

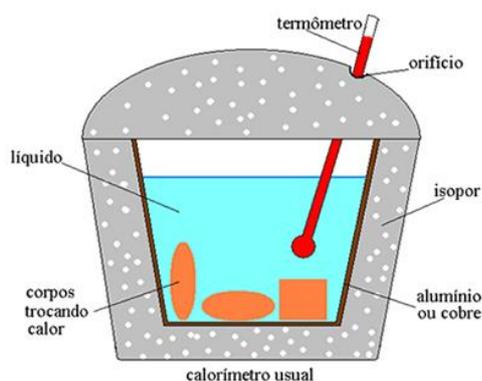
	<b>ESCOLA ESTADUAL DE ENSINO FUNDAMENTAL E MÉDIO “AUGUSTO MEIRA”</b>			
	<b>DIRETOR:</b>			<b>TURMA:</b>
	<b>PROFESSOR:</b>			<b>TURNO:</b>
	<b>DISCIPLINA:</b>			<b>DATA:</b> / /
	<b>NOME:</b>			<b>Nº:</b>

## Trocas de calor

A troca de calor acontece quando dois ou mais corpos com temperaturas diferentes são colocados em contato em um mesmo ambiente (sistema isolado) e, depois de certo tempo, alcançam o equilíbrio térmico.

Obs<sub>1</sub>.: O sistema isolado é um sistema fechado que impossibilita a troca de calor do sistema com o meio.

Para que o estudo de trocas de calor seja realizado com maior precisão, este é realizado dentro de um aparelho chamado calorímetro, que consiste em um recipiente fechado incapaz de trocar calor com o ambiente e com seu interior (figura).



Dentro de um calorímetro, os corpos colocados trocam calor até atingir o equilíbrio térmico. Como os corpos não trocam calor com o calorímetro e nem com o meio em que se encontram, toda a energia térmica passa de um corpo ao outro.

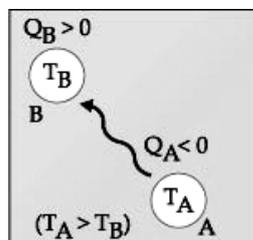
Consideremos dois corpos, **A** e **B**, cujas temperaturas são  $T_A$  e  $T_B$ , em que  $T_A > T_B$ . Colocando-os em contato dentro de um recipiente termicamente isolado (calorímetro), observamos que, após algum tempo, **A** e **B** atingem o equilíbrio térmico, ou seja, possuem a mesma temperatura. Como o corpo **A** encontra-se numa temperatura maior que **B** e o calor é a energia térmica que se transfere do corpo de maior temperatura para o de menor temperatura, o corpo **A** cede calor e o corpo **B** recebe calor.

Como essa transferência de energia ocorreu no interior de um calorímetro, ou seja, sem interferência do meio externo, todo calor cedido pelo corpo **A** foi recebido pelo corpo **B**. Convencionando-se o calor cedido como sendo negativo, e o calor recebido positivo, após o equilíbrio térmico, temos:

calor cedido por **A** = calor recebido por **B**:

$$-Q_A = Q_B$$

$$Q_A + Q_B = 0$$



A partir desses fatos, podemos generalizar: se colocarmos dentro de um recipiente termicamente isolado (calorímetro) **n** corpos a temperaturas diferentes, os corpos trocarão calor entre si, até atingirem o equilíbrio térmico.

Os corpos de maior temperatura cedem calor para os de menor temperatura. Sendo o calor cedido **negativo** e o calor recebido **positivo**, podemos dizer:

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots + Q_n = 0$$

Ou seja:

$$\sum Q = 0$$

Assim, enunciamos o princípio das trocas de calor.

*Quando dois ou mais corpos a temperaturas diferentes entram em contato entre si, após o equilíbrio térmico, a soma algébrica das quantidades de calor trocadas por eles é igual a zero.*

Quando a troca de calor provoca apenas variação na temperatura dos corpos envolvidos, sem mudança na forma física, eles estão trocando calor sensível e, portanto, devemos substituir, no princípio das trocas de calor, **Q** pela equação fundamental da calorimetria:

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

Se durante a troca de calor ocorrer alguma mudança de estado, o corpo que sofreu essa mudança terá recebido ou perdido calor latente e devemos substituir, no princípio das trocas de calor, **Q** pela equação do calor latente:

$$Q = m \cdot L$$

OBS: Quando a troca de calor envolve, além de variação na temperatura (calor sensível), **mudança de estado físico**, é conveniente, antes da aplicação do princípio das trocas de calor, analisarmos se o calor sensível cedido ou absorvido é suficiente para realizar completamente a mudança de estado.

## Exercícios Resolvidos

01. Dentro de um recipiente termicamente isolado, são misturados 200 g de alumínio cujo calor específico é 0,2 cal/g · °C, à temperatura inicial de 100 °C, com 100 g de água, cujo calor específico é 1 cal/g · °C, à temperatura inicial de 30 °C. Determine a temperatura final de equilíbrio térmico.

### Resolução:

Como o sistema é isolado termicamente, as trocas de calor envolvem apenas a água e o alumínio, portanto, vale a equação:

$$Q_{\text{água}} + Q_{\text{Al}} = 0,$$

$$m_{\text{ág}} \cdot c_{\text{ág}} \cdot (T_f - T_{\text{iaq}}) + m_{\text{Al}} \cdot c_{\text{Al}} \cdot (T_f - T_{\text{ial}}) = 0,$$

$$100 \cdot 1,0 \cdot (T_f - 30) + 200 \cdot 0,2 \cdot (T_f - 100) = 0.$$

Resolvendo,

$$T_f = 50 \text{ °C}.$$

02. Em um recipiente adiabático (que não troca calor com o meio exterior), juntamos 2000g de água a 22 °C, 400g de mercúrio a 60°C e uma massa m de certa substância x a 42°C. Determine o valor da massa, sabendo-se que a temperatura final de equilíbrio térmico é 24 °C. (dado  $c_{\text{Hg}} = 0,033 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$ ,  $c_x = 0,113 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$ ).

**Resolução:** Observando a situação vemos que, pela temperatura de equilíbrio ser 42°C, verificamos que a água recebeu calor, o mercúrio e a substância x perderam calor. Pelo princípio das trocas de calor:

$$Q_{\text{água}} + Q_{\text{Hg}} + Q_x = 0,$$

$$m_{\text{ág}} \cdot c_{\text{ág}} \cdot (T_f - T_{\text{iaq}}) + m_{\text{Hg}} \cdot c_{\text{Hg}} \cdot (T_f - T_{\text{iHg}}) + m_x \cdot c_x \cdot (T_f - T_{\text{ix}}) = 0,$$

$$2000 \cdot 1 \cdot (24 - 22) + 400 \cdot 0,033 \cdot (24 - 60) + m \cdot 0,133 \cdot (24 - 42) = 0,$$

Resolvendo,

$$m = 1472 \text{ g}.$$

03. Uma vasilha adiabática contém 100g de água a 20°C, misturando 250g de ferro a 80°C, a temperatura atinge 33°C. Determine o calor específico do ferro.

(Dado: calor específico da água 1 cal/g°C)

### Resolução:

$$Q_{\text{água}} + Q_{\text{Fe}} = 0,$$

$$m_{\text{ág}} \cdot c_{\text{ág}} \cdot (T_f - T_{\text{iaq}}) + m_{\text{Fe}} \cdot c_{\text{Fe}} \cdot (T_f - T_{\text{iFe}}) = 0,$$

$$100 \cdot 1 \cdot (33 - 20) + 250 \cdot c_{\text{Fe}} \cdot (33 - 80) = 0,$$

$$100 \cdot 1 \cdot 13 + 250 \cdot c_{\text{Fe}} \cdot (-47) = 0,$$

$$1300 - 11750 c_{\text{Fe}} = 0,$$

$$1300 = 11750 \cdot c_{\text{Fe}}$$

$$c_{\text{Fe}} = 0,11 \text{ cal/g}^\circ\text{C}.$$

04. Qual a temperatura de equilíbrio entre uma bloco de alumínio de 200g à 20°C mergulhado em um litro de água à 80°C? Dados calor específico: água=1 cal/g°C e alumínio = 0,219 cal/g°C.

$$Q_{\text{ALUMÍNIO}} + Q_{\text{ÁGUA}} = 0$$

$$c_{\text{Al}} m_{\text{Al}} \Delta \theta_{\text{Al}} + c_{\text{Água}} m_{\text{Água}} \Delta \theta_{\text{Água}} = 0$$

$$0,219 \cdot 200 \cdot (\theta - 20) + 1 \cdot 80 \cdot (\theta - 80) = 0$$

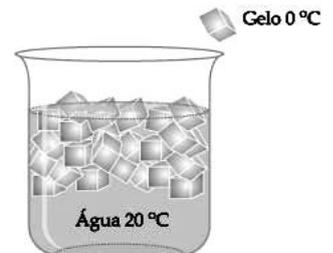
$$43,8\theta - 876 + 80\theta - 6400 = 0$$

$$123,8\theta - 7276 = 0$$

$$123,8\theta = 7276$$

$$\theta = \frac{7276}{123,8} = 58,77^\circ\text{C}$$

05. Colocam-se 80 g de gelo a 0 °C em 100 g de água a 20 °C. Admitindo-se que não ocorreu troca de calor com o meio externo e sabendo-se que o calor latente de fusão do gelo é 80 cal/g e o calor específico da água é 1 cal/g · °C:



- qual a temperatura final da mistura?
- qual a massa de água líquida após atingido o equilíbrio térmico?

### Resolução:

a) A água líquida a 20 °C para resfriar-se até 0 °C deve perder uma quantidade de calor sensível calculada por:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T. \text{ Portanto:}$$

$$Q = 100 \cdot 1 \cdot (-20)$$

$$Q = -2000 \text{ cal}$$

O gelo, para se transformar completamente em água líquida, necessita receber uma quantidade de calor calculada por:  $Q = m \cdot L_f$

$$\text{Portanto: } Q = 80 \cdot 80$$

$$Q = 6400 \text{ cal}$$

Como a energia liberada pela água não é suficiente para derreter completamente o gelo, teremos no final, em equilíbrio térmico, uma mistura de gelo e água a 0 °C.

b) Calculando as quantidades de calor trocadas:

- fusão do gelo:  $Q_f = m \cdot 80$

- resfriamento da água:  $Q_s = -2000 \text{ cal}$

Como  $Q_f + Q_s = 0$ , temos:

$$m \cdot 80 + (-2000) = 0$$

$$80 \cdot m = 2000$$

$$m = 25 \text{ g}$$

Como é pedida a massa total de água líquida, devemos somar as massas de água provenientes da fusão e a já existente na mistura.

$$m_T = 100 + 25 = 125 \text{ g}.$$

06. Em um recipiente termicamente isolado, colocam-se 100 g de gelo a 0 °C. Faz-se chegar a esse recipiente vapor de água a 100 °C, até que a temperatura do sistema seja 40 °C. Supondo que o recipiente não trocou calor com os corpos, calcule a massa de água no equilíbrio térmico. São dados:

- calor específico da água = 1 cal/g °C

- calor latente de fusão do gelo = 80 cal/g

- calor latente de condensação do vapor  $L_c = 540 \text{ cal/g}$

**Resolução:** À medida que o gelo recebe calor, ele se derrete e, após a fusão, a água resultante se aquece de 0 °C até 40 °C. Enquanto isso, o vapor perde calor e se condensa, e a água resultante da condensação se resfria de 100 °C até 40 °C.

Calculando as quantidades de calor trocadas:  
Fusão do gelo:

$$Q_f = m \cdot L_f \Rightarrow Q_f = 100 \cdot 80 \Rightarrow Q_f = 8\,000 \text{ cal}$$

Aquecimento da água proveniente da fusão:

$$Q_{s1} = m \cdot c \cdot \Delta T \Rightarrow Q_{s1} = 100 \cdot 1 \cdot 40 \Rightarrow Q_{s1} = 4\,000 \text{ cal}$$

Condensação do vapor:

$$Q_c = m \cdot L_c \Rightarrow Q_c = m \cdot (-540) \Rightarrow Q_c = -540 m$$

Resfriamento da água proveniente da condensação:

$$Q_{s2} = m \cdot c \cdot \Delta T \Rightarrow Q_{s2} = m \cdot 1 \cdot (-60) \Rightarrow Q_{s2} = -60 m$$

Como  $Q_f + Q_{s1} + Q_c + Q_{s2} = 0$ , temos:

$$8\,000 + 4\,000 - 540 m - 60 m = 0$$

$$12\,000 - 600 m = 0$$

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

Como é pedida a massa total de água, devemos somar as massas de água provenientes da fusão do gelo e da condensação do vapor:

$$m_T = 100 + 20 \Rightarrow \boxed{m_T = 120 \text{ g}}$$

Portanto, no equilíbrio térmico, há 120 g de água.

### Exercícios Propostos

01. Um corpo de massa 200 g a 50 °C, feito de um material desconhecido, é mergulhado em 50 g de água a 90 °C. O equilíbrio térmico se estabelece a 60 °C. Sendo 1 cal/g.°C o calor específico da água, e admitindo só haver trocas de calor entre o corpo e a água, determine o calor específico do material desconhecido.

02. Um objeto de massa 80 g a 920 °C é colocado dentro de 400 g de água a 20 °C. A temperatura de equilíbrio é 30 °C, e o objeto e a água trocam calor somente entre si. Calcule o calor específico do objeto. O calor específico da água é 1 cal/ g.°C.

03. O alumínio tem calor específico 0,20 cal/g.°C e a água 1 cal/g.°C. Um corpo de alumínio, de massa 10 g e à temperatura de 80 °C, é colocado em 10 g de água à temperatura de 20 °C. Considerando que só há trocas de calor entre o alumínio e a água, determine a temperatura final de equilíbrio térmico.

04. (ITA) Um calorímetro de alumínio de massa 200g, contém 120g de água a 96°C. Quantos gramas de alumínio a 10°C devem ser introduzidos no calorímetro para resfriar a água a 90°C?

(Calor específico do alumínio: 0,22cal/g °C)

- (a) 56g
- (b) 5,6g
- (c) 41g
- (d) 28g
- (e) 112g

05. Um pequeno cilindro de alumínio, de massa 50g está colocado em uma estufa. Em um certo instante, o cilindro é tirado da estufa e rapidamente jogado dentro de uma garrafa térmica que contém 330g de água.

Observa-se que a temperatura dentro da garrafa eleva-se de 19°C para 20°C. Calcule a temperatura da estufa no instante em que o cilindro foi retirado.

(Dados: o calor específico do alumínio é 0,22cal/g°C, o da água é 1cal/g°C.)

06. Uma secretária, em uma reunião, tem de servir água gelada para os executivos, mas só possui 6 litros de água a 25 °C. Considerando que todo o gelo vai derreter, calcule a quantidade de gelo a 0 °C que a secretária tem que comprar para servir água a 10 °C. Dados:  $c_{\text{água}} = 1 \text{ cal/g} \cdot \text{°C}$ ;  $\rho_{\text{água}} = 1 \text{ kg/l}$ ;  $L_f (\text{gelo}) = 80 \text{ cal/g}$ ;  $c_{\text{gelo}} = 0,5 \text{ cal/g} \cdot \text{°C}$ . (Resp:  $m_{\text{gelo}} \cong 0,1 \text{ kg}$ .)

06. Um vaso de latão contém 500 g de água a 20°C. Imerge-se nessa água um bloco de ferro com 200 g de massa e temperatura igual a 70°C. Desprezando o calor absorvido pelo vaso, calcule a temperatura do equilíbrio térmico.

Dados {calor específico do ferro = 0,114 cal/g .°C e calor específico da água = 1 cal/g .°C

07. Um calorímetro ideal contém 80 g de água a 20°C. Um corpo de 50 g de massa a 100°C é colocado no interior do calorímetro. Sabendo que o calor específico da água é de 1 cal/g .°C e que o equilíbrio térmico ocorre a 30°C, determine o calor específico da substância que constitui o corpo.

08. Um pequeno cilindro de alumínio, de massa 50 g, está colocado numa estufa. Num certo instante, o cilindro é tirado da estufa e rapidamente jogado dentro de uma garrafa térmica que contém 330 g de água. Observa-se que a temperatura dentro da garrafa eleva-se de 19°C para 20°C. Calcule a temperatura da estufa, no instante em que o cilindro foi retirado. Dados  $C_{Al} = 0,22 \text{ cal/g} \cdot \text{°C}$  e  $c_{\text{água}} = 1 \text{ cal/g} \cdot \text{°C}$ .

09. Um calorímetro contém 90 g de água à temperatura ambiente de 25°C. Coloca-se em seu interior um bloco de ferro de massa 100 g e temperatura de 90°C: Atingido o equilíbrio térmico, o termômetro acusa 30°C. Sabendo que os calores específicos da água e do ferro são, respectivamente, 1;00 cal/g.°C e 0,11 cal/g.°C, calcule a capacidade térmica do calorímetro.

10. Quatro corpos cujos calores específicos, massas e temperaturas são respectivamente iguais a: 0,20 cal/g .°C, 100 g, 10°C; 0,09 cal/g .°C, 200 g, 25°C; 0,05 cal/g .°C, 300 g, 35°C; x, 400 g, 40°C, são postos em contato uns com os outros e atingem o equilíbrio térmico à temperatura de 30°C. Supondo que o sistema seja termicamente isolado, calcule o calor específico x do quarto corpo.

11. Um calorímetro de cobre, de 25 g de massa, contém 100 g de álcool à temperatura de 8°C. Introduzindo no álcool do calorímetro um bloco de cobre, de 200 g de massa e temperatura igual a 100°C, Observou-se que a temperatura do calorímetro, quando o equilíbrio térmico foi atingido, elevou-se para 28,5°C. Sabendo que o calor específico do cobre vale 0,095 cal/g , °C, é calcule o calor específico do álcool.

12. Uma panela de ferro de massa 2 500 g está à temperatura de 20°C. Derrama-se nela 1 litro de água a 80°C. Admitindo que só haja trocas de calor entre a água e a panela, determine a temperatura de equilíbrio térmico. Dados {calor específico do ferro = 0,1 cal/g .°C , calor específico da água = 1,0 cal/g ,°C e densidade absoluta da água = 1 kg/l

13. (Vunesp-SP) Na cozinha de um restaurante há dois caldeirões com água, um a 20°C e outro a 80°C. Quantos litros se devem pegar de cada um para obter, após a mistura, 10L de água a 26°C?

14. (Unicamp-SP) Um rapaz deseja tomar banho de banheira com água à temperatura de 30°C, misturando água quente e fria. Inicialmente, ele coloca na banheira 100L de água fria a 20°C. Desprezando a capacidade térmica da banheira e a perda de calor da água, responda:

- Quantos litros de água quente, a 50°C, ele deve colocar na banheira?
- Se a vazão da torneira de água quente é de 0,20 L/s, durante quanto tempo a torneira deverá ficar aberta?

15. Um forno elétrico fornece 40 kcal a um recipiente de alumínio com massa de 1,4 kg e contendo 2,5 kg de álcool etílico. Sabendo-se que a temperatura inicial do recipiente é de 16°C, qual será a temperatura final, supondo que 25% do calor fornecido pelo forno seja disperso? Dados: calor específico do alumínio = 0,21 cal/g.°C; calor específico do álcool etílico = 0,58 cal/g.°C.

16. Para determinar a capacidade calorífica de um calorímetro, colocam-se nele 0,1 kg de água e aguarda-se algum tempo até que a água e o calorímetro se estabilizem a uma temperatura de 25 °C. Em seguida, coloca-se no calorímetro mais 0,2 kg de água a 50 °C. Depois de algum tempo o sistema atinge o equilíbrio a 35 °C. Qual a capacidade calorífica desse calorímetro? (Dado: calor específico da água:  $c_{ag} = 4200 \text{ J/kg.}^\circ\text{C}$ .)  
Resp:  $C = 840 \text{ J/K}$ . *Discussão: Este exercício descreve um procedimento experimental utilizado em laboratório para determinar a capacidade calorífica dos calorímetros utilizados.*

17. (PUC-SP) Numa cavidade localizada em um bloco de gelo ( $C_{\text{gelo}} = 0,5 \text{ cal/g.}^\circ\text{C}$ ) a  $-10^\circ\text{C}$  é colocado um pedaço de 100 g de cobre ( $C_{\text{cob}} = 0,09 \text{ cal/g.}^\circ\text{C}$ ), à temperatura de 200°C. Calcule a massa de gelo que será fundida.  
Dados {calor latente de fusão do gelo = 80 cal/g, massa total do bloco de gelo = 280g

18. Em certo calorímetro que contém 600 g de água a 20°C, introduziram-se 10 g de gelo a 0°C e um bloco de 200 g de determinado material. Sabendo que a temperatura inicial de tal bloco era de 400°C, que a capacidade térmica do calorímetro era 50 cal/°C, que o calor de fusão do gelo é de 80 cal/g e que a temperatura de equilíbrio térmico atingida pelo sistema foi de 22°C, calcule o calor específico do material do bloco mencionado.

19. Um bloco de gelo de massa 60 g a  $-10^\circ\text{C}$  é introduzido ao mesmo tempo que 20 g de cobre a 80°C

em um calorímetro contendo 300 g de água a 20°C. Sendo a capacidade térmica do calorímetro igual a 50 cal/°C e  $C_{\text{Cu}} = 0,092 \text{ cal/g.}^\circ\text{C}$ ,  $LI = 80 \text{ cal/g}$ ,  $c = 0,5 \text{ cal/g.}^\circ\text{C}$ , determine a temperatura de equilíbrio térmico.

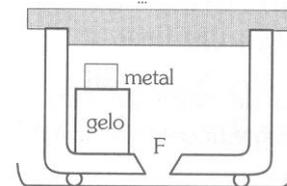
20. (EEM-SP) Num calorímetro foram colocados um bloco de gelo de massa  $m = 0,480 \text{ kg}$ , à temperatura  $t = -20^\circ\text{C}$ , e um corpo metálico de massa  $m = 50,00 \text{ g}$ , à temperatura  $e = 600^\circ\text{C}$ . Atingido o equilíbrio térmico, observou-se o aparecimento de uma massa  $m_a = 15,0 \text{ g}$  de água proveniente da fusão do gelo. São dados:  $C_g$  - calor específico do gelo = 0,50 cal/g .°C e  $L_g$  - calor latente de fusão do gelo = 80 cal/g.  
a) Determine o calor específico do metal do corpo.  
b) Determine a quantidade de calor utilizada na fusão do gelo.

21. (Fuvest-SP) Colocam-se 50 g de gelo a 0°C em 100 g de água. Após certo tempo verifica-se que existem 30 g de gelo boiando na água e em equilíbrio térmico. Admitindo-se que não ocorreu troca de calor com o ambiente e que o calor latente de fusão do gelo é 80 cal/g,

Responda:

- Qual a temperatura final da mistura?
- Qual a temperatura inicial da água?

22.. (FEI-SP) O calorímetro da figura, de capacidade térmica desprezível, tem um furo F. Colocaram-se no calorímetro  $m_1 = 30 \text{ g}$  de gelo fundente ( $\theta = 0^\circ\text{C}$ ), calor latente de fusão  $L = 80 \text{ cal/g}$ , e  $m_2 = 100 \text{ g}$  de um metal de calor específico  $c = 0,20 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$  à temperatura em  $\theta_m$ . Atingido o equilíbrio térmico entre o gelo e o metal, observa-se que restou  $1/3$  da massa inicial do gelo. Qual a temperatura  $\theta_m$ ?



23. Um corpo de cobre com massa 600 g, à temperatura de 340 K, é colocado sobre um bloco de gelo a 0°C. Desprezando as perdas de calor determine a massa de gelo que será fundida.  
Dados: calor específico do cobre = 0,092 cal/g.°C; calor latente de fusão do gelo = 80 cal/g

24. Certo metal tem calor específico  $c = 0,20 \text{ cal/g.}^\circ\text{K}$  no estado sólido, ponto de fusão  $\theta_f = 1300 \text{ K}$ , calor de fusão  $L = 50 \text{ cal/g}$ . Uma amostra desse metal tem massa  $m = 100 \text{ g}$  e apresenta-se, inicialmente, à temperatura  $\theta_i = 300 \text{ K}$ . É fornecido calor à amostra, até a metade dela se fundir. Determine a quantidade de calor recebida pela amostra.

25. No interior de um forno de microondas de 1200 W são colocados 900g de gelo a 0°C para serem transformados em água também a 0°C. Admitindo que toda a energia fornecida pelo forno será absorvida pelo gelo, determine por quanto tempo o forno de microondas deve ser programado para funcionar.  
Dados: calor latente de fusão do gelo = 80 cal/g e 1 cal = 4J.