alternativas “a”, “b”, “c” e “d” são falsas e a alternativa “e” é verdadeira:

$$273 \text{ K} = 0 \text{ °C} = 32 \text{ °F}$$

**Gabarito: “e”.**

**(2019/INÉDITA)**

O transplante de órgãos depende de uma logística precisa para que seja bem-sucedido. A armazenagem e o transporte são de vital importância, visto que existe um tempo máximo que cada órgão é capaz de ser preservado fora do corpo do doador. Esse intervalo é função da temperatura, sendo que o coração armazenado a uma temperatura de 4,0 °C aguenta cerca de 4 horas e os rins por volta de 48 horas quando armazenados a uma temperatura de 39,2 °F.

Acerca do exposto, é incorreto afirmar que

- (A) Os órgãos devem ser transplantados no menor intervalo tempo possível para que as chances de sucesso sejam maiores.
- (B) Os rins podem ser armazenados em uma temperatura maior que o coração
- (C) Os órgãos devem ser armazenados em recipientes praticamente adiabáticos com o intuito de minimizar as trocas térmicas com o ambiente
- (D) A temperatura de armazenamento dos rins equivale a 277 K

**Comentários**

a) Correta. Quanto menos tempo trocando calor com o ambiente, melhor será a preservação do órgão.

b) Incorreta. Ao convertermos a temperatura de armazenamento dos rins para Celsius, vemos que ela é a mesma temperatura de armazenamento do coração:

$$\frac{C}{5} = \frac{F - 32}{9}$$
$$\frac{4}{5} = \frac{F - 32}{9}$$
$$F = \frac{9 \cdot 4}{5} + 32 = 39,2$$

c) Correta. Um recipiente adiabático impede a troca de calor entre o conteúdo de seu interior e o meio externo.

d) Correta. Devemos converter a temperatura de 4 °C para Kelvin:

$$K = C + 273 = 4 + 273 = 277$$

**Gabarito: “b”**



**(2019/INÉDITA)**

Um termômetro de mercúrio é graduado nas escalas Celsius e Fahrenheit. A distância entre duas marcas consecutivas (5 e 6 por exemplo) na graduação de Fahrenheit é 1 mm. A distância, em mm, entre duas marcas consecutivas na graduação Celsius é de:

- a) 0,90                      b) 1,20                      c) 1,50                      d) 1,80                      e) 2,10

**Comentários:**

Considere uma variação da temperatura medida no termômetro, independente da escala essa variação deve ter o mesmo comprimento. Seja  $n_F$  e  $n_C$  o número de marcações nas escalas Fahrenheit e Celsius, respectivamente, e  $l_F$ ,  $l_C$  os respectivos comprimentos de cada marcação.

Como os comprimentos devem ser iguais, temos:

$$n_F l_F = n_C l_C \quad (eq. 1)$$

Além disso, identificamos uma medida na escala pelo número de marcações que ela apresenta, logo esse número é proporcional a variação da temperatura em cada escala:

$$\frac{n_F}{\Delta\theta_F} = \frac{n_C}{\Delta\theta_C}$$

Substituindo (1) na equação acima, temos:

$$l_C = \frac{\Delta\theta_F}{\Delta\theta_C} l_F$$

Lembrando da relação entre as variações nessas escalas:

$$\frac{\Delta\theta_C}{5} = \frac{\Delta\theta_F}{9}$$
$$l_C = \frac{9}{5} l_F = 1,8 \text{ mm}$$

**Gabarito: “d”.**

**(2019/INÉDITA)**

Um pesquisador, ao realizar a leitura da temperatura de um determinado sistema, obteve o valor – 450. Considerando as escalas usuais (Celsius, Fahrenheit e Kelvin), podemos afirmar que o termômetro utilizado certamente não poderia estar graduado:

- A) apenas na escala Celsius.                      B) apenas na escala Fahrenheit.  
C) apenas na escala Kelvin.                      D) nas escalas Celsius e Kelvin.  
E) nas escalas Fahrenheit e Kelvin.

**Comentários:**

O 0 na escala Kelvin é o zero absoluto, a temperatura na qual todas as moléculas de uma substância estão no *estado fundamental*, **de energia mínima**, ou seja, não há temperatura menor que essa.

Obviamente o termômetro não poderia estar em Kelvin já que não existem temperaturas negativas nessa escala.



Encontraremos a temperatura mínima absoluta em graus Celsius. Usando a equação de transformação entre Kelvin e graus Celsius:

$$\theta_K = \theta_C + 273$$
$$\theta_C(\min) = -273\text{ }^\circ\text{C}$$

Logo -450 também é impossível em graus Celsius.

Encontraremos a temperatura mínima absoluta em graus Fahrenheit. Usando a equação de transformação entre Kelvin e graus Fahrenheit:

$$\frac{\theta_K - 273}{5} = \frac{\theta_F - 32}{9}$$
$$\theta_F(\min) = -459,4\text{ }^\circ\text{F (possível)}$$

**Gabarito: “d”.**

### 2.3 - Escalas arbitrárias

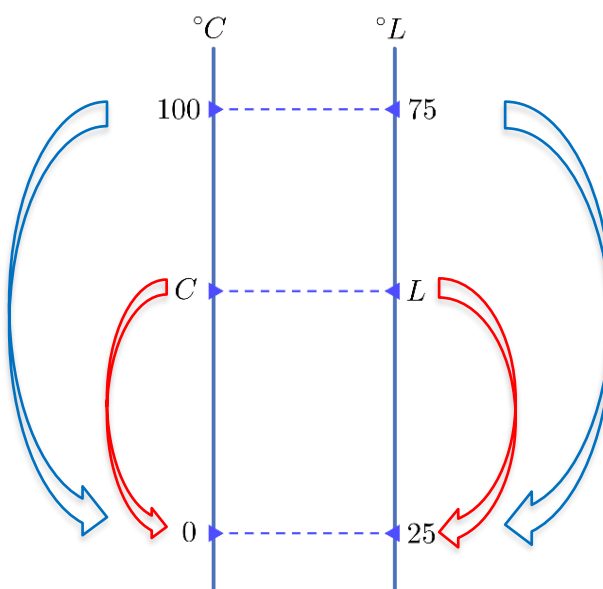
Uma escala arbitrária fornece determinados valores para dois pontos fixos. A partir desses valores podemos determinar uma relação entre essa nova escala e uma escala já conhecida, para efetuar qualquer conversão pedida.

Suponha uma escala L, na qual a temperatura de congelamento da água seja de  $25\text{ }^\circ\text{L}$ , e a de ebulição desse mesmo líquido seja de  $75\text{ }^\circ\text{L}$ . Qual será a conversão entre a escala Celsius e a escala L?

Devemos começar sempre pelos pontos de equivalência:

Temperatura	$^\circ\text{C}$	$^\circ\text{L}$
Ponto de fusão da água	0	25
Ponto de ebulição da água	100	75

Conhecidos os referidos pontos, monte o seguinte esquema em seu caderno:



Sabendo que os intervalos são proporcionais, podemos escrever:

$$\frac{C - 0}{100 - 0} = \frac{L - 25}{75 - 25}$$

$$\frac{C}{100} = \frac{L - 25}{50}$$

Podemos simplificar os dois denominadores:

$$\frac{C}{\cancel{100}} = \frac{L - 25}{\cancel{50}}$$

$$\frac{C}{2} = \frac{L - 25}{1}$$

Agora podemos efetuar a multiplicação cruzada:

$$C \cdot 1 = 2 \cdot (L - 25)$$

$$C = 2L - 50$$

Vamos exercitar:

**(2019/INÉDITA)**

Uma escala arbitrária fornece determinados valores para dois pontos fixos. A partir desses valores podemos determinar uma relação entre essa nova escala e uma escala já conhecida, para efetuar qualquer conversão pedida.

Suponha uma escala L, na qual a temperatura de congelamento da água seja de 25 °L, e a de ebulição desse mesmo líquido seja de 75 °L.

Em um dia de calor, foi registrado na Faculdade de Engenharia do campus de Guaratinguetá, a temperatura de 34 °C. Qual a equivalência desse valor em °L?

- a) 0                      b) 12                      c) 42                      d) 75                      e) 100

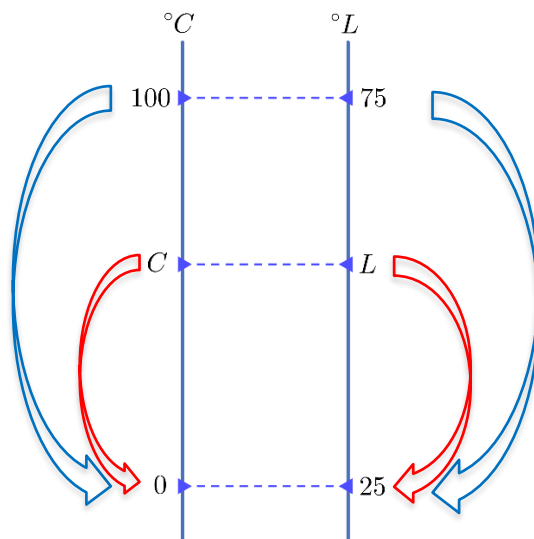
**Comentários**

Devemos começar sempre pelos pontos de equivalência:

Temperatura	°C	°L
Ponto de fusão da água	0	25
Ponto de ebulição da água	100	75

Conhecidos os referidos pontos, monte o seguinte esquema em seu caderno:





Sabendo que os intervalos são proporcionais, podemos escrever:

$$\frac{C - 0}{100 - 0} = \frac{L - 25}{75 - 25}$$
$$\frac{C}{100} = \frac{L - 25}{50}$$

Podemos simplificar os dois denominadores:

$$\frac{C}{\cancel{100}} = \frac{L - 25}{\cancel{50}}$$
$$\frac{C}{2} = \frac{L - 25}{1}$$

Agora podemos efetuar a multiplicação cruzada:

$$C \cdot 1 = 2 \cdot (L - 25)$$
$$C = 2L - 50$$
$$L = \frac{C + 50}{2} = \frac{34 + 50}{2} = \frac{84}{2} = 42 \text{ °L}$$

**Gabarito: "c".**

**(2019/INÉDITA)**

Um termopar é formado de dois metais diferentes, ligados em dois pontos de tal modo que uma pequena voltagem é produzida quando as duas junções estão em diferentes temperaturas. Num termopar específico ferro-constatam, com uma junção mantida a  $0 \text{ °C}$ , a voltagem externa varia linearmente de 0 a  $28 \text{ mV}$ , à medida que a temperatura de outra junção é elevada de  $0 \text{ °C}$  até  $510 \text{ °C}$ . Encontre a temperatura da junção variável quando o termopar gerar  $10,2 \text{ mV}$ .

- a)  $76 \text{ °C}$       b)  $86,2 \text{ °C}$       c)  $106,1 \text{ °C}$       d)  $186 \text{ °C}$       e)  $226 \text{ °C}$



### Comentários:

Segundo o enunciado a voltagem varia linearmente com a diferença das temperaturas nas junções. Usando uma simples regra de 3:

$$\begin{array}{r} 28 \text{ mV} \text{ --- --- --- } 510 \text{ }^\circ\text{C} \\ 10,2 \text{ mV} \text{ --- --- --- } \theta \\ \theta \cong 185,78 \text{ }^\circ\text{C} \end{array}$$

Gabarito: “d”.

## 3 - Propriedades térmicas dos materiais

Nesse capítulo, as propriedades térmicas dos materiais são quantificadas. Quanto de energia é necessário para levar 1 kg de gelo a  $-10 \text{ }^\circ\text{C}$  até água a  $80 \text{ }^\circ\text{C}$ ? Será possível calcular o tempo, em segundos para que isso aconteça, sabendo a potência e a eficiência de um forno de micro-ondas?

### 3.1 - Calor específico

O calor específico é uma propriedade intrínseca a uma substância e equivale à quantidade de energia necessária para **eleva**r, em **um grau Celsius, um grama** dessa substância, seja ela um sólido ou um líquido.

A água foi tomada como referência para criação da escala em **calorias**. Isso nos permite dizer que o calor específico da água vale:

$$c_{\text{água}} = 1,0 \text{ cal/g }^\circ\text{C}$$

A variação de  $1,0 \text{ }^\circ\text{C}$  equivale à variação de  $1,0 \text{ K}$

*É preciso de uma caloria para elevar um grama de água em um grau Celsius.*

Da definição de calor específico podemos retirar uma relação muito usada para relacionar a quantidade de energia necessária para variar a temperatura de uma substância. Essa relação é conhecida como a **equação fundamental da calorimetria**:

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

**Equação fundamental da calorimetria**

$$[Q] = \text{cal}$$

$$[m] = \text{g}$$

$$[c] = \text{cal}/(\text{g }^\circ\text{C})$$

$$[\Delta\theta] = \text{ }^\circ\text{C}$$

Sendo  $Q$  a quantidade de calor em calorias,  $m$  a massa em gramas,  $c$  o calor específico da substância em  $\text{cal/g }^\circ\text{C}$  e  $\Delta\theta$  a variação de temperatura em  $^\circ\text{C}$ .

*Uma variação de um grau Celsius equivale à uma variação de um Kelvin.*

As unidades não seguem o padrão do Sistema Internacional. Nesse tipo de cálculo quem dita as unidades a serem usadas é o calor específico  $c$ . Caso ele apareça, por exemplo, em  $\text{J}/\text{Kg }^\circ\text{F}$ , a energia virá em joules ( $J$ ), a massa deve entrar em quilogramas ( $\text{Kg}$ ), e a variação de temperatura em graus Fahrenheit ( $^\circ\text{F}$ ).

A conversão entre calorias e joules é feita da seguinte maneira:





$$1 \text{ cal} \cong 4,2 \text{ J}$$

### Relação entre as unidades calorias e joules

Vamos exercitar:

**(2017/EAM)**

Quantas calorias são necessárias para aquecer 500g de certa substância de 20°C a 70°C?

Dado:  $c = 0,24 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$

- a) 3000 calorias.                                                  b) 4000 calorias.                                                  c) 5000 calorias.  
d) 6000 calorias.                                                  e) 7000 calorias.

**Comentários:**

$$Q = 500 \text{ g} \cdot 0,24 \text{ cal/g}^\circ\text{C} \cdot 50^\circ\text{C} = 6000 \text{ calorias}$$

**Gabarito: “d”.**

**(2016/EAM)**

A termologia é a parte da Física que estuda os fenômenos determinados por energia térmica, que é a forma de energia relacionada à agitação das partículas de um corpo. Com relação á termologia, analise as afirmativas abaixo.

- I - Quanto maior a energia cinética média das partículas, menor a temperatura do corpo.  
II - Para que haja transferência de calor entre dois corpos, eles devem estar a temperaturas diferentes.  
III - Quanto maior o calor específico de um material, menor a quantidade de calor necessária para o material ser aquecido até determinada temperatura.  
IV - No Sistema Internacional de Unidades, a quantidade de calor transferida de um corpo para outro é medida em joules. Assinale a opção correta.
- (A) Apenas a afirmativa I é verdadeira.  
(B) Apenas as afirmativas I, II e III são verdadeiras.  
(C) Apenas as afirmativas I e III são verdadeiras.  
(D) Apenas as afirmativas II e IV são verdadeiras.  
(E) Apenas as afirmativas I, III e IV são verdadeiras.

**Comentários:**

- I – Falso. Quanto maior a energia cinética média das partículas, MAIOR a temperatura do corpo.  
II – Verdadeiro.  
III – Falso. Quanto maior o calor específico de um material, MAIOR a quantidade de calor necessária para o material ser aquecido até determinada temperatura.  
IV – Verdadeiro.

**Gabarito: “d”.**



**(2019/INÉDITA)**

Um conjunto de resistores elétricos é capaz de elevar a temperatura da água de uma caixa d'água de  $5,0 \text{ m}^3$  de  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  para  $55 \text{ }^\circ\text{C}$ . Quanta energia foi consumida para produzir tal aquecimento? Adote que a densidade da água seja de  $1,0 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$  e o seu calor específico de  $4,0 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{ }^\circ\text{C})$ .

- a)  $0,60 \text{ MJ}$       b)  $6,0 \text{ MJ}$       c)  $60 \text{ MJ}$       d)  $600 \text{ MJ}$

**Comentários**

A energia relacionada ao aumento de temperatura da água pode ser calculada pela equação fundamental da calorimetria:

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

Se a caixa d'água possui volume de  $5,0 \text{ m}^3$ , podemos usar a sua massa específica para determinarmos a massa de água:

$$m = \mu \cdot V = 1,0 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 5,0 \text{ m}^3 = 5,0 \cdot 10^3 \text{ kg}$$

Portanto, a energia será de:

$$E = 5,0 \cdot 10^3 \cdot 4,0 \cdot 10^3 \cdot 30$$

$$E = 600 \cdot 10^6 \text{ J}$$

$$E = 600 \text{ MJ}$$

**Gabarito: "d"**

**3.1.1 Capacidade térmica**

A capacidade térmica  $C$ , também chamada de capacidade calorífica, de um corpo se dá pela razão entre a quantidade de calor que ele recebe ou fornece, e a correspondente variação de temperatura que lhe ocorre.

$$C = \frac{Q}{\Delta\theta}$$

**Capacidade térmica de um corpo**

$$[C] = \text{cal}/^\circ\text{C}$$

$$[Q] = \text{cal}$$

$$[\Delta\theta] = ^\circ\text{C}$$

Uma outra forma, mais prática, de se trabalhar com a capacidade térmica é pelo produto entre a massa e o calor específico de um corpo, veja o que acontece quando substituímos a equação fundamental da calorimetria na definição da capacidade térmica:

$$C = \frac{Q}{\Delta\theta} = \frac{m \cdot c \cdot \Delta\theta}{\Delta\theta} = \frac{m \cdot c \cdot \cancel{\Delta\theta}}{\cancel{\Delta\theta}} = \frac{m \cdot c}{1}$$

Portanto, a capacidade térmica de um corpo também pode ser calculada por:



$$C = m \cdot c$$

Capacidade térmica de um corpo  
em função do calor específico

$$[C] = \text{cal}/^{\circ}\text{C}$$

$$[m] = \text{kg}$$

$$[c] = \text{cal}/(\text{g } ^{\circ}\text{C})$$



Cuidado com as notações usadas. A capacidade térmica é escrita como um “**C**” maiúsculo, e o calor específico como um “**c**” minúsculo. Ainda é importante frisar que a capacidade térmica é equivalente ao calor específico multiplicado pela massa do corpo.

**c**

• Calor específico

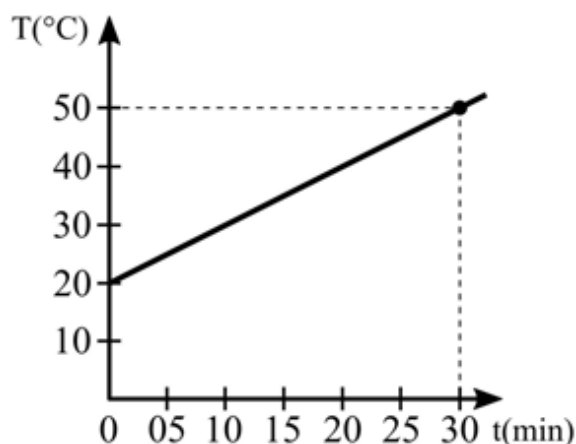
**C**

• Capacidade térmica

Vamos praticar:

(2018/EEAR)

Um corpo absorve calor de uma fonte a uma taxa constante de  $30 \text{ cal}/\text{min}$  e sua temperatura ( $T$ ) muda em função do tempo ( $t$ ) de acordo com o gráfico a seguir. A capacidade térmica (ou calorífica), em  $\text{cal}/^{\circ}\text{C}$ , desse corpo, no intervalo descrito pelo gráfico, é igual a



a) 1

b) 3

c) 10

d) 30



## Comentários

Do gráfico podemos inferir que, decorrido um intervalo de 30 minutos, o corpo teve a sua temperatura aumentada de 20 °C para 50 °C, o que significa uma variação de 30 °C.

Sendo a taxa de absorção de calor igual a 30 *cal/min*, podemos montar uma regra de 3 para determinarmos o quantas calorias o corpo absorveu em 30 minutos.

$$\begin{array}{ccc} 30 \text{ cal} & \text{—————} & 1 \text{ minuto} \\ Q & \text{—————} & 30 \text{ minutos} \end{array}$$

Como as grandezas são diretamente proporcionais, podemos efetuar a multiplicação cruzada dos valores:

$$Q \cdot 1 = 30 \cdot 30$$

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

Agora podemos usar a equação fundamental da calorimetria para determinar a capacidade térmica do corpo:

$Q = m \cdot c \cdot \Delta\theta$		Equação fundamental da calorimetria	
$[Q] = \text{cal}$	$[m] = \text{g}$	$[c] = \text{cal}/(\text{g } ^\circ\text{C})$	$[\Delta\theta] = ^\circ\text{C}$

Podemos trocar o produto entre a massa e o calor específico do corpo pela capacidade térmica nessa equação:

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

$$Q = C \cdot \Delta\theta$$

Invertendo essa equação:

$$C \cdot \Delta\theta = Q$$

Isolando a capacidade térmica, encontramos a sua definição:

$$C = \frac{Q}{\Delta\theta}$$

Agora podemos substituir os valores inferidos e calculados:

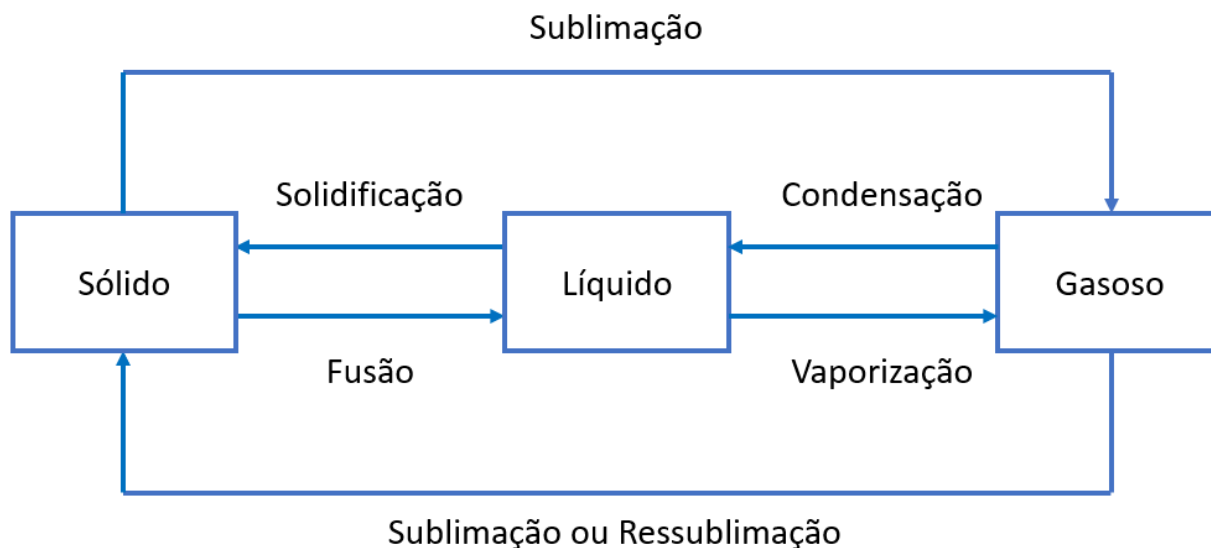
$$C = \frac{900}{30} = \frac{\cancel{900}}{\cancel{30}} = \frac{90}{3} = 30 \text{ cal}/^\circ\text{C}$$

**Gabarito: “d”**



## 3.2 - Calor latente

O **calor latente** está relacionado às **mudanças de estado físico**. A matéria, para fins de vestibular, se apresenta em três estados: **sólido, líquido e gasoso**. As mudanças de fase ganham nomes específicos conforme o estado anterior e posterior à transformação.



A fase de uma substância está relacionada a sua **temperatura** e a sua **pressão**. Mantendo-se a pressão constante, uma maior temperatura se relaciona a uma maior agitação das moléculas, o que faz com que a substância passe de um estado sólido para o líquido e, com o contínuo aumento de sua temperatura, para o estado gasoso.

**(2016/EAM)**

Considere os fenômenos cotidianos apresentados a seguir: I - Uma bolinha de naftalina esquecida no guarda-roupas, II - Um pote contendo água colocado no congelador, III - Uma toalha molhada estendida no varal, IV - O derretimento de uma bola de sorvete. Supondo que cada caso seja observado por tempo o bastante para que todos evidenciem alterações na matéria, marque a opção que relaciona corretamente o fenômeno ao nome da mudança de estado físico.

- (A) I - Evaporação; II - Solidificação; III - Fusão; IV - Sublimação.  
(B) I - Sublimação; II - Congelamento; III - Evaporação; IV - Liquefação.  
(C) I - Fusão; II - Sublimação; III - Evaporação; - IV - Solidificação.  
(D) I - Sublimação; II - Solidificação; i Evaporação; IV - Fusão.  
(E) I - Evaporação; II - Sublimação; III - Fusão; IV – Solidificação.

**Comentários:**

- I – Naftalina sofre o processo de sublimação;
- II – Congelar a água;
- III – Secar a roupa é evaporação;
- IV – Derretimento é uma liquefação;

**Gabarito: “b”.**



(2015/EAM)

Considere uma certa quantidade de água, inicialmente no estado sólido. Aquecendo gradativamente de forma homogênea toda essa quantidade de água, ela passa para o estado líquido e, mantendo-se o mesmo regime de aquecimento, a mesma passa do estado líquido para o gasoso. Sobre as propriedades da água nos referidos estados físicos e sobre os processos de mudança de estado físico pode-se afirmar que:

- a) o processo de mudança do estado sólido para o estado líquido chama-se fusão.
- b) o processo de mudança do sólido para o estado líquido chama-se liquefação.
- c) a densidade da água no estado sólido é maior que no estado líquido.
- d) o processo de mudança do estado líquido para o estado gasoso chama-se condensação.
- e) no processo de mudança do estado sólido para o estado líquido, a água perde calor.

### Comentários:

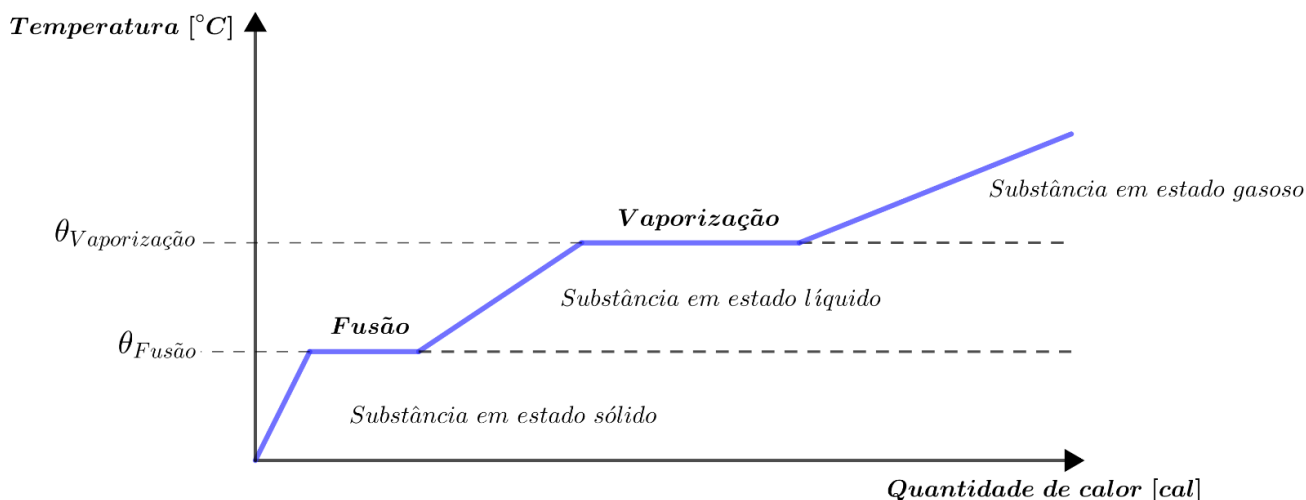
Conhecendo as principais mudanças de estados físicos, temos que as alternativas “b” e “d” estão incorretas. Como as forças de interação no líquido são mais fracas do que nos sólidos, há uma redução das forças interativas o que ocorre devido à absorção de calor. Com isso, a alternativa “e” está errada. Por um conhecimento prévio de que o gelo boia quando num copo de água, sabemos que a sua densidade é menor do que a da água. Por esse motivo, a alternativa “c” está incorreta.

Finalmente, o gabarito só pode ser a alternativa “a”. Isso pode ser inferido a partir da tabela de mudanças de estados físicos.

**Gabarito: “a”.**

Caso uma certa massa de uma **substância pura receba um aporte contínuo de energia**, a sua **temperatura irá aumentar linearmente**, até que um ponto de mudança de estado físico seja atingido, então, a temperatura permanecerá constante até que toda a massa mude o seu estado físico.

Para uma substância pura, a curva de aquecimento, que relaciona a temperatura e a quantidade de calor a ela fornecida, tem dois estágios caracterizados por retas constantes. Nesses estágios ocorrem a fusão e a vaporização, sendo que no primeiro, a uma temperatura menor, ocorre a fusão, e no segundo, a uma temperatura maior, ocorre a vaporização.



As principais características dos três estados da matéria são:

## Sólido

- Moléculas coesas
- Volume e forma definidos
- Incompressível

## Líquido

- Moléculas não tão coesas
- Volume definido, forma não
- Incompressível

## Gasoso

- Forças de coesão desprezíveis
- Volume e forma indefinidos
- Compressível

Os estágios na qual a temperatura da substância varia são regidos pela equação fundamental da calorimetria, por isso, se comportam como retas.

Nos estágios de vaporização não existe dependência com a variação de temperatura, visto que as transformações devem ocorrer, para substâncias puras, a temperaturas constantes.

A lei que rege a quantidade de energia necessária para uma mudança de estado físico é a que relaciona a quantidade de calor latente, na qual  $Q$  é a quantidade de calor,  $m$  é a massa do corpo e  $L$  é o calor latente da transformação.

$$Q = m \cdot L$$

**Quantidade de calor latente para uma mudança de estado físico**

$$[Q] = \text{cal}$$

$$[m] = \text{g}$$

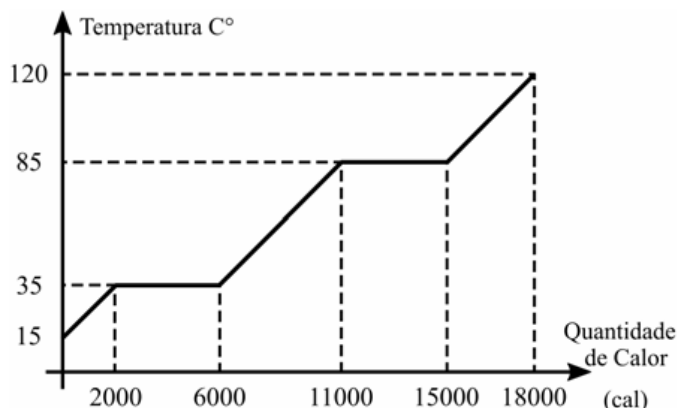
$$[L] = \text{cal/g}$$

Assim como na equação fundamental da calorimetria, as unidades mais comumente usadas não são as oficiais do Sistema Internacional. Nesse caso, elas devem respeitar às unidades usadas para o calor latente  $L$ .

Vamos exercitar:

**(2019/EEAR)**

A figura a seguir mostra a curva de aquecimento de uma amostra de 200g de uma substância hipotética, inicialmente a 15°C, no estado sólido, em função da quantidade de calor que esta recebe.



Determine o valor aproximado do calor latente de vaporização da substância, em cal/g.

a) 10

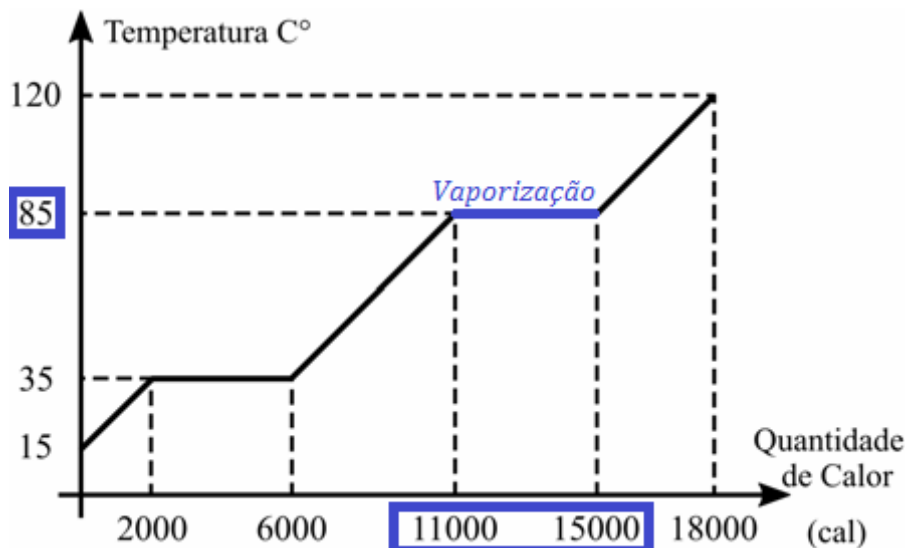
b) 20

c) 30

d) 40

### Comentários

A vaporização ocorre durante a segunda reta constante do gráfico, caracterizando o estágio em que toda a substância deve deixar de ser líquida e tornar-se gasosa.



Essa transformação ocorre, para a substância hipotética, a 85 °C, e a quantidade de calor envolvida se dá pela diferença entre calor antes e depois da transformação:

$$Q_{\text{vaporização}} = 15000 - 11000$$

$$Q_{\text{vaporização}} = 4000 \text{ cal}$$

De posse da quantidade de calor envolvido na transformação, e da massa da substância, podemos determinar o calor latente de vaporização:

$$Q = m \cdot L$$

Quantidade de calor latente para uma mudança de estado físico

Substituindo as informações obtidas:

$$4000 = 200 \cdot L$$

Invertendo:

$$200 \cdot L = 4000$$

$$L = \frac{4000}{200}$$

$$L = \frac{\cancel{4000}}{\cancel{200}} = \frac{40}{2} = 20 \text{ cal/g}$$

**Gabarito: "b".**





### 3.2.1 O efeito da pressão nas mudanças de fase

Mantendo-se a temperatura constante, uma diminuição da pressão dá mais liberdade às moléculas da substância, haja visto que a pressão dos gases atmosféricos força as moléculas que compõem a substância a ficarem unidas. Dessa forma, ela tenderá a tornar-se líquida e, posteriormente, gasosa.

Caso um astronauta sofra uma descompressão em pleno vácuo espacial, causada por um rasgo em seu traje, ele será exposto a um ambiente de vácuo absoluto, o que fará com que todos os seus fluidos corporais rapidamente se tornem gases.

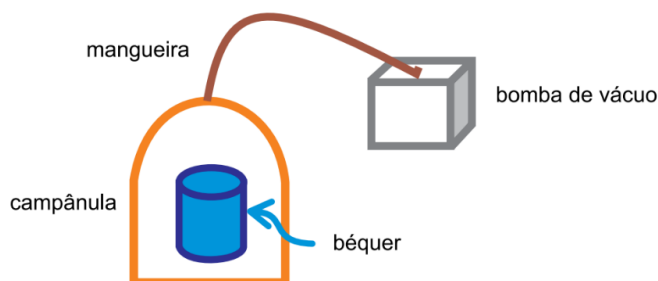
Os alimentos liofilizados são expostos a baixas temperaturas e baixas pressões, o que faz com que as moléculas de água sublimem e a massa do alimento restante seja composta de nutrientes, o que os torna perfeitos para pessoas que fazem trilhas, por exemplo.

Por outro lado, em altas pressões, mantendo-se a temperatura constante, é mais difícil de se vaporizar uma substância, que tende a ficar em estados mais condensados da matéria, como sólido e líquido.

Esses conceitos costumam ser explorados, sobretudo, em questões teóricas.

**(2018/FGV)**

A figura representa uma montagem experimental em que um béquer, contendo água à temperatura ambiente, é colocado no interior de uma campânula de vidro transparente, dotada de um orifício em sua cúpula, por onde passa uma mangueira ligada a uma bomba de vácuo. A bomba é ligada, e o ar vai sendo, gradualmente, retirado do interior da campânula.



Observa-se que, a partir de determinado instante,

- (A) a água entra em ebulição, propiciada pela diminuição da pressão.
- (B) a água entra em ebulição, favorecida pela máxima pressão de saturação.
- (C) ocorre a formação de gelo, propiciada pela diminuição da pressão.
- (D) ocorre a formação de gelo, favorecida pela máxima pressão de saturação.
- (E) é atingido o ponto triplo, favorecido pela máxima pressão de saturação.

#### Comentários

À medida que o ar é retirado de dentro da campânula, a pressão se reduz. Uma menor pressão significa uma menor resistência para as moléculas de água dentro do béquer, com isso, elas tem maior facilidade para se desprender, o que resulta em uma menor temperatura de vaporização do líquido.

**Gabarito: “a”**



### 3.2.2 A potência e o rendimento

O conceito de potência já foi explorado durante a aula referente à energia. Trazendo esse conceito, alterando o trabalho por um termo mais genérico, como a energia  $Q$ , temos:

$Pot = \frac{Q}{\Delta t}$	<b>Potência</b>	
$[Pot] = \frac{J}{s} = Watt$	$[Energia] = J$	$[\Delta t] = s$

Para a termologia esse conceito é o mesmo, e pode ser aplicado, por exemplo, para um forno de micro-ondas. Nas especificações de cada aparelho elétrico é possível descobrir a sua potência nominal, ou seja, quanta energia ele é capaz de retirar da rede a cada segundo.

O rendimento  $\mu$  de uma máquina térmica é dado pela razão entre a sua potência útil, ou seja, energia que ele realmente usa, e o quanto lhe é fornecido, a potência total, ou nominal.

$\mu = \frac{Pot_{\text{útil}}}{Pot_{\text{total}}}$	<b>Rendimento de uma máquina térmica</b>
------------------------------------------------------	------------------------------------------

Vamos praticar:

**(2019/INÉDITA)**

Um fogão que usa energia solar é capaz de aquecer a água colocada em uma panela. Se uma massa de  $2,0\text{ kg}$  de água, cujo calor específico é de  $1,0\text{ cal/g}^\circ\text{C}$ , sofre uma variação de  $20^\circ\text{C}$  em 12 minutos, a potência média do fogão solar é, aproximadamente, de



Obs: Despreze as perdas energéticas.

- a) 55 W                      b) 120 W                      c) 170 W                      d) 220 W

#### Comentários

A quantidade de calor necessária para o aquecimento da água é de:

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

$$Q = 2,0 \cdot 10^3 \cdot 1 \cdot 20 = 40 \cdot 10^3\text{ cal}$$

Em Joules, essa energia é de:



$$Q = 4 \cdot 40 \cdot 10^3 = 160 \cdot 10^3 J$$

Sendo o calor a energia em transição, podemos escrever:

$$Pot = \frac{E}{\Delta t} = \frac{160 \cdot 10^3 J}{12 \cdot 60 s} = 220 W$$

**Gabarito: “d”**

**(2019/INÉDITA)**

Supondo um micro-ondas com uma potência nominal de 1500 W, e uma eficiência de 88%, quanto tempo, em segundos, é necessário para aquecer 1,0 kg de gelo a  $-10\text{ }^\circ\text{C}$  até água a  $80\text{ }^\circ\text{C}$ ? Adote que  $1\text{ cal} \cong 4\text{ J}$ .

Dados

O calor sensível da água  $c_{\text{água}} = 1,0\text{ cal/g}^\circ\text{C}$

O calor sensível do gelo  $c_{\text{gelo}} = 0,5\text{ cal/g}^\circ\text{C}$

O calor latente de fusão do gelo em água  $L_{\text{fusão}} = 80\text{ cal/g}$

**Comentários**

Vamos começar calculando a potência útil, que representa o quanto de energia é efetivamente fornecida pelo micro-ondas a água, para que ela se aqueça:

$$\mu = \frac{Pot_{\text{útil}}}{Pot_{\text{total}}}$$

Rendimento de uma máquina térmica

Isolando a potência útil:

$$\mu \cdot Pot_{\text{total}} = Pot_{\text{útil}}$$

Invertendo:

$$Pot_{\text{útil}} = \mu \cdot Pot_{\text{total}}$$

$$Pot_{\text{útil}} = 88\% \cdot 1500 = \frac{88}{100} \cdot 1500$$

$$Pot_{\text{útil}} = \frac{88}{100} \cdot \cancel{1500} = 88 \cdot 15 = 1320 W$$

Agora devemos calcular o quanto de energia será necessário, note que faremos três cálculos: para aquecer a o gelo de  $-10\text{ }^\circ\text{C}$  a  $0\text{ }^\circ\text{C}$ , fazer a transformação do seu estado físico, e aquecer a água de  $0\text{ }^\circ\text{C}$  a  $80\text{ }^\circ\text{C}$ :

$$Q_{\text{total}} = Q_{\text{aquecimento gelo}} + Q_{\text{fusão}} + Q_{\text{aquecimento água}}$$



Quando tratarmos de uma alteração na temperatura usaremos a equação fundamental da termologia, ao passo que, ao abordarmos uma mudança de estado físico, usaremos a equação do calor latente:

$$Q_{total} = m_{gelo} \cdot c_{gelo} \cdot \Delta\theta_{gelo} + m_{gelo} \cdot L_{fusão} + m_{água} \cdot c_{água} \cdot \Delta\theta_{água}$$

A massa de gelo e de água é a mesma, pois não ocorre alterações de massa durante uma transformação da matéria. Devemos converter essa grandeza para substituição na equação:

$$m = 1,0 \text{ kg} = 1,0 \cdot 10^3 \text{ g}$$

Substituindo os valores fornecidos:

$$Q_{total} = 1 \cdot 10^3 \cdot 0,5 \cdot 10 + 1 \cdot 10^3 \cdot 80 + 1 \cdot 10^3 \cdot 1 \cdot 80$$

$$Q_{total} = 1 \cdot 10^3 \cdot 0,5 \cdot 10 + 1 \cdot 10^3 \cdot 80 + 1 \cdot 10^3 \cdot 1 \cdot 80$$

$$Q_{total} = 5 \cdot 10^3 + 80 \cdot 10^3 + 80 \cdot 10^3 = 165 \cdot 10^3 \text{ cal}$$

De posse da energia total necessária, e da energia fornecida a cada segundo, podemos usar a definição da potência para determinarmos o tempo pedido:

$$Pot = Q/\Delta t$$

Potência

Isolando o tempo nessa relação:

$$\Delta t = \frac{Q}{Pot}$$

Antes de substituirmos os valores fornecidos precisamos fazer uma última conversão de unidades. Temos a energia total em calorias, porém, temos a potência em joules por segundo. Daí:

$$Q = 165 \cdot 10^3 \text{ cal} = 165 \cdot 4 \cdot 10^3 \text{ J}$$

Finalmente:

$$\Delta t = \frac{165 \cdot 4 \cdot 10^3}{1280} = \frac{660 \cdot 10^3}{1280} = \frac{660 \cdot 10^3}{1280}$$

$$\Delta t = \frac{1 \cdot 10^3}{2} = \frac{1000}{2} = 500 \text{ s}$$

E esse intervalo de tempo equivale a 8 minutos e 20 segundos. Aproximadamente o tempo para preparar uma lasanha de micro-ondas.

**Gabarito: 500 segundos.**

(2019/INÉDITA)

A depilação a laser é um procedimento para eliminação dos pelos que tem ganhando popularidade na indústria da beleza e no meio artístico.



Considere que o laser age nas camadas mais internas da pele, promovendo uma lesão térmica que queima a raiz do pelo.

Se um determinado laser gasta 12 segundos na remoção de 20 raízes, qual a potência útil, em  $mW$  desse equipamento?

- a) 08      b) 11      c) 13      d) 16      e) 34

Note e adote:

Considere que  $1,0 \text{ cal} \cong 4,2 \text{ J}$

As raízes possuem massa  $m = 1,0 \cdot 10^{-10} \text{ kg}$ , calor específico  $c = 1500 \text{ cal/g } ^\circ\text{C}$  e precisam sofrer uma variação de  $15 \text{ }^\circ\text{C}$  para ser eliminadas.

### Comentários

Se 20 raízes foram removidas, podemos usar a equação fundamental da calorimetria para determinarmos a energia total envolvida:

$Q = m \cdot c \cdot \Delta\theta$		Equação fundamental da calorimetria	
$[Q] = \text{cal}$	$[m] = \text{g}$	$[c] = \text{cal}/(\text{g} \cdot ^\circ\text{C})$	$[\Delta\theta] = ^\circ\text{C}$

Para o caso:

$$Q = 20 \cdot 1,0 \cdot 10^{-10} \cdot 10^3 \cdot 1500 \cdot 15$$

$$Q = 20 \cdot 10^1 \cdot 10^{-10} \cdot 10^3 \cdot 15 \cdot 10^2 \cdot 15$$

$$Q = 2 \cdot 15 \cdot 15 \cdot 10^{-4} = 450 \cdot 10^{-4}$$

$$Q = 4,5 \cdot 10^{-2} \text{ cal} = 45 \cdot 10^{-3} \text{ cal}$$

$$Q = 45 \text{ mcal} = 189 \text{ mJ}$$

$$Q \cong 190 \text{ mJ}$$

Pela definição de potência:

$$Pot = \frac{E}{\Delta t}$$

$$Pot = \frac{190}{12} \cong 16 \text{ mW}$$

**Gabarito: "d".**

## 3.3 - O equilíbrio térmico

A energia sempre flui, na forma de calor, de um corpo de maior temperatura, para outro de menor temperatura. Ao misturar um litro de leite a  $10 \text{ }^\circ\text{C}$  com dois litros de café a  $80 \text{ }^\circ\text{C}$ , supondo



não haver perdas energéticas para o ambiente, qual a temperatura do sistema, atingido o equilíbrio térmico?

Desprezando as perdas térmicas podemos assumir que toda a energia cedida pelo corpo mais quente será absorvida pelo corpo mais frio, dessa forma, podemos escrever que:

$$Q_{cedido} = Q_{recebido}$$

**Transferência de calor em um sistema isolado**

**(2015/EAM)**

Analise as afirmativas abaixo referentes aos conceitos de temperatura e calor.

I- Calor é a medida de agitação molecular.

II- Calor é uma forma de energia.

III- Dois corpos estão em equilíbrio térmico quando estão à mesma temperatura.

Assinale a opção correta

a) Apenas a afirmativa I é verdadeira.

b) Apenas a afirmativa III é verdadeira.

c) Apenas a afirmativa II é verdadeira.

d) Apenas as afirmativas II e III são verdadeiras.

e) Apenas as afirmativas I e III são verdadeiras.

**Comentários:**

Vamos analisar cada uma das afirmativas:

I - Falso. A temperatura é definida como a medida do grau de agitação e o calor é definido como a energia térmica em trânsito.

II - Verdadeiro. O calor é uma forma de energia.

III - Verdadeiro. Quando as temperaturas se igualam não há mais a troca de calor entre os corpos.

**Gabarito: “d”.**

Para fins de resolução de questões, existe uma maneira mais eficiente de escrevermos essa expressão:

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

**Transferência de calor em um sistema isolado**

Achou estranha uma soma ao invés de uma subtração? Decorre do fato de que o calor recebido e o cedido precisam ter sinais opostos, ou seja, quando somados resultam em zero.

Existem diversas formas de escrever essa relação, porém, essa maneira funciona em quase todas as questões propostas. Acompanhe:

$$Q_{cedido \text{ pelo café}} + Q_{recebido \text{ pelo leite}} = 0$$

Sendo essa uma variação de energia, devemos utilizar a equação fundamental da termologia:



$$m_{\text{café}} \cdot c_{\text{café}} \cdot \Delta\theta_{\text{café}} + m_{\text{leite}} \cdot c_{\text{leite}} \cdot \Delta\theta_{\text{leite}} = 0$$

Nesse tipo de questão os avaliadores adoram misturar os mais diversos tipos de bebidas, contudo, quase sempre, trabalharemos considerando todas essas como água. Isso significa que a massa específica será igual a  $1,0 \text{ g/cm}^3$ , o que equivale a  $1,0 \text{ kg/l}$ , e o calor específico igual a  $1,0 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$ .

Dessa forma, um litro de leite, para efeitos de resolução da questão, equivale a  $1,0 \text{ kg}$  de água, e  $2,0$  litros de café a  $2,0 \text{ kg}$  de água. Sabendo que  $1 \text{ kg} = 1 \cdot 10^3 \text{ g}$ , podemos substituir os valores na nossa relação:

$$2 \cdot 10^3 \cdot 1,0 \cdot \Delta\theta_{\text{café}} + 1 \cdot 10^3 \cdot 1,0 \cdot \Delta\theta_{\text{leite}} = 0$$

ESCLARECENDO!



A grande sacada nesse tipo de questão reside na variação de temperatura: a definição de variação de algo é o estado final subtraído do estado inicial.

Não sabemos a temperatura final de equilíbrio, porém sabemos a temperatura inicial de cada um dos fluidos. Basta substituímos a informação da seguinte forma:

$$2 \cdot 10^3 \cdot 1,0 \cdot (\theta_{\text{equilíbrio}} - \theta_{\text{inicial café}}) + 1 \cdot 10^3 \cdot 1,0 \cdot (\theta_{\text{equilíbrio}} - \theta_{\text{inicial leite}}) = 0$$

$$2 \cdot 10^3 \cdot 1,0 \cdot (\theta_{\text{equilíbrio}} - 80) + 1 \cdot 10^3 \cdot 1,0 \cdot (\theta_{\text{equilíbrio}} - 10) = 0$$

Agora precisamos desenvolver a expressão:

$$2 \cdot 10^3 \cdot (\theta_{\text{equilíbrio}} - 80) + 1 \cdot 10^3 \cdot (\theta_{\text{equilíbrio}} - 10) = 0$$

$$2 \cdot 10^3 \cdot \theta_{\text{equilíbrio}} - 2 \cdot 10^3 \cdot 80 + 1 \cdot 10^3 \cdot \theta_{\text{equilíbrio}} - 1 \cdot 10^3 \cdot 10 = 0$$

$$2 \cdot 10^3 \cdot \theta_{\text{equilíbrio}} - 160 \cdot 10^3 + 1 \cdot 10^3 \cdot \theta_{\text{equilíbrio}} - 10 \cdot 10^3 = 0$$

$$3 \cdot 10^3 \cdot \theta_{\text{equilíbrio}} - 170 \cdot 10^3 = 0$$

Como todos os termos possuem o  $10^3$ , podemos efetuar a sua simplificação. Pense como se cada um dos termos fosse dividido por  $10^3$ , e lembre-se que  $0$  dividido por qualquer valor, diferente de zero, é o próprio zero.

$$\frac{3 \cdot 10^3 \cdot \theta_{\text{equilíbrio}}}{10^3} - \frac{170 \cdot 10^3}{10^3} = \frac{0}{10^3}$$

$$\frac{3 \cdot \cancel{10^3} \cdot \theta_{\text{equilíbrio}}}{\cancel{10^3}} - \frac{170 \cdot \cancel{10^3}}{\cancel{10^3}} = \frac{0}{10^3}$$



$$3 \cdot \theta_{\text{equilíbrio}} - 170 = 0$$

$$3 \cdot \theta_{\text{equilíbrio}} = 170$$

$$\theta_{\text{equilíbrio}} = \frac{170}{3} \cong 57 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Sempre interprete o valor encontrado: ele se encontra acima do valor de temperatura do fluido mais frio da mistura, e abaixo do valor de temperatura do fluido mais quente?

Como  $10 \text{ } ^\circ\text{C} < 57 \text{ } ^\circ\text{C} < 80 \text{ } ^\circ\text{C}$ , temos que a resposta é condizente com o esperado, e representa o valor da temperatura final de equilíbrio do sistema.

### (2019/INÉDITA)

Em um grande recipiente, de capacidade térmica de  $50 \text{ cal}/^\circ\text{C}$ , são colocados  $200 \text{ g}$  de água à temperatura ambiente, de  $25 \text{ } ^\circ\text{C}$  e uma pedra de gelo de  $650 \text{ g}$ , à temperatura de  $-10 \text{ } ^\circ\text{C}$ . Após o equilíbrio térmico,

- (A) todo o gelo derreteu e a temperatura de equilíbrio é  $7 \text{ } ^\circ\text{C}$ .
- (B) todo o gelo derreteu e a temperatura de equilíbrio é  $0 \text{ } ^\circ\text{C}$ .
- (C) todo o gelo derreteu e a temperatura de equilíbrio é  $20 \text{ } ^\circ\text{C}$ .
- (D) nem todo o gelo derreteu e a temperatura de equilíbrio é  $0 \text{ } ^\circ\text{C}$ .
- (E) o gelo não derreteu e a temperatura de equilíbrio é  $-2 \text{ } ^\circ\text{C}$ .

Note e adote:

calor latente de fusão do gelo =  $80 \text{ cal/g}$ ;

calor específico do gelo =  $0,5 \text{ cal/g } ^\circ\text{C}$ ;

calor específico da água =  $1,0 \text{ cal/g } ^\circ\text{C}$ .

Despreze as trocas térmicas com o ambiente.

### Comentários

Devemos adotar que todo o calor cedido pela água à temperatura de  $25 \text{ } ^\circ\text{C}$  e pela garrafa, também à temperatura inicial de  $25 \text{ } ^\circ\text{C}$  será absorvida pelo gelo, à temperatura de  $-10 \text{ } ^\circ\text{C}$ .

Nesse tipo de questão é preciso analisar o anunciado criteriosamente: a água tem o dobro do calor específico do gelo, porém, temos uma grande quantidade de gelo inserida.

Dito isso, devemos calcular o máximo de energia que o conjunto água e recipiente pode fornecer até chegar a temperatura de  $0 \text{ } ^\circ\text{C}$ , e comparar esse valor à quantidade de energia necessária para que se tenha o gelo a  $0 \text{ } ^\circ\text{C}$ , e posteriormente para que se tenha esse na forma de água a  $0 \text{ } ^\circ\text{C}$ .

Essa temperatura é escolhida pelo fato de ser o ponto de fusão dessa substância, ou seja, temperatura na qual ocorre a mudança de estado físico.





Para determinarmos o máximo de energia que o conjunto água e recipiente pode fornecer até chegar à temperatura de congelamento do fluido, devemos usar a equação fundamental da calorimetria, visto que não temos mudanças de estado físico envolvidas:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta\theta \quad \text{Equação fundamental da calorimetria}$$

$$[Q] = \text{cal} \quad [m] = \text{g} \quad [c] = \text{cal}/(\text{g} \cdot ^\circ\text{C}) \quad [\Delta\theta] = ^\circ\text{C}$$

Substituindo os valores em questão, sabendo que a energia cedida pelo recipiente pode ser calculada pelo produto entre a sua capacidade térmica  $C_{recp}$  e a variação de temperatura, temos:

$$Q_{\text{máx água+recp}} = m_{\text{água}} \cdot c_{\text{água}} \cdot \Delta\theta + C_{recp} \cdot \Delta\theta$$

$$Q_{\text{máx água+recp}} = 200 \cdot 1 \cdot 25 + 50 \cdot 25 = 6250 \text{ cal}$$

Agora vamos calcular a energia necessária para que o gelo chegue até o ponto de fusão:

$$Q_{\text{gelo até } \theta \text{ fusão}} = m_{\text{gelo}} \cdot c_{\text{gelo}} \cdot \Delta\theta_{\text{até fusão}}$$

$$Q_{\text{gelo até } \theta \text{ fusão}} = 650 \cdot 0,5 \cdot 10 = 3250 \text{ cal}$$

Nesse ponto, sabemos que a temperatura final da mistura será de  $0^\circ\text{C}$ . A energia necessária para que o gelo se transforme em água líquida é calculada através do calor latente, visto que envolve uma mudança de estado físico.

$$Q = m \cdot L \quad \text{Quantidade de calor latente para uma mudança de estado físico}$$

$$[Q] = \text{cal} \quad [m] = \text{g} \quad [L] = \text{cal}/\text{g}$$

Substituindo os valores envolvidos:

$$Q_{\text{fusão do gelo}} = 650 \cdot 80 = 52000 \text{ cal}$$

Isso nos permite concluir que o conjunto água e recipiente não é capaz de fornecer uma energia superior ( $6250 \text{ cal}$ ) à energia necessária para que o gelo chegue até  $0^\circ\text{C}$  e se liquefaça por completo ( $3250 + 52000 = 55250 \text{ cal}$ ). Portanto, a temperatura de equilíbrio será igual a  $0^\circ\text{C}$ , e nem todo o gelo terá derretido.

**Gabarito: “d”.**

### 3.4 - Dilatação térmica

Salvo raras exceções, quando um corpo recebe calor, ele aumenta as suas dimensões, e sofre uma expansão térmica. Isso decorre do fato de que, um aumento de temperatura gera um aumento da agitação das moléculas que compõem o corpo.

A dilatação térmica pode ocorrer em uma, duas ou nas três dimensões. A primeira, considerada uma dilatação linear será aplicada, principalmente, em casos de fios ou barras. A



segunda, considerada uma dilatação superficial, é aplicada em chapas e placas de pequena espessura. Por fim, a dilatação volumétrica é aplicada nos casos restantes, quando as três dimensões de um corpo são relevantes.

De forma prática, a relação que relaciona o quanto o corpo se expande, ou contrai, em função da variação da temperatura é a mesma, com a diferença dos coeficientes e das grandezas envolvidas.

A variação linear provocada pela variação da temperatura de um corpo pode ser escrita como:

$\Delta L = L_0 \cdot \alpha \cdot \Delta\theta$		<b>Variação do comprimento de um corpo em função da variação de temperatura</b>	
$[\Delta L] = m$	$[L_0] = m$	$[\alpha] = ^\circ\text{C}^{-1}$	$[\Delta\theta] = ^\circ\text{C}$

Em que  $\Delta L$  é a variação no comprimento,  $L_0$  o comprimento inicial do corpo,  $\alpha$  o coeficiente de dilatação linear e  $\Delta\theta$  a variação de temperatura.

Para uma dilatação superficial:

$\Delta S = S_0 \cdot \beta \cdot \Delta\theta$		<b>Variação da superfície de um corpo em função da variação de temperatura</b>	
$[\Delta S] = m^2$	$[S_0] = m^2$	$[\beta] = ^\circ\text{C}^{-1}$	$[\Delta\theta] = ^\circ\text{C}$

Em que  $\Delta S$  é a variação superficial,  $S_0$  a área superficial do corpo,  $\beta$  o coeficiente de dilatação superficial e  $\Delta\theta$  a variação de temperatura.

E para uma dilatação volumétrica:

$\Delta V = V_0 \cdot \gamma \cdot \Delta\theta$		<b>Variação do volume de um corpo em função da variação de temperatura</b>	
$[\Delta V] = m$	$[V_0] = m$	$[\gamma] = ^\circ\text{C}^{-1}$	$[\Delta\theta] = ^\circ\text{C}$

Em que  $\Delta V$  é a variação no volume,  $V_0$  o volume inicial do corpo,  $\gamma$  o coeficiente de dilatação volumétrico e  $\Delta\theta$  a variação de temperatura.

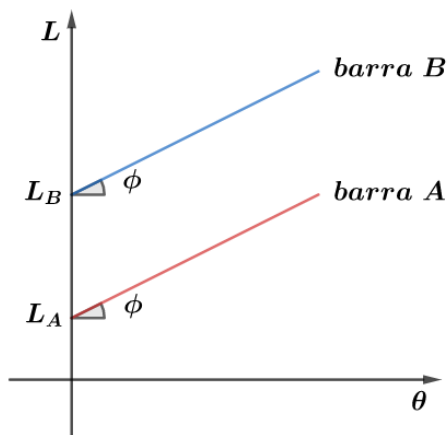
É importante destacar que existe uma relação entre os coeficientes de dilatação:

$\beta = 2 \cdot \alpha$	<b>Relação entre o coeficiente de dilatação superficial e o coeficiente de dilatação linear</b>
$\gamma = 3 \cdot \alpha$	<b>Relação entre o coeficiente de dilatação volumétrica e o coeficiente de dilatação linear</b>

Como forma de auxiliar em sua memorização, pense que uma dilatação linear significa uma expansão em apenas uma dimensão do corpo, já uma dilatação superficial em duas dimensões, daí o coeficiente de expansão superficial ser o dobro do coeficiente de expansão linear. O raciocínio é análogo para o coeficiente de expansão volumétrico.

(2019/INÉDITA)

Considere o gráfico que representa a variação dos comprimentos das barras A e B, em função da temperatura. Qual das barras possuem o maior coeficiente de dilatação linear?



**Comentários:**

Notamos que as duas barras possuem o mesmo coeficiente angular, ou seja:

$$\alpha_A \cdot L_A = \alpha_B \cdot L_B$$

Pela construção do gráfico, o comprimento inicial da barra B é maior que o comprimento inicial da barra A, isto é,  $L_B > L_A$ . Portanto:

$$L_B > L_A \Rightarrow \frac{L_B}{L_A} > 1$$

$$\alpha_B \left( \frac{L_B}{L_A} \right) > \alpha_B$$

Mas,  $\alpha_A = \frac{L_B}{L_A} \alpha_B$ , logo:

$$\boxed{\alpha_A > \alpha_B}$$

### 3.4.1 Dilatação de corpos ocos e perfurados

A dilatação de um corpo perfurado ocorre como uma ampliação de uma fotografia: todas as dimensões se aumentam de forma proporcional. Portanto, uma chapa perfurada terá o seu orifício aumentado durante um aquecimento.

Abaixo o exemplo, exagerado, de dilatação de uma régua metálica, note que tanto a referência quanto a perfuração têm as suas dimensões expandidas proporcionalmente.

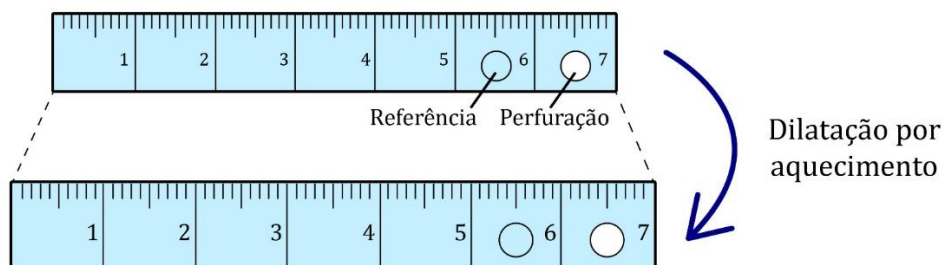


Figura 05.1 – A dilatação de um corpo perfurado.

### 3.4.2 A dilatação anômala da água

Como é possível que haja água líquida sob as camadas de gelo, em um lago congelado? A explicação disso decorre da **dilatação anômala da água**. Ao diminuir a temperatura de um líquido, esse tem o seu volume diminuído. Isso não é diferente para a água, contudo, durante o pequeno intervalo **entre 4 °C e 0 °C a água**, ao diminuir a sua temperatura, **experimenta um aumento de volume**.

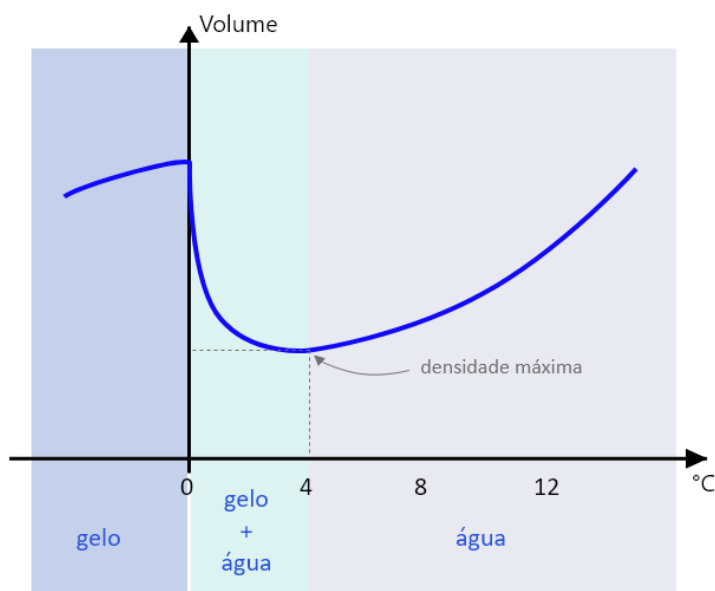


Figura 05.2 – O volume da água em função de sua temperatura.

A explicação química para esse fenômeno decorre do fato de que as ligações de hidrogênio competem com as forças de agitação do próprio líquido, à medida que a temperatura cai, a agitação diminui, e as interações entre os polos das moléculas de água aumenta. O arranjo espacial dessas interações cria vazios, o que aumenta o volume do fluido, e diminui a sua massa específica.



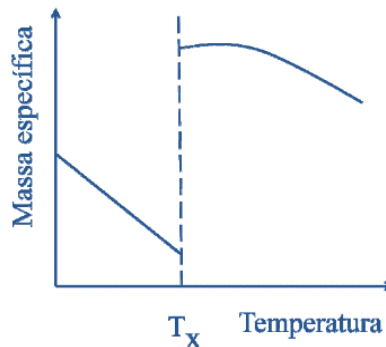
Figura 05.3 – estrutura molecular da água em diferentes estados físicos.

Sabemos que a massa específica de um corpo é inversamente proporcional ao seu volume, e que em uma mistura, o corpo de menor massa específica tende a ocupar a posição superior, por esse motivo, as camadas de gelo, de menor massa específica que a água líquida, se deslocam para a superfície.

Enquanto isso, a água líquida, a uma temperatura próxima de 4 °C se acumula no interior do lago. Esse fenômeno possibilita a sobrevivência da vida aquática em lagos que tem a superfície congelada durante os invernos rigorosos.

(2015/ITA)

A figura mostra a variação da massa específica de uma substância pura com a temperatura à pressão de 1 bar. Então, é CORRETO afirmar que  $T_x$  pode representar a temperatura de



- a) ebulição da água.
- b) ebulição do benzeno.
- c) fusão da água.
- d) fusão do benzeno.
- e) fusão do dióxido de carbono.

### Comentários

A reta decrescente que caracteriza o aquecimento até  $T_x$  evidencia uma diminuição da massa específica, fruto do aumento de volume da substância em estado sólido. Em  $T_x$  ocorre a fusão do sólido, o que explica o aumento repentino da massa específica, ocasionado pela diminuição do volume da substância, visto que as moléculas sólidas ficam sujeitas a vazios espaciais, provenientes da geometria molecular da substância em questão: a água.

Podemos afirmar que se trata da água pela dilatação anômala observada logo após a sua liquefação. A tendência seria que, tão logo a substância se torne líquida, um aquecimento provoque o aumento de volume e a conseqüente diminuição da massa específica. Contudo, o leve aumento da massa específica, até um ponto máximo, logo após a fusão, demonstra um comportamento anômalo, característico da água.

Esse comportamento anômalo é fruto das ligações de hidrogênio presentes nas moléculas de água, que ainda residem em baixas temperaturas, aumentando o volume médio ocupado pelo líquido. À medida que a temperatura sobe, essas ligações vão competindo com as forças de agitação do fluido, e acabam por perder a sua influência no aumento do volume.

Em uma temperatura próxima a 4 °C, a influência dessas ligações tem seu efeito reduzido, tornando menor o volume do fluido, e de modo que o equilíbrio em relação às forças de agitação provocadas pela temperatura que ocasionam o aumento do volume faça com que nesse ponto seja observado um ponto de máximo local da massa específica da água.

**Gabarito: "c"**



## 4 - Processos de transferência de calor

O calor tende a se propagar de uma região de maior temperatura para outra de menor temperatura. Essa propagação acontece de três maneiras distintas, chamadas de condução, convecção e radiação.

A **condução** ocorre, principalmente, em moléculas sólidas. Os átomos vibram mais intensamente quando expostos a uma fonte de calor e propagam essa energia devido às colisões com as partículas vizinhas. Uma panela exposta a uma chama tem o seu fundo esquentado, e o seu cabo se aquece devido à condução de calor que ocorre em sua direção. A condução é caracterizada pelo contato físico direto das espécies envolvidas na troca térmica.

A **convecção** é mais comum em fluidos. Nesse tipo de transferência de calor as moléculas mais aquecidas têm o seu volume aumentado, o que faz com que a sua massa específica diminua, e essas tendam a ir para a parte superior do fluido, ao mesmo tempo, as moléculas menos quentes, e de maior massa específica, migram para o fundo do fluido, criando assim as **correntes de convecção**.

A chama de uma fogueira, ou a de um fogão, são exemplos de correntes de convecção. Essas correntes são importantes na formação global do clima, além de serem essenciais para pilotos de asa-delta, ultraleves e algumas espécies de pássaros.

A **radiação** é um processo de transferência de calor por meio de ondas eletromagnéticas. Essas ondas são comumente chamadas de **radiação térmica**. Ao se aproximar de um forno você sente o seu corpo ser aquecido pelo calor irradiado pela chama.

A luz é uma onda eletromagnética, e a luz solar é composta de todo o espectro luminoso, um corpo escuro é escuro pelo fato de absorver todas as frequências luminosas, e não ser capaz de refletir nenhuma para os olhos de um observador, dessa forma, sair com uma camisa preta em um dia de sol nos faz sentir mais calor se comparado a uma pessoa com uma camisa de cores claras. O branco é a mistura de todas as cores, logo, uma camisa branca reflete quase toda a radiação térmica.

Em suma, a condução é mais comum a corpos densos, como sólidos. A convecção é típica de fluidos e ocorre na forma de correntes. A radiação é a transferência de energia por meio de ondas eletromagnéticas e, por esse motivo, é a única que não precisa de um meio físico para se propagar. Isso significa que a energia do Sol chega até a Terra, exclusivamente, através da radiação térmica.

### (2015/EAM)

Com relação aos três processos de propagação de calor: condução, convecção e irradiação, assinale a opção correta.

- a) O processo de condução ocorre apenas nos líquidos e gases.
- b) O processo de convecção ocorre apenas nos sólidos.
- c) A propagação de calor por irradiação é o único dos três processos que pode ocorrer no ar atmosférico.
- d) No processo de convecção ocorre o movimento das moléculas, formando correntes de convecção.
- e) O calor do Sol propaga-se no espaço pelo processo de condução até atingir a atmosfera terrestre e ser absorvido pelos corpos.



## Comentários:

A condução é o tipo de propagação de calor no qual a energia é passada de molécula para molécula da com maior temperatura para a com menor. Com isso, ela só ocorre em meios sólidos e depende de um meio para se propagar.

A convecção é quando partes com diferentes temperaturas de um fluido movimentam-se em seu interior devido à diferença de densidade das partes quentes e frias do fluido. Portanto, também necessita de um meio material para se propagar.

A indução é a propagação de energia por meio de ondas eletromagnéticas. Dessa forma, não precisa de meio material para se propagar.

Analisando as alternativas:

- a) Falsa. Pois a condução ocorre apenas em sólidos
- b) Falso. Pois a convecção ocorre em líquidos e gases (fluídos)
- c) Falso. Pois há convecção em gases
- d) Verdadeiro
- e) Falso. A condução precisa de meio material para se propagar o que não ocorre no espaço.

**Gabarito: “d”.**

## 4.1 - Condutores e isolantes térmicos

Alguns materiais são capazes de facilitar o equilíbrio térmico, já outros dificultam que isso aconteça, pois oferecem uma maior resistência à transmissão de energia.

Deixe uma panela de metal no interior da geladeira durante uma noite. No dia seguinte, encoste a mão na parte metálica e você sentirá a sensação de frio muito maior do que se colocar a mão no cabo de plástico da mesma panela. Como explicar essa sensação, sendo que tanto o cabo quanto a parte metálica estavam a uma mesma temperatura?

Isso decorre do fato de que o plástico é um isolante térmico, logo, a sua capacidade de absorver o calor da sua mão é mais lenta, se comparada à capacidade do metal que compõe a panela. Isopores, plásticos, cortiça, o ar atmosférico, madeira, vidro, cerâmica, são bons isolantes térmicos. Por outro lado, metais tendem a ser bons condutores.

### (2019/INÉDITA)

Alguns materiais são capazes de facilitar o equilíbrio térmico, já outros dificultam que isso aconteça, pois oferecem uma maior resistência à transmissão de energia.

Deixe uma panela de metal no interior da geladeira, em condições normais de funcionamento, durante uma noite. No dia seguinte, encoste a sua mão na parte metálica e você sentirá a sensação de frio muito maior do que se colocar a mão no cabo de plástico da mesma panela. Se tanto o cabo quanto a parte metálica estavam a uma mesma temperatura, as diferentes sensações são explicadas

a) pelo fato da parte metálica ser um bom condutor térmico. Dessa forma, a sua capacidade em absorver calor proveniente da nossa mão, através do processo de condução térmica, é mais rápida se comparada ao cabo plástico da panela, péssimo condutor de calor.



b) pelo fato da parte metálica ser um mau condutor térmico. Dessa forma, a sua capacidade em absorver calor proveniente da nossa mão, através do processo de convecção térmica, é mais rápida se comparada ao cabo plástico da panela, bom condutor de calor.

c) pelo fato da parte metálica ser um bom condutor térmico. Dessa forma, a sua capacidade em transmitir o frio para a nossa mão, através do processo de condução térmica, é mais rápida se comparada ao cabo plástico da panela, péssimo condutor de calor.

d) pelo fato da parte metálica ser um bom condutor térmico. Dessa forma, a sua capacidade em absorver calor proveniente da nossa mão, através do processo de irradiação térmica, é mais rápida se comparada ao cabo plástico da panela, péssimo condutor de calor.

e) pelo fato da parte metálica ser um mau condutor térmico. Dessa forma, a sua capacidade em absorver calor proveniente da nossa mão, através do processo de condução térmica, é mais lenta se comparada ao cabo plástico da panela, péssimo condutor de calor.

Note e adote:

Despreze as trocas térmicas ocorridas entre a panela e o ar.

### Comentários

Isso decorre do fato de que o plástico é um isolante térmico, logo, a sua capacidade de absorver o calor da sua mão é mais lenta, se comparada à capacidade do metal que compõe a panela. Isopores, plásticos, cortiça, o ar atmosférico, madeira, vidro, cerâmica, são bons isolantes térmicos. Por outro lado, metais tendem a ser bons condutores.

A transferência de calor sempre ocorre do corpo de maior temperatura para o corpo de menor temperatura. Ao segurar os dois objetos, a pessoa, cuja temperatura corporal é superior, cederá calor.

A sensação de frio, ocasionada pela absorção do calor da mão da pessoa, pelo objeto, será mais evidenciada com o objeto metálico, em comparação ao objeto plástico. Isso acontece pelo fato de o metal apresentar uma condutividade térmica superior ao do plástico.

Os materiais bons condutores de energia elétrica, como metais, tendem a ser bons condutores térmicos, ao passo que os isolantes elétricos, como plásticos, madeiras e cerâmicas, tendem a também serem isolantes térmicos.

O calor específico da substância não está, necessariamente, relacionado à sua condutividade térmica. Não confunda essas duas propriedades. Um maior calor específico implica uma maior energia necessária para promover a variação da temperatura de uma certa substância, em comparação a outra de menor calor específico.

A condutividade térmica está relacionada com a taxa com a qual esse calor irá fluir.

**Gabarito: “a”.**

### (2019/INÉDITA)

Sobre os conceitos básicos da Termologia, considere as afirmativas abaixo:

I. A temperatura é uma grandeza microscópica que avalia o grau de agitação de moléculas de um corpo;





- II. Comparando-se as sensações fisiológicas de “quente” e “frio” ao se tocar dois corpos distintos, é possível dizer com precisão qual deles está a maior temperatura;
- III. Dois corpos que estão a uma mesma temperatura têm a mesma energia interna;
- IV. Dois corpos de mesma massa, que estejam a uma mesma temperatura, têm a mesma energia interna;
- V. Quando um corpo é colocado “em contato” com a chama do fogo de um fogão, recebe calor e, portanto, sua temperatura aumenta;
- VI. Uma panela com água a  $80\text{ }^{\circ}\text{C}$  está quatro vezes mais quente que outra panela com água a  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;
- VII. Um termômetro é exposto diretamente aos raios solares, portanto ele mede a temperatura do ar;
- VIII. Um termômetro é exposto diretamente aos raios solares, portanto ele mede a temperatura do Sol.

Pode-se afirmar que:

- A) apenas uma delas está correta.
- B) apenas duas delas estão corretas.
- C) apenas três delas estão corretas.
- D) apenas uma delas está errada.
- E) todas estão erradas.

#### Comentários:

**I - Incorreta.** A temperatura é uma grandeza macroscópica. Uma grandeza microscópica seria, por exemplo, a velocidade de uma molécula de substância. Na realidade a temperatura está relacionada à entropia do sistema e ao número de estados possíveis em que o sistema pode se encontrar, mas de certa forma podemos relacionar isso com o grau de agitação das moléculas.

**II - Incorreto.** A sensação nos passa somente uma informação sobre nossa mão e o objeto tocado: qual das temperaturas é a maior. Em relação à precisão desse método, note que ao sentirmos um objeto mais “frio” que outro, não podemos considerar a temperatura deste como sendo a menor, pois esse fenômeno acontece devido a diferença da taxa de transferência de calor, o que envolve outros fatores, como constantes de propagação térmica.

**III - Incorreto.** Para um caso trivial, como um gás real, identificamos que sua energia interna depende da temperatura e pressão.

**IV - Incorreto.** Veja III.

**V - Incorreto.** Não podemos afirmar isso, pois depende da temperatura inicial do corpo. Quando em contato com a chama o corpo recebe constantemente energia da reação de combustão da chama, mas também pode estar perdendo energia para o ambiente (depende da diferença entre suas temperaturas, entre outros fatores).

**VI - Incorreto.** Somente se esses sistemas já estiverem em contato por tempo o suficiente para haver equilíbrio térmico.



**VII - Incorreto.** O termômetro entrará em equilíbrio térmico quando o seu fluxo de perda de energia para o ambiente for igual à energia recebida dos raios solares, logo sua temperatura deve ser maior que a ambiente (para que ele esteja perdendo, de fato, energia para o ambiente).

**VIII - Incorreto.** Veja VII.

**Gabarito: “e”.**

## 4.2 - Fluxo de calor

Me perdoem pelo título, sei que é redundante, pois calor presume energia em movimento, e fluxo o escoamento ou movimento contínuo de algo que segue um percurso.

A quantidade de calor por unidade de tempo ( $\Phi$ ) que flui através de um material de área  $A$ , espessura  $\varepsilon$  e condutividade térmica  $k$ , com diferença de temperatura  $\Delta\theta$  entre as faces do material, é dada por:

$$\Phi = \frac{k \cdot A \cdot \Delta\theta}{\varepsilon}$$

**Fluxo de calor através de um material cuja área, a espessura e a condutividade térmica são conhecidas.**

$$[\Phi] = J/s = W$$

$$[k] = J/(s \cdot m \cdot ^\circ C)$$

$$[A] = m^2$$

$$[\Delta\theta] = ^\circ C$$

$$[\varepsilon] = m$$

Note que o fluxo de calor possui a mesma unidade da potência. É comum que questões cobrem essa similaridade pois, por exemplo, em um refrigerador a potência útil do motor deve ser equivalente ao fluxo de calor por todas as suas paredes para que a temperatura interna se mantenha constante.

A condutividade térmica é diretamente proporcional, e a espessura é inversamente proporcional ao fluxo, isso explica o porquê de embalagens grossas de isopor serem preferíveis na tentativa de conservar a temperatura de um produto.



## 5. Lista de exercícios

### 1. (2019/CN)

Em relação aos conceitos de mecânica, hidrostática e termologia, assinale a opção correta.

- a) A transferência de calor por condução e convecção é possível através do vácuo.
- b) Quando uma pessoa toca com o dedo em um bloco de gelo, o frio flui do gelo para a pessoa.
- c) Ao tocar em uma porta de madeira e em sua maçaneta de metal uma pessoa nota diferentes sensações térmicas, por exemplo que a maçaneta está mais fria do que a porta.
- d) A energia potencial gravitacional depende da escolha do referencial adotado.
- e) O módulo do empuxo exercido por um líquido sobre um corpo totalmente submerso nesse líquido é sempre igual ao módulo do peso do corpo.

### 2. (2018/CN)

Considere 2L de água pura líquida a uma temperatura inicial de 30 °C. Fornecendo certa quantidade de energia sob a forma de calor, ela se aquece até atingir os 40 °C. Supondo que toda a energia fornecida à água fosse utilizada para elevar uma pedra de 5 kg a partir do solo, com que altura máxima seria essa? Despreze o atrito com o ar e qualquer outra troca de calor da água com o meio ambiente além da mencionada.

Dados:  $d_{\text{água}} = 1 \text{ g/cm}^3$ ;  $c_{\text{água}} = 1 \text{ cal/g } ^\circ\text{C}$ ;  $1 \text{ cal} = 4,2 \text{ J}$ ;  $g = 10 \text{ m/s}^2$ .

- (A) 240m                      (B) 840m                      (C) 1680m  
(D) 2360m                    (E) 3200m

### 3. (2017/EEAR)

Um portão de alumínio retangular de 1 m de largura e 2 m de altura a 10 °C, cujo coeficiente de dilatação linear é  $24 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ , sob o sol, atingiu a temperatura de 30°C. Qual a porcentagem aproximada de aumento de sua área após a dilatação?

- a) 0,1                      b) 0,2                      c) 0,3                      d) 0,4

### 4. (2017/EEAR)

Segundo Bonjorno & Clinton, em seu livro Física, História e Cotidiano, “O nível de energia interna de um corpo depende da velocidade com que as partículas se movimentam. Se o movimento é rápido, o corpo possui um alto nível de energia interna. Se o movimento é lento, o corpo tem um nível de energia interna baixo”. Investigando-se microscopicamente um corpo, com foco no grau de agitação de suas partículas, podemos medir indiretamente seu (sua) \_\_\_\_\_, que será obtido (a) com o uso de um \_\_\_\_\_.

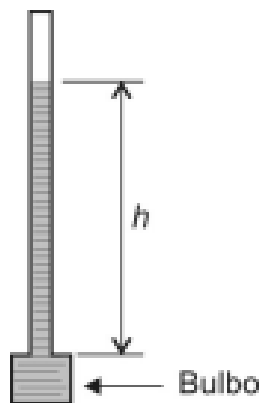
- a) temperatura – calorímetro                      b) temperatura – termômetro  
c) quantidade de calor – termômetro                      d) coeficiente de dilatação linear – calorímetro



### 5. (AFA)

Em um laboratório de física é proposta uma experiência onde os alunos deverão construir um termômetro, o qual deverá ser constituído de um bulbo, um tubo muito fino e uniforme, ambos de vidro, além de álcool colorido, conforme a figura abaixo.

O bulbo tem capacidade de  $2,0 \text{ cm}^3$ , o tubo tem área de secção transversal de  $1,0 \cdot 10^{-2} \text{ cm}^2$  e comprimento de 25 cm.



No momento da experiência, a temperatura no laboratório é  $30 \text{ }^\circ\text{C}$ , e o bulbo é totalmente preenchido com álcool até a base do tubo. Sabendo-se que o coeficiente de dilatação do álcool é  $11 \cdot 10^{-4} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$  e que o coeficiente de dilatação do vidro utilizado é desprezível comparado ao do álcool, a altura  $h$ , em cm, atingida pelo líquido no tubo, quando o termômetro for utilizado em um experimento a  $80 \text{ }^\circ\text{C}$ , é

- a) 5,50                      b) 11,0                      c) 16,5                      d) 22,0

### 6. (2019/EEAR)

Roberto, empolgado com as aulas de Física, decide construir um termômetro que trabalhe com uma escala escolhida por ele, a qual chamou de escala R. Para tanto, definiu  $-20 \text{ }^\circ\text{R}$  como ponto de fusão do gelo e  $80 \text{ }^\circ\text{R}$  como temperatura de ebulição da água, sendo estes os pontos fixos desta escala. Sendo R a temperatura na escala criada por Roberto e C a temperatura na escala Celsius, e considerando que o experimento seja realizado ao nível do mar, a expressão que relaciona corretamente as duas escalas será:

- a)  $C = R - 20$                       b)  $C = R + 20$                       c)  $C = \frac{R + 20}{2}$                       d)  $C = \frac{R - 20}{2}$

### 7. (2019/EEAR)

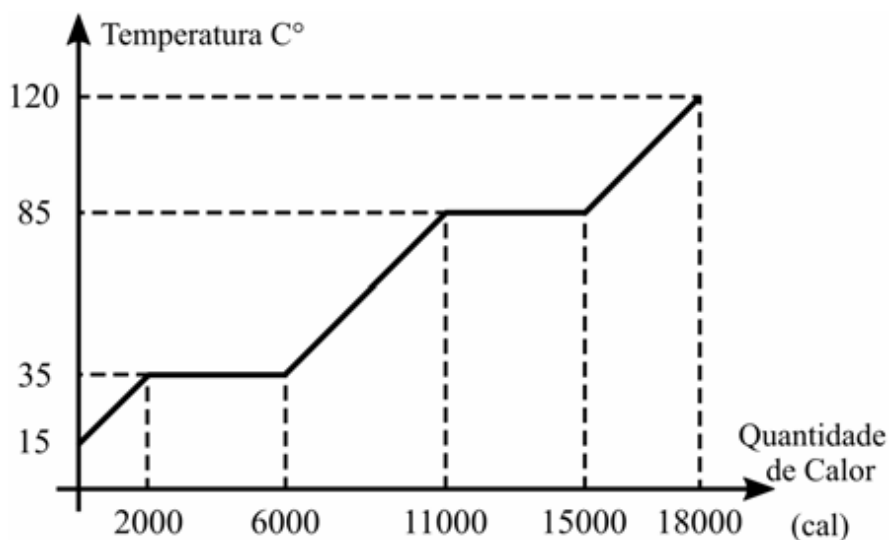
Duas porções de líquidos A e B, de substâncias diferentes, mas de mesma massa, apresentam valores de calor específico respectivamente iguais a  $0,58 \text{ cal/g }^\circ\text{C}$  e  $1,0 \text{ cal/g }^\circ\text{C}$ . Se ambas receberem a mesma quantidade de calor sem, contudo, sofrerem mudanças de estado físico, podemos afirmar corretamente que:



- a) a porção do líquido A sofrerá maior variação de temperatura do que a porção do líquido B.
- b) a porção do líquido B sofrerá maior variação de temperatura do que a porção do líquido A.
- c) as duas porções, dos líquidos A e B, sofrerão a mesma variação de temperatura.
- d) as duas porções, dos líquidos A e B, não sofrerão nenhuma variação de temperatura.

### 8. (2019/EEAR)

A figura a seguir mostra a curva de aquecimento de uma amostra de 200 g de uma substância hipotética, inicialmente a 15 °C no estado sólido, em função da quantidade de calor que esta recebe.

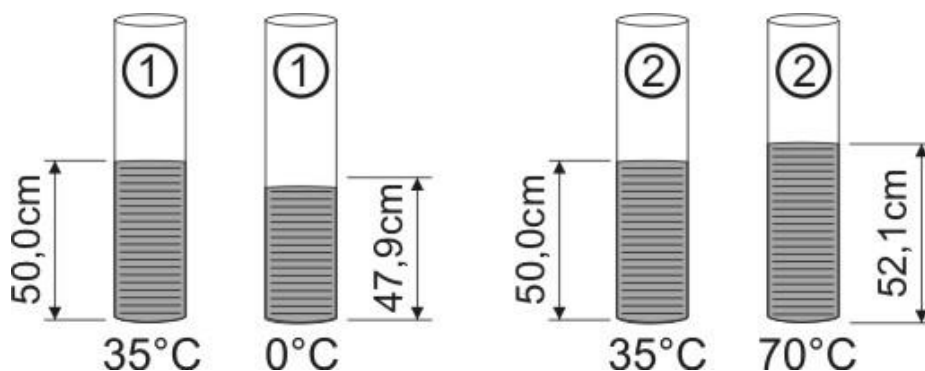


Determine o valor aproximado do calor latente de vaporização da substância, em  $cal/g$ .

- a) 10
- b) 20
- c) 30
- d) 40

### 9. (2018/EPCAR-AFA)

Considere dois tubos cilíndricos (1 e 2), verticais, idênticos e feitos do mesmo material, contendo um mesmo líquido em equilíbrio até a altura de 50,0 cm, conforme figura a seguir.



As temperaturas nos dois tubos são inicialmente iguais e de valor 35 °C. O tubo 1 é resfriado até 0 °C, enquanto o tubo 2 é aquecido até 70 °C, e a altura do líquido em cada tubo passa a ser o valor indicado na figura. Sabendo-se que o coeficiente de dilatação térmica dos tubos é

desprezível quando comparado com o do líquido, o coeficiente de dilatação volumétrica do líquido, considerado constante, é, em  $^{\circ}\text{C}^{-1}$ ,

- a)  $2,1 \cdot 10^{-3}$                       b)  $6,1 \cdot 10^{-3}$                       c)  $4,2 \cdot 10^{-3}$                       d)  $6,3 \cdot 10^{-3}$

### 10. (1983/ITA)

Ao tomar a temperatura de um paciente, um médico só dispunha de um termômetro graduado em graus Fahrenheit. Para se precaver, ele fez alguns cálculos e marcou no termômetro a temperatura correspondente a  $42^{\circ}\text{C}$  (temperatura crítica do corpo humano). Em que posição da escala do seu termômetro ele marcou essa temperatura?

- a) 106,2.                      b) 107,6.                      c) 102,6.                      d) 180,0.                      e) 104,4.

### 11. (1989/ITA)

Um pesquisador achou conveniente construir uma escala termométrica (escala P) baseada nas temperaturas de fusão e ebulição do álcool etílico, tomadas respectivamente como zero e cem da sua escala. Acontece que, na escala Celsius, aqueles dois pontos extremos da escala do pesquisador têm valores  $-118^{\circ}\text{C}$  e  $78^{\circ}\text{C}$ . Ao usar o seu termômetro para medir a temperatura de uma pessoa com febre, o pesquisador encontrou  $80^{\circ}\text{P}$ . Calcule a temperatura da pessoa doente em graus Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ ).

### 12. (1990/ITA)

A Escala Absoluta de Temperaturas é:

- a) construída atribuindo-se o valor de  $273,16\text{ K}$  à temperatura de fusão do gelo e  $373,16\text{ K}$  à temperatura de ebulição da água.  
b) construída escolhendo-se o valor  $-273,15^{\circ}\text{C}$  para o zero absoluto.  
c) construída tendo como ponto fixo o "ponto triplo" da água.  
d) construída tendo como ponto fixo o zero absoluto.  
e) de importância apenas histórica, pois só mede a temperatura de gases.

### 13. (1995/ITA)

O verão de 1994 foi particularmente quente nos Estados Unidos da América. A diferença entre a máxima e a mínima temperatura do verão e a mínima temperatura do inverno anterior foi  $60^{\circ}\text{C}$ . Qual o valor desta diferença na escala Fahrenheit?

- a)  $108^{\circ}\text{F}$ .                      b)  $60^{\circ}\text{F}$ .                      c)  $140^{\circ}\text{F}$ .                      d)  $33^{\circ}\text{F}$ .                      e)  $92^{\circ}\text{F}$ .



#### 14. (1969/ITA)

Um anel de cobre a  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$  tem um diâmetro interno de  $5,00$  centímetros. Qual das opções abaixo corresponderá ao diâmetro interno deste mesmo anel a  $275\text{ }^{\circ}\text{C}$ , admitindo-se que o coeficiente de dilatação térmica do cobre no intervalo de  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $300\text{ }^{\circ}\text{C}$  é constante e igual a  $1,60 \cdot 10^{-5}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ .

- a)  $4,98\text{ cm}$ .                      b)  $5,00\text{ cm}$ .                      c)  $5,02\text{ cm}$ .  
d)  $5,20\text{ cm}$ .                      e) nenhuma das respostas acima.

#### 15. (1970/ITA)

O vidro Pyrex apresenta maior resistência ao choque térmico do que o vidro comum porque:

- a) possui alto coeficiente de rigidez.  
b) tem baixo coeficiente de dilatação térmica.  
c) tem alto coeficiente de dilatação térmica.  
d) tem alto calor específico.  
e) é mais maleável que o vidro comum.

#### 16. (1975/ITA)

Uma barra de cobre de  $1,0\text{ m}$  de comprimento, à temperatura de  $24\text{ }^{\circ}\text{C}$ , tem coeficiente de dilatação linear  $1,7 \cdot 10^{-5}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ . Então, a temperatura em que a barra terá um milímetro a menos de comprimento será:

- a)  $-31\text{ }^{\circ}\text{F}$ .                      b)  $-59\text{ }^{\circ}\text{F}$ .                      c)  $95\text{ }^{\circ}\text{F}$ .  
d)  $162,5\text{ }^{\circ}\text{F}$ .                      e) nenhuma das respostas anteriores.

#### 17. (1980/ITA)

Uma placa metálica tem um orifício circular de  $50\text{ mm}$  de diâmetro a  $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ . A que temperatura deve ser aquecida a placa para que se possa ajustar ao orifício de um cilindro de  $50,3\text{ mm}$  de diâmetro? O coeficiente de dilatação linear do metal é  $\alpha = 1,2 \cdot 10^{-5}$  por kelvin.

- a)  $520\text{ K}$ .                      b)  $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ .                      c)  $300\text{ K}$ .                      d)  $520\text{ }^{\circ}\text{C}$ .                      e)  $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

## 6. Gabarito sem comentários

1. Anulada.	2. C	3. A
4. B	5. B	6. B
7. A	8. B	9. A



10. B	11. 38,8 °C	12. C
13. A	14. C	15. B
16. A	17. D	

ESCLARECENDO!



## 7. Lista de exercícios comentada

### 1. (2019/CN)

Em relação aos conceitos de mecânica, hidrostática e termologia, assinale a opção correta.

- a) A transferência de calor por condução e convecção é possível através do vácuo.
- b) Quando uma pessoa toca com o dedo em um bloco de gelo, o frio flui do gelo para a pessoa.
- c) Ao tocar em uma porta de madeira e em sua maçaneta de metal uma pessoa nota diferentes sensações térmicas, por exemplo que a maçaneta está mais fria do que a porta.
- d) A energia potencial gravitacional depende da escolha do referencial adotado.
- e) O módulo do empuxo exercido por um líquido sobre um corpo totalmente submerso nesse líquido é sempre igual ao módulo do peso do corpo.

#### Comentários:

- a) Falso. Condução e convecção são formas de transferência de calor que necessitam de um meio material.
- b) Falso. Não existe fluxo de “frio” e sim fluxo de calor.
- c) Falso. A sensação é de que o metal está mais frio pois ele é um melhor condutor de calor do que a madeira, mas os dois estão com a mesma temperatura.
- d) Verdadeiro. A energia potencial gravitacional depende do referencial adotado, pois a altura relativa pode ser diferente. O que é constante para todo referencial é a diferença de energia potencial gravitacional. Entretanto a questão foi anulada pelo Colégio Naval.
- e) Falso. O módulo do empuxo depende da densidade do líquido no qual o corpo está submerso.

**Gabarito: Anulada.**

### 2. (2018/CN)

Considere 2L de água pura líquida a uma temperatura inicial de 30 °C. Fornecendo certa quantidade de energia sob a forma de calor, ela se aquece até atingir os 40 °C. Supondo que toda a energia fornecida à água fosse utilizada para elevar uma pedra de 5 kg a partir do solo,





com que altura máxima seria essa? Despreze o atrito com o ar e qualquer outra troca de calor da água com o meio ambiente além da mencionada.

Dados:  $d_{\text{água}} = 1 \text{ g/cm}^3$ ;  $c_{\text{água}} = 1 \text{ cal/g } ^\circ\text{C}$ ;  $1 \text{ cal} = 4,2 \text{ J}$ ;  $g = 10 \text{ m/s}^2$ .

(A) 240m (B) 840m (C) 1680m

(D) 2360m (E) 3200m

#### Comentários:

Inicialmente precisamos calcular os itens necessários para obter a energia que foi necessária para elevar a temperatura de 2 l de água de 30 °C até 40 °C:

$$Q = m \cdot C \cdot \Delta T;$$

Devemos converter a massa  $m$  de água para gramas:

$$m = 2l \frac{dm^3}{l} \cdot \frac{1000 \text{ cm}^3}{dm^3} \cdot \frac{1g}{cm^3} = 2000g$$

Logo, a energia em Joules utilizada foi de:

$$E = 2000 \text{ g} \cdot 1 \text{ cal/g } ^\circ\text{C} \cdot 10^\circ\text{C} = 20000 \text{ cal} \cdot \frac{4,2J}{\text{cal}} = 84000 \text{ J}$$

No ponto de altura máxima do corpo, a sua velocidade é nula e a energia relacionada é somente a potencial gravitacional:

$$E_{pot} = m \cdot g \cdot H_{m\acute{a}x} = 50H_{m\acute{a}x}$$

Finalmente, podemos calcular a altura máxima:

$$50 \cdot H_{m\acute{a}x} = 84000$$

$$H_{m\acute{a}x} = 1680 \text{ m}$$

**Gabarito: "c".**

### 3. (2017/EEAR)

Um portão de alumínio retangular de 1 m de largura e 2 m de altura a 10 °C, cujo coeficiente de dilatação linear é  $24 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ , sob o sol, atingiu a temperatura de 30°C. Qual a porcentagem aproximada de aumento de sua área após a dilatação?

a) 0,1 b) 0,2 c) 0,3 d) 0,4

#### Comentários:

Temos que:

$$S_0 = 2m^2$$

$$\Delta S = S_0 \cdot \beta \cdot \Delta T$$

$$\Delta S = 182 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$\frac{\Delta S}{S_0} = \frac{182 \cdot 10^{-5}}{2} = 0,00091 \cong 0,001 = 0,1\%$$

**Gabarito: "a".**



#### 4. (2017/EEAR)

Segundo Bonjorno & Clinton, em seu livro Física, História e Cotidiano, “O nível de energia interna de um corpo depende da velocidade com que as partículas se movimentam. Se o movimento é rápido, o corpo possui um alto nível de energia interna. Se o movimento é lento, o corpo tem um nível de energia interna baixo”. Investigando-se microscopicamente um corpo, com foco no grau de agitação de suas partículas, podemos medir indiretamente seu (sua) \_\_\_\_\_, que será obtido (a) com o uso de um \_\_\_\_\_.

- a) temperatura – calorímetro
- b) temperatura – termômetro
- c) quantidade de calor – termômetro
- d) coeficiente de dilatação linear – calorímetro

#### Comentários:

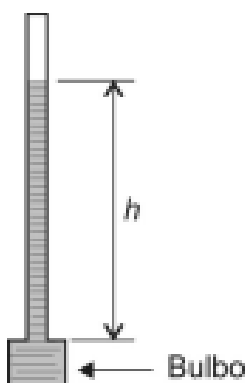
A agitação das partículas está diretamente ligada à energia cinética média do corpo que, por sua vez, mede indiretamente sua TEMPERATURA. Essa medida é obtida por meio do TERMÔMETRO.

**Gabarito: “b”.**

#### 5. (AFA)

Em um laboratório de física é proposta uma experiência onde os alunos deverão construir um termômetro, o qual deverá ser constituído de um bulbo, um tubo muito fino e uniforme, ambos de vidro, além de álcool colorido, conforme a figura abaixo.

O bulbo tem capacidade de  $2,0 \text{ cm}^3$ , o tubo tem área de secção transversal de  $1,0 \cdot 10^{-2} \text{ cm}^2$  e comprimento de 25 cm.



No momento da experiência, a temperatura no laboratório é  $30 \text{ }^\circ\text{C}$ , e o bulbo é totalmente preenchido com álcool até a base do tubo. Sabendo-se que o coeficiente de dilatação do álcool é  $11 \cdot 10^{-4} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$  e que o coeficiente de dilatação do vidro utilizado é desprezível comparado ao do álcool, a altura  $h$ , em cm, atingida pelo líquido no tubo, quando o termômetro for utilizado em um experimento a  $80 \text{ }^\circ\text{C}$ , é

- a) 5,50
- b) 11,0
- c) 16,5
- d) 22,0

#### Comentários:

Pela equação da dilatação volumétrica e sabendo que a variação de volume causada pela dilatação do líquido é o responsável pelo volume no tubo:



$$\Delta V = V_0 \cdot \gamma \cdot \Delta T$$

$$V = A \cdot h$$

$$\Delta V = V$$

$$V_0 \cdot \gamma \cdot \Delta t = A \cdot h$$

$$2 \cdot 10^{-6} \cdot 11 \cdot 10^{-4} \cdot 50 = 10^{-2} \cdot 10^{-4} \cdot h$$

$$h = 11 \text{ cm}$$

**Gabarito: “b”.**

## 6. (2019/EEAR)

Roberto, empolgado com as aulas de Física, decide construir um termômetro que trabalhe com uma escala escolhida por ele, a qual chamou de escala R. Para tanto, definiu  $-20^\circ\text{R}$  como ponto de fusão do gelo e  $80^\circ\text{R}$  como temperatura de ebulição da água, sendo estes os pontos fixos desta escala. Sendo R a temperatura na escala criada por Roberto e C a temperatura na escala Celsius, e considerando que o experimento seja realizado ao nível do mar, a expressão que relaciona corretamente as duas escalas será:

a)  $C = R - 20$

b)  $C = R + 20$

c)  $C = \frac{R + 20}{2}$

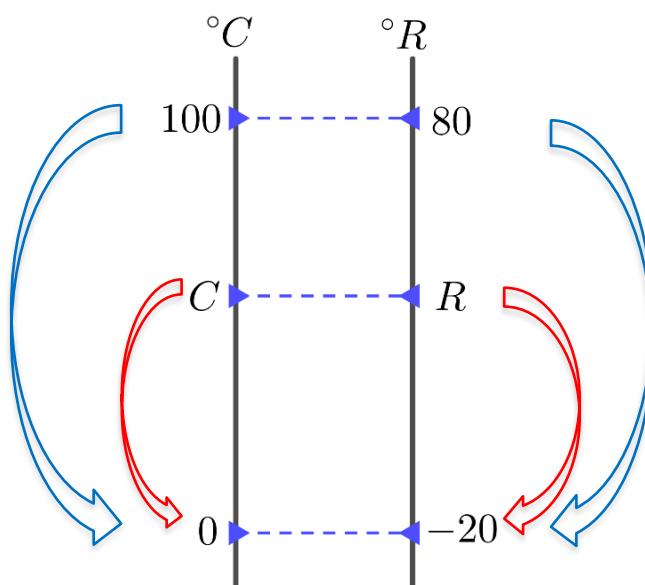
d)  $C = \frac{R - 20}{2}$

### Comentários

Vamos calcular a relação entre a escala arbitrária criada por Roberto e a escala Celsius. Devemos começar pelos pontos de equivalência:

Temperatura	$^\circ\text{C}$	$^\circ\text{R}$
Ponto de fusão do gelo	0	-20
Ponto de ebulição da água	100	80

Conhecidos os referidos pontos, monte o seguinte esquema em seu caderno:



Sabendo que os intervalos são proporcionais, podemos escrever:

$$\frac{C - 0}{100 - 0} = \frac{R - (-20)}{80 - (-20)}$$

$$\frac{C}{100} = \frac{R + 20}{80 + 20}$$

$$\frac{C}{100} = \frac{R + 20}{100}$$

Podemos cancelar os denominadores:

$$\frac{C}{\cancel{100}} = \frac{R + 20}{\cancel{100}} \quad (\div 100)$$

$$\frac{C}{1} = \frac{R + 20}{1}$$

$$C = R + 20$$

**Gabarito: “b”.**

### 7. (2019/EEAR)

Dois porções de líquidos A e B, de substâncias diferentes, mas de mesma massa, apresentam valores de calor específico respectivamente iguais a  $0,58 \text{ cal/g } ^\circ\text{C}$  e  $1,0 \text{ cal/g } ^\circ\text{C}$ . Se ambas receberem a mesma quantidade de calor sem, contudo, sofrerem mudanças de estado físico, podemos afirmar corretamente que:

- a) a porção do líquido A sofrerá maior variação de temperatura do que a porção do líquido B.
- b) a porção do líquido B sofrerá maior variação de temperatura do que a porção do líquido A.
- c) as duas porções, dos líquidos A e B, sofrerão a mesma variação de temperatura.
- d) as duas porções, dos líquidos A e B, não sofrerão nenhuma variação de temperatura.

### Comentários

O calor específico de uma substância significa o quanto de energia é necessário para que um grama dessa substância tenha a sua temperatura variada em um determinado intervalo.

A equação fundamental da calorimetria traz essa noção de forma mais explícita:

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

Equação fundamental da calorimetria

$$[Q] = \text{cal}$$

$$[m] = \text{g}$$

$$[c] = \text{cal}/(\text{g } ^\circ\text{C})$$

$$[\Delta\theta] = ^\circ\text{C}$$

Não ocorrendo mudanças de estado físico, podemos assumir que toda a energia será usada na variação de temperatura.

Tendo as duas substâncias a mesma massa, quanto maior for o calor específico, menor será a variação de temperatura promovida por uma mesma quantidade de energia, portanto, podemos

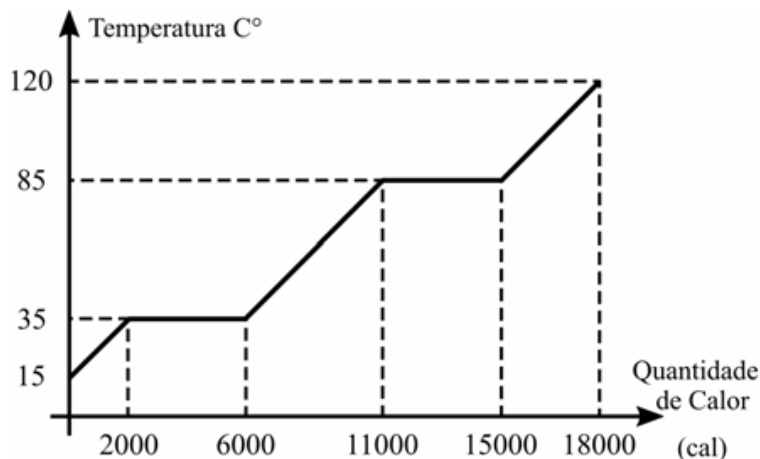


afirmar que o líquido A, de menor calor específico, sofrerá uma variação de temperatura maior que a do líquido B.

**Gabarito: “a”.**

### 8. (2019/EEAR)

A figura a seguir mostra a curva de aquecimento de uma amostra de 200 g de uma substância hipotética, inicialmente a 15 °C no estado sólido, em função da quantidade de calor que esta recebe.

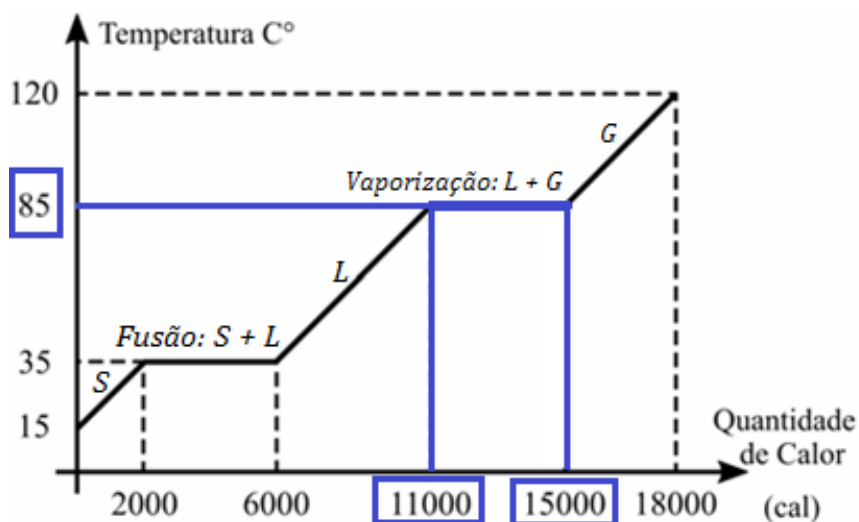


Determine o valor aproximado do calor latente de vaporização da substância, em  $cal/g$ .

- a) 10                                      b) 20                                      c) 30                                      d) 40

### Comentários

A partir da análise do gráfico devemos identificar que a substância inicia o aquecimento no estado sólido, e em uma temperatura de 15 °C, sofre fusão na temperatura de 35 °C, continua o aquecimento, na forma líquida, até 85 °C, quando sofre o processo de vaporização, e finalmente continua o seu aquecimento na forma gasosa.



Ao iniciar o processo de vaporização, a substância acumula 11000 cal, ao terminar esse processo 15000 cal. Isso nos permite calcular a quantidade de energia envolvida nessa transformação:



$$Q_{\text{vap}} = 15000 - 11000$$

$$Q_{\text{vap}} = 4000 \text{ cal}$$

Podemos usar a definição do calor latente para determinarmos o calor latente de vaporização da substância em questão:

$$Q = m \cdot L$$

Quantidade de calor latente para uma mudança de estado físico

$$[Q] = \text{cal}$$

$$[m] = \text{g}$$

$$[L] = \text{cal/g}$$

Substituindo os valores fornecidos:

$$Q_{\text{vap}} = m_{\text{substância}} \cdot L_{\text{vap}}$$

$$4000 = 200 \cdot L_{\text{vap}}$$

Invertendo a equação:

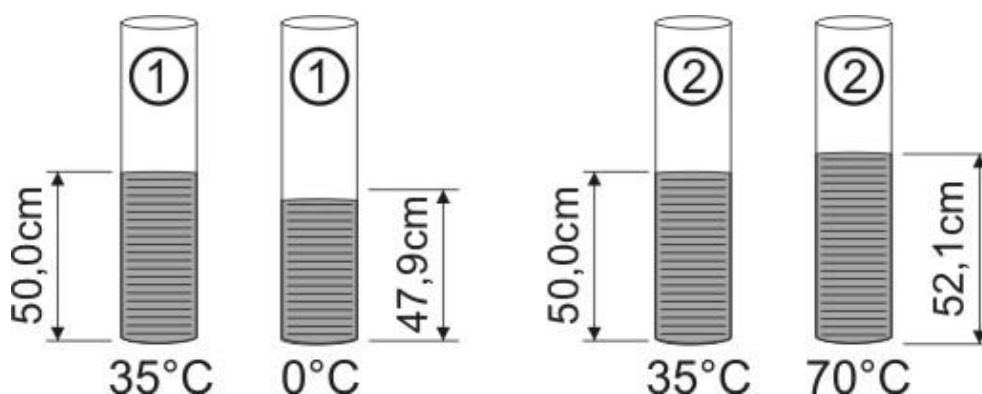
$$200 \cdot L_{\text{vap}} = 4000$$

$$L_{\text{vap}} = \frac{4000}{200} = \frac{\cancel{4000}}{\cancel{200}} = \frac{40}{2} = 20 \text{ cal/g} \quad (\div 100)$$

**Gabarito: "b".**

### 9. (2018/EPCAR-AFA)

Considere dois tubos cilíndricos (1 e 2), verticais, idênticos e feitos do mesmo material, contendo um mesmo líquido em equilíbrio até a altura de 50,0 cm, conforme figura a seguir.



As temperaturas nos dois tubos são inicialmente iguais e de valor 35 °C. O tubo 1 é resfriado até 0 °C, enquanto o tubo 2 é aquecido até 70 °C, e a altura do líquido em cada tubo passa a ser o valor indicado na figura. Sabendo-se que o coeficiente de dilatação térmica dos tubos é desprezível quando comparado com o do líquido, o coeficiente de dilatação volumétrica do líquido, considerado constante, é, em °C<sup>-1</sup>,

a)  $2,1 \cdot 10^{-3}$

b)  $6,1 \cdot 10^{-3}$

c)  $4,2 \cdot 10^{-3}$

d)  $6,3 \cdot 10^{-3}$



## Comentários

O volume de um cilindro é dado pelo produto entre a sua área da base e sua altura  $h$ .

$$V = A_{base} \cdot h \quad \text{Volume de um cilindro}$$

A dilatação volumétrica de um corpo, seja ele um fluido ou um sólido, se dá por:

$$\Delta V = V_0 \cdot \gamma \cdot \Delta \theta \quad \text{Variação do volume de um corpo em função da variação de temperatura}$$

$$[\Delta V] = m \quad [V_0] = m \quad [\gamma] = \text{°C}^{-1} \quad [\Delta \theta] = \text{°C}$$

Em que  $\Delta V$  é a variação no volume,  $V_0$  o volume inicial do corpo,  $\gamma$  o coeficiente de dilatação volumétrica e  $\Delta \theta$  a variação de temperatura.

Podemos usar os dados do primeiro tubo ou do segundo para calcularmos o coeficiente pedido, visto que o líquido contido em seu interior é o mesmo.

Para o primeiro tubo, temos a variação de volume dada por:

$$\Delta V = V_{final} - V_{inicial}$$

$$\Delta V = (A_{base} \cdot h_{final}) - (A_{base} \cdot h_{inicial})$$

$$\Delta V = (A_{base} \cdot 52,1) - (A_{base} \cdot 50,0)$$

$$\Delta V = A_{base} \cdot 2,1 \text{ cm}^3$$

E a variação de temperatura:

$$\Delta \theta = \theta_{final} - \theta_{inicial}$$

$$\Delta \theta = 70 - 35 = 35 \text{ °C}$$

Usando a relação da dilatação volumétrica, temos:

$$\Delta V = V_0 \cdot \gamma \cdot \Delta \theta$$

$$A_{base} \cdot 2,1 = A_{base} \cdot 50,0 \cdot \gamma \cdot 35$$

$$\cancel{A_{base}} \cdot 2,1 = \cancel{A_{base}} \cdot 50,0 \cdot \gamma \cdot 35$$

$$2,1 = 50,0 \cdot \gamma \cdot 35$$

Invertendo:

$$50,0 \cdot \gamma \cdot 35 = 2,1$$

$$\gamma = \frac{2,1}{50,0 \cdot 35} = \frac{21 \cdot 10^{-1}}{5 \cdot 10^1 \cdot 35} = \frac{\cancel{21} \cdot 10^{-1}}{5 \cdot 10^1 \cdot \cancel{35}} \quad (\div 7)$$



$$\gamma = \frac{3 \cdot 10^{-1}}{5 \cdot 10^1 \cdot 5} = \frac{3 \cdot 10^{-1}}{25 \cdot 10^1} = \frac{3 \cdot 10^{-1-1}}{25}$$
$$\gamma = \frac{3 \cdot 10^{-2}}{25} \cdot \frac{4}{4} = \frac{12 \cdot 10^{-2}}{100} = \frac{12 \cdot 10^{-2}}{10^2}$$
$$\gamma = 12 \cdot 10^{-4} = 1,2 \cdot 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

**Gabarito: “a”.**

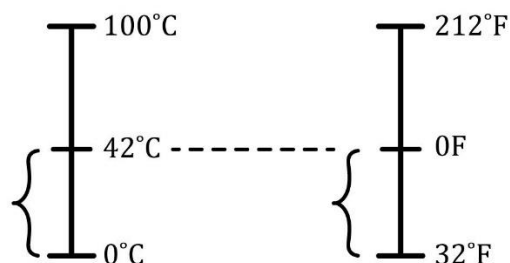
### 10. (1983/ITA)

Ao tomar a temperatura de um paciente, um médico só dispunha de um termômetro graduado em graus Fahrenheit. Para se precaver, ele fez alguns cálculos e marcou no termômetro a temperatura correspondente a  $42^\circ\text{C}$  (temperatura crítica do corpo humano). Em que posição da escala do seu termômetro ele marcou essa temperatura?

- a) 106,2.      b) 107,6.      c) 102,6.      d) 180,0.      e) 104,4.

#### Comentários:

Lembre-se que a temperatura de fusão da água é  $0^\circ$  na escala Celsius e  $32^\circ$  na escala Fahrenheit e a temperatura de evaporação é  $100^\circ$  e  $212^\circ$  nas escalas Celsius e Fahrenheit, respectivamente. Como esses pontos devem ser equivalentes entre as escalas, temos:



$$\frac{\theta_F - 32}{212 - 32} = \frac{42 - 0}{100 - 0}$$
$$\theta_F = 32 + \frac{9}{5} 42$$
$$\theta_F = 107,6^\circ\text{F}$$

**Gabarito: “b”.**

### 11. (1989/ITA)

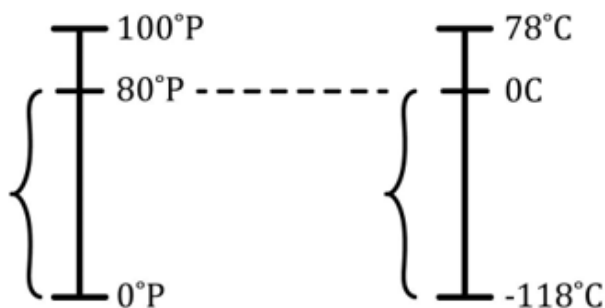
Um pesquisador achou conveniente construir uma escala termométrica (escala P) baseada nas temperaturas de fusão e ebulição do álcool etílico, tomadas respectivamente como zero e cem da sua escala. Acontece que, na escala Celsius, aqueles dois pontos extremos da escala do pesquisador têm valores  $-118^\circ\text{C}$  e  $78^\circ\text{C}$ . Ao usar o seu termômetro para medir a temperatura de uma pessoa com febre, o pesquisador encontrou  $80^\circ\text{P}$ . Calcule a temperatura da pessoa doente em graus Celsius ( $^\circ\text{C}$ ).





### Comentários:

Fazendo as temperaturas de equivalência:



$$\frac{\theta_c - (-118)}{78 - (-118)} = \frac{80 - 0}{100 - 0}$$

$$\theta_c = \frac{4}{5}196 - 118$$

$$\theta_c = 156,8 - 118 = 38,8 \text{ } ^\circ\text{C}$$

**Gabarito: 38,8 °C.**

### 12. (1990/ITA)

A Escala Absoluta de Temperaturas é:

- a) construída atribuindo-se o valor de 273,16 K à temperatura de fusão do gelo e 373,16 K à temperatura de ebulição da água.
- b) construída escolhendo-se o valor  $-273,15 \text{ } ^\circ\text{C}$  para o zero absoluto.
- c) construída tendo como ponto fixo o "ponto triplo" da água.
- d) construída tendo como ponto fixo o zero absoluto.
- e) de importância apenas histórica, pois só mede a temperatura de gases.

### Comentários:

Por definição, o Kelvin, unidade de temperatura termodinâmica, é a fração  $1/273,16$  da temperatura termodinâmica do ponto triplo da água.

Temperatura termodinâmica é a medida absoluta da energia interna média total, em contraste com a temperatura que definimos através de comparação.

**Gabarito: "c".**

### 13. (1995/ITA)

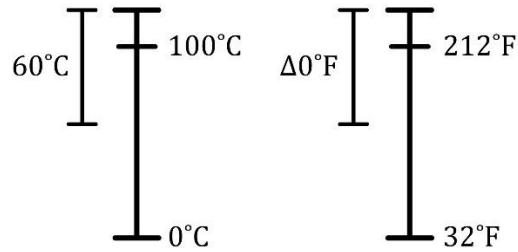
O verão de 1994 foi particularmente quente nos Estados Unidos da América. A diferença entre a máxima e a mínima temperatura do verão e a mínima temperatura do inverno anterior foi  $60 \text{ } ^\circ\text{C}$ . Qual o valor desta diferença na escala Fahrenheit?

- a)  $108 \text{ } ^\circ\text{F}$ .                      b)  $60 \text{ } ^\circ\text{F}$ .                      c)  $140 \text{ } ^\circ\text{F}$ .                      d)  $33 \text{ } ^\circ\text{F}$ .                      e)  $92 \text{ } ^\circ\text{F}$ .

### Comentários:

Lembre-se da relação linear entre as escalas:





$$\frac{\Delta\theta_F}{212 - 32} = \frac{60}{100 - 0}$$

$$\Delta\theta_F = \frac{3}{5} 180 = 108 \text{ } ^\circ F$$

**Gabarito: “a”.**

**14. (1969/ITA)**

Um anel de cobre a  $25 \text{ } ^\circ C$  tem um diâmetro interno de 5,00 centímetros. Qual das opções abaixo corresponderá ao diâmetro interno deste mesmo anel a  $275 \text{ } ^\circ C$ , admitindo-se que o coeficiente de dilatação térmica do cobre no intervalo de  $0 \text{ } ^\circ C$  a  $300 \text{ } ^\circ C$  é constante e igual a  $1,60 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ C^{-1}$ .

- a) 4,98 cm.
- b) 5,00 cm.
- c) 5,02 cm.
- d) 5,20 cm.
- e) nenhuma das respostas acima.

**Comentários:**

O anel se expande uniformemente, assim podemos usar a expressão de dilatação linear com qualquer distância entre pontos do corpo, em particular, podemos usar com seu diâmetro  $d$ :

$$d = d_0 + \Delta d = d_0 + d_0 \alpha \Delta\theta = d_0 (1 + \alpha \Delta\theta)$$

$$d = 5(1 + 1,6 \cdot 10^{-5} \cdot 250) = 5,02 \text{ cm}$$

**Gabarito: “c”.**

**15. (1970/ITA)**

O vidro Pyrex apresenta maior resistência ao choque térmico do que o vidro comum porque:

- a) possui alto coeficiente de rigidez.
- b) tem baixo coeficiente de dilatação térmica.
- c) tem alto coeficiente de dilatação térmica.
- d) tem alto calor específico.
- e) é mais maleável que o vidro comum.

**Comentários:**

As rupturas no material ocorrem quando a variação de comprimento não consegue seguir o valor ditado pela variação em temperatura:

$$\Delta l = \alpha l \Delta\theta$$



Em situação do dia-a-dia não temos controle na variação de temperatura, ou não queremos ter essa preocupação, assim foi arranjado uma solução, usando boro silicato, minimizando  $\alpha$  e  $\Delta l$ .

Ter um alto calor específico também poderia tornar o vidro mais resistente, já que diminuiria  $\Delta\theta$  para uma mesma fonte de energia, no entanto, a tecnologia Pyrex não funciona baseada nisso.

**Gabarito: “b”.**

---

### 16. (1975/ITA)

Uma barra de cobre de 1,0 m de comprimento, à temperatura de 24 °C, tem coeficiente de dilatação linear  $1,7 \cdot 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ . Então, a temperatura em que a

barra terá um milímetro a menos de comprimento será:

- a)  $-31^\circ\text{F}$ .                      b)  $-59^\circ\text{F}$ .                      c)  $95^\circ\text{F}$ .  
d)  $162,5^\circ\text{F}$ .                      e) nenhuma das respostas anteriores.

#### Comentários:

Lembrando da expressão da variação de comprimento:

$$\Delta l = l_0 \alpha \Delta \theta$$

$$\Delta l = 1,0 \cdot 1,7 \cdot 10^{-5} \cdot (\theta_{final} - 24) = -1,0 \cdot 10^{-3}$$

$$\theta_{final} \approx 24 - 58,8 = -34,8 \text{ }^\circ\text{C}$$

O valor encontrado acima se encontra na escala Celsius. Convertendo o valor para a escala Fahrenheit:

$$\frac{\theta_F - 32}{9} = \frac{\theta_C}{5}$$

$$\theta_F = \frac{9}{5} \theta_C + 32$$

$$\theta_F \approx -62,7 + 32 = -30,7 \text{ }^\circ\text{F}$$

**Gabarito: “a”.**

---

### 17. (1980/ITA)

Uma placa metálica tem um orifício circular de 50 mm de diâmetro a 15 °C. A que temperatura deve ser aquecida a placa para que se possa ajustar ao orifício de um cilindro de 50,3 mm de diâmetro? O coeficiente de dilatação linear do metal é  $\alpha = 1,2 \cdot 10^{-5}$  por kelvin.

- a) 520 K.                      b) 300 °C.                      c) 300 K.                      d) 520 °C.                      e) 200 °C.

#### Comentários:

Perceba que o coeficiente de dilatação é dado em  $\text{K}^{-1}$ , assim é mais conveniente trabalharmos com temperaturas em Kelvin. Fazendo a conversão da temperatura inicial:

$$\theta_{K,0} = \theta_{C,0} + 273$$

$$\theta_{K,0} = 288 \text{ K}$$

Lembre-se que o material se expande uniformemente em qualquer dimensão. Queremos uma variação de distância de 0,3 mm, logo:



$$\Delta d = d_0 \alpha \Delta \theta$$

$$0,3 = 50 \cdot 1,2 \cdot 10^{-5} \cdot (\theta_K - 288)$$

$$\theta_K = 788 \text{ K}$$

Voltando para a escala Celsius:

$$\theta_C = \theta_K - 273$$

$$\theta_C = 515 \text{ }^\circ\text{C}$$

**Gabarito: “d”.**

---



## 8. Considerações finais da aula

Tome nota nos exercícios mais difíceis e faça mais de uma vez, com consciência completa do que você está fazendo. Não deixe nada passar com dúvidas.

Sabemos que o caminho para a aprovação é árduo, mas comentaremos o maior número de questões do Colégio Naval e passaremos todos os bizzos possíveis.

Conte conosco nessa jornada. Quaisquer dúvidas, críticas ou sugestões entre em contato pelo fórum de dúvidas do Estratégia ou se preferir:



@prof.lucascosta



@profhenriquegoulart

## 9. Referências bibliográficas

- [1] Calçada, Caio Sérgio. Física Clássica volume 3. 2. Ed. Saraiva Didáticos, 2012. 354p.
- [2] Newton, Gualter, Helou. Tópicos de Física volume 2. 11ª ed. Saraiva, 1993. 512p.
- [3] Toledo, Nicolau, Ramalho. Os Fundamentos da Física volume 2. 9ª ed. Moderna. 521p.
- [4] Resnick, Halliday, Jearl Walker. Fundamentos de Física volume 2. 10ª ed. LTC. 282p.



## 10. Versão de aula

Versão da aula	Data da atualização
1.0	01/04/2020

