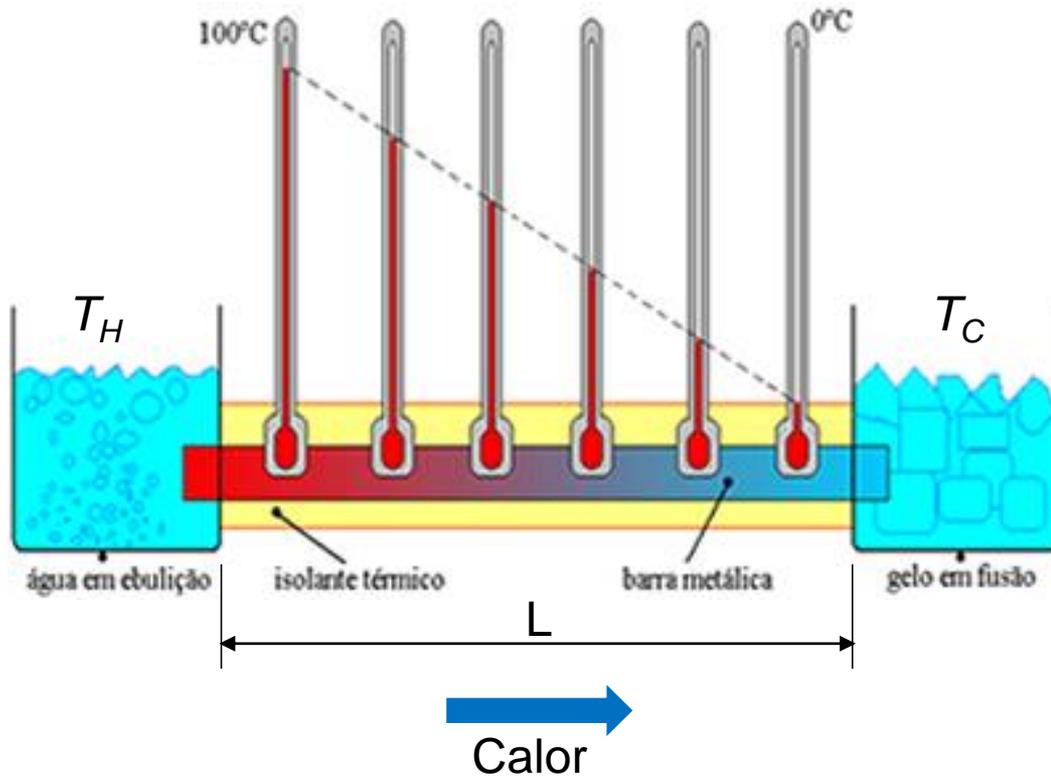


Condução Térmica (todos os meios materiais)



Equação de Fourier

$$\dot{Q}_{cond} = k \times A \times \left(\frac{\Delta T}{L} \right)$$

Condutividade Térmica de Materiais a 27°C

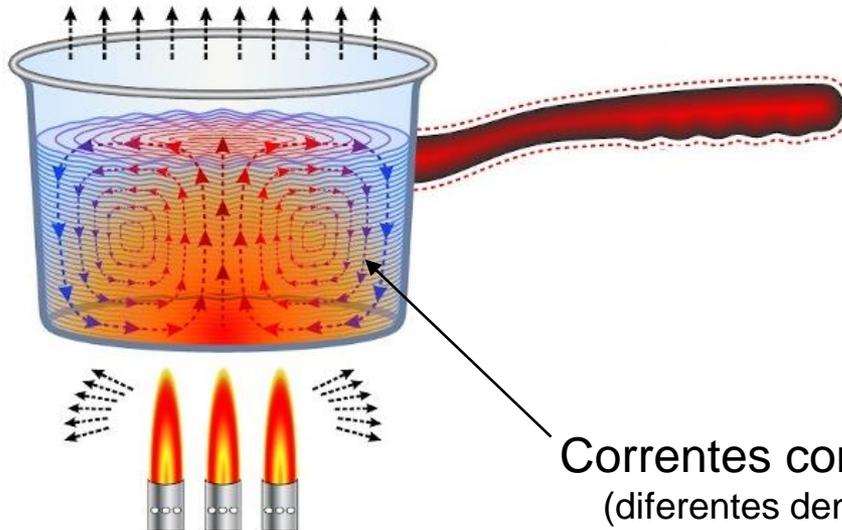
Materiais	Cond. Térmica (J/s.m.K)
Prata	426
Cobre	398
Alumínio	237
Tungstênio	178
Ferro	80,3
Vidro	0,72 a 0,86
Água	0,61
Tijolo	0,4 a 0,8
Madeira (Pinho)	0,11 a 0,14
Fibra de vidro	0,046
Espuma de poliestireno	0,033
Ar	0,026
Espuma de poliuretano	0,020

Convecção Térmica (meios materiais - líquidos, gases e vapores)

Agitador Fisatom
711 S



PROCESSO		h [W / m ² .K]
CONVECÇÃO NATURAL	Ar	5 - 30
	Gases	4 - 25
	Líquidos	120 - 1.200
	Água, líquida	20 - 100
	Água em ebulição	120 - 24.000
CONVECÇÃO FORÇADA	Ar	30 - 300
	Gases	12 - 120
	Líquidos	60 - 25.000
	Água, líquida	50 - 10.000
	Água em ebulição	3.000 - 100.000
	Água em condensação	5.000 - 100.000

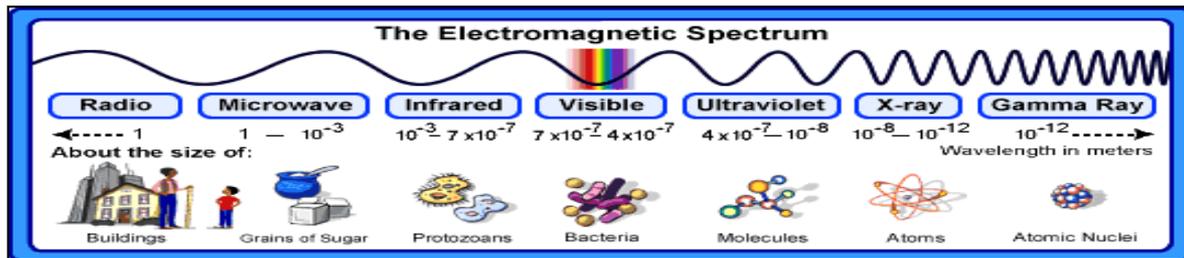


Equação de Newton

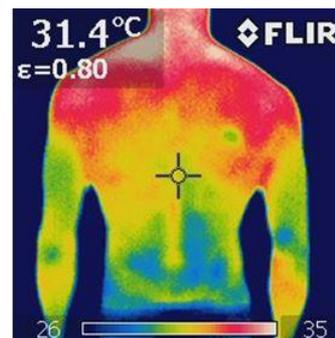
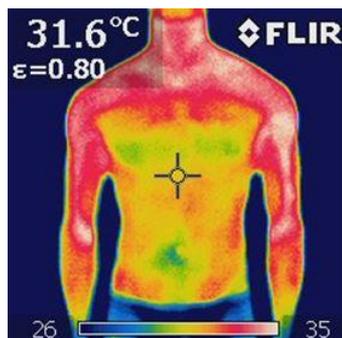
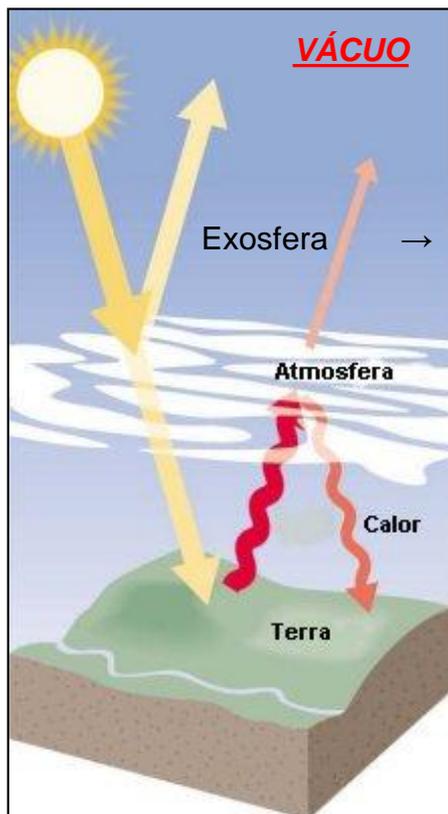
$$\dot{Q}_{conv} = h \times A \times (T_f - T_s)$$

Correntes convectivas
(diferentes densidades)

Irradiação Térmica (matéria ou vácuo)



$$d_{\text{Terra/Sol}} \approx 1,5 \times 10^{11} \text{ m}$$



TERMOVISOR FLUKE TI401 PRO

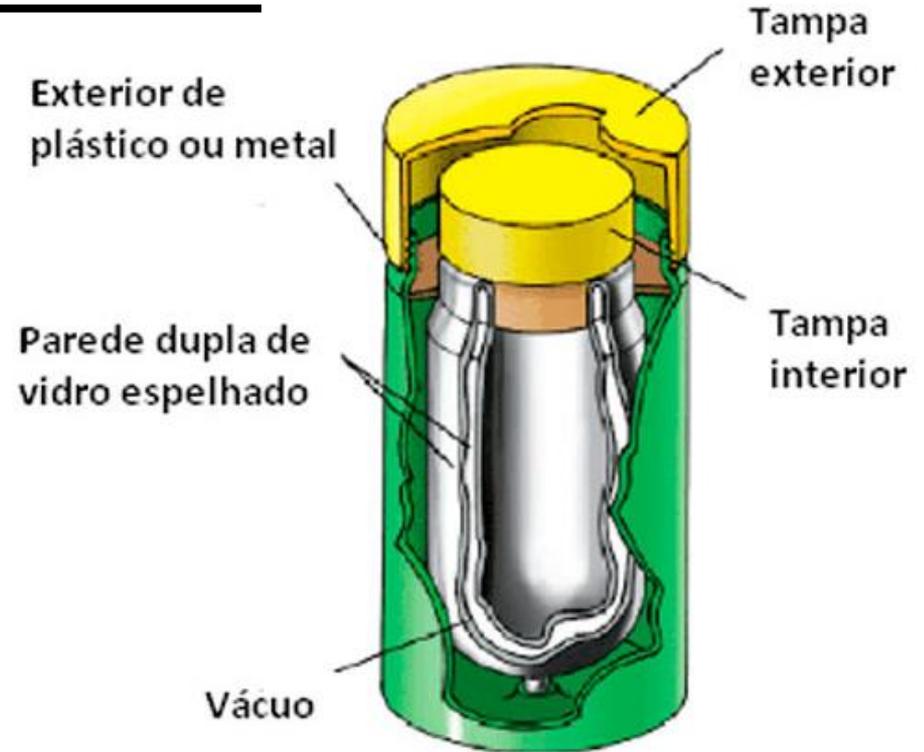
Garrafa Térmica

$$k_{\text{alumínio}} = 237 \frac{W}{m \cdot K}$$

$$k_{\text{vidro}} = 1,1 \frac{W}{m \cdot K}$$

$$k_{\text{ar}} = 0,025 \frac{W}{m \cdot K}$$

Garrafa de Dewar



Material	Temperatura (°C)	Emissividade
Alumínio, intensamente oxidado		0,25
Alumínio, polido		0,05
Alumínio, superfície áspera		0,07



Situações comuns



$$k_{\text{alumínio}} = 237 \frac{W}{m \cdot K}$$

$$k_{\text{lã de ovelha}} = 0,043 \frac{W}{m \cdot K}$$

$$k_{\text{isopor}} = 0,040 \frac{W}{m \cdot K}$$

$$k_{\text{vidro}} = 1,1 \frac{W}{m \cdot K}$$

$$k_{\text{ar}} = 0,025 \frac{W}{m \cdot K}$$





Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo
Campus São Paulo

- ***Calorimetria***

Calorimetria

para um sistema termicamente isolado

- Princípio das Transformações Inversas

“A quantidade de calor que um corpo recebe é igual, em módulo, à quantidade de calor que um corpo cede ao voltar, pelo mesmo processo, à situação inicial.”

- Princípio do Equilíbrio Térmico (**Lei Zero**)

“Se dois corpos A e B estão separadamente em equilíbrio térmico com um terceiro corpo C, então A e B estão em equilíbrio térmico entre si.”

- Princípio da Igualdade das Trocas de Calor
(ou “Lei da Conservação da Energia”)

“Quando vários corpos trocam calor apenas entre si, a soma das quantidades de calor que alguns cedem é igual, em módulo, à soma das quantidades de calor que os restantes recebem.”

$$\sum_{i=1}^n Q_i = 0$$

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

Por convenção:

- aquele que cede $\rightarrow < 0$
- aquele que recebe $\rightarrow > 0$

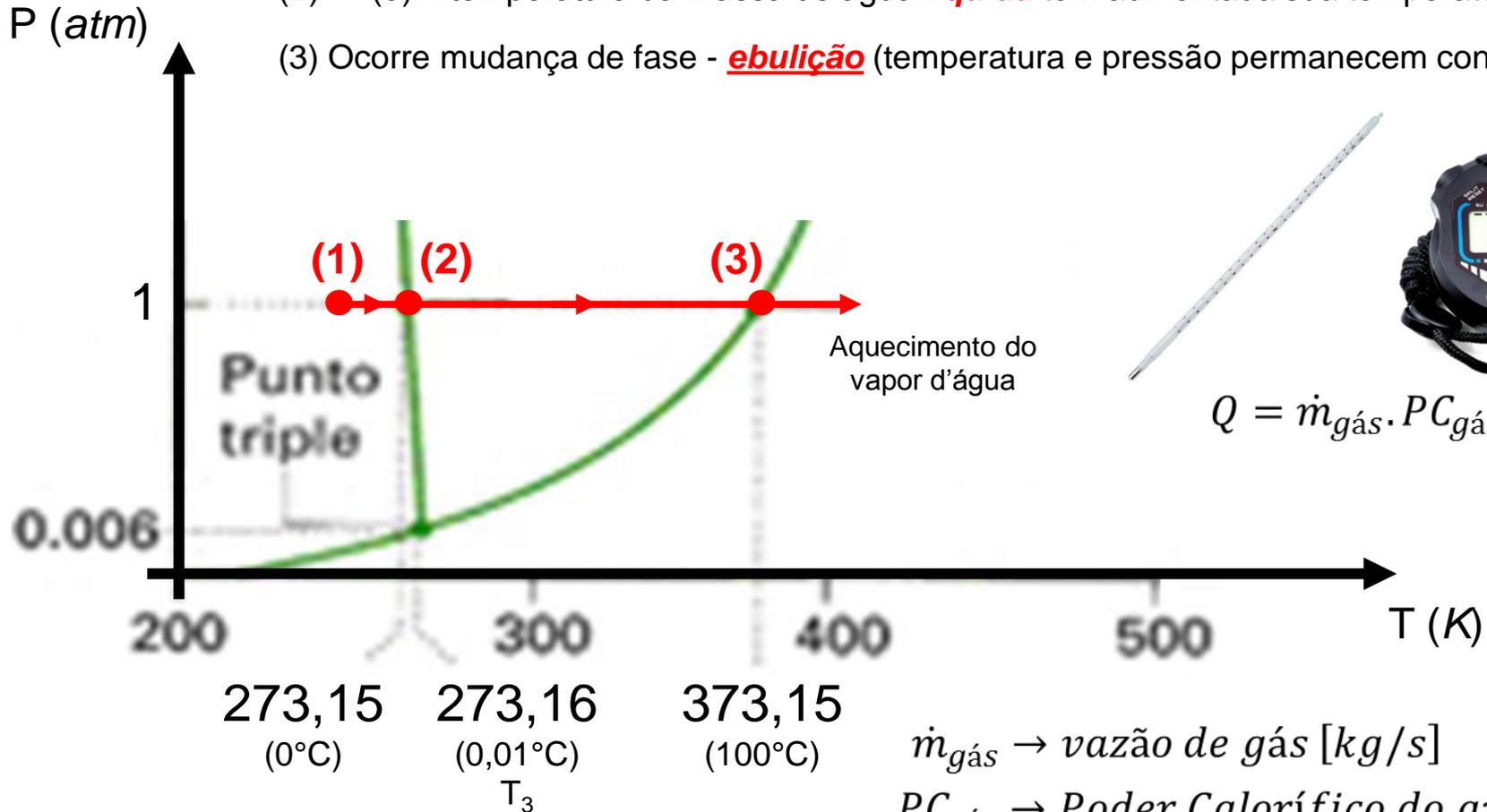
Capacidade Térmica - **C** [cal/°C; J/K]

É a característica de um corpo que permite mudar sua temperatura ao receber ou liberar calor. Ela é dada como a razão entre a quantidade de calor (**Q**) e a variação de temperatura (**ΔT**).

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

Análise

- Processo de aquecimento de uma certa massa de gelo de água, a 1 atm.
 - (1) → (2) A temperatura do bloco de gelo tem sua temperatura aumentada;
 - (2) Ocorre mudança de fase - **fusão** (temperatura e pressão permanecem constantes);
 - (2) → (3) A temperatura da massa de água **líquida** tem aumentada sua temperatura;
 - (3) Ocorre mudança de fase - **ebulição** (temperatura e pressão permanecem constantes).



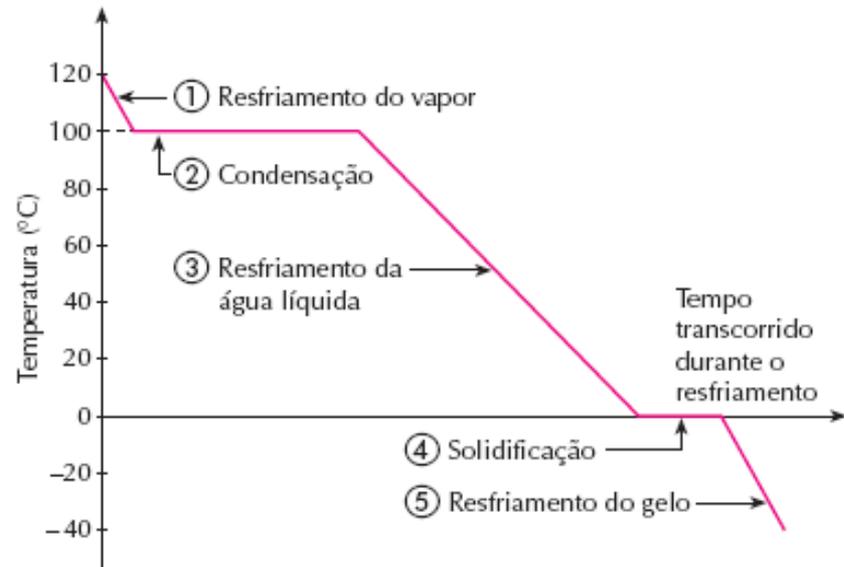
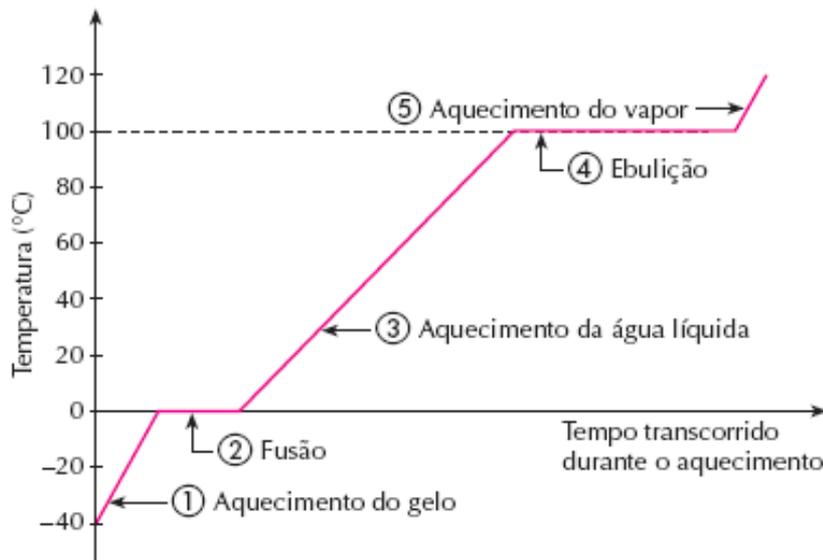
$$Q = \dot{m}_{gás} \cdot PC_{gás} \cdot \Delta t$$

$\dot{m}_{gás}$ → vazão de gás [kg/s]

$PC_{gás}$ → Poder Calorífico do gás [J/kg]

Curvas de Aquecimento e Resfriamento

, no caso da água a 1 atm.



Equação Geral da Calorimetria

Calor Sensível



$$Q = m \cdot \underline{c} \cdot \Delta T$$

, sem mudança de fase



$$C = m \cdot c$$

onde m → massa da substância, c → calor específico da substância e ΔT é a diferença de temperatura da substância.

Calor Latente



$$Q = m \cdot \underline{L}$$

, com mudança de fase

{ mantém a pressão e a temperatura!!

onde L → calor latente de mudança de fase

Calor específico - c

sob pressão constante de 1atm

É a quantidade de energia, em **J** (ou **cal**), que deve ser fornecida a **1 kg** (ou **1g**) de certa substância para variar sua temperatura de **1K** (ou **1°C**).

SUBSTÂNCIA	c (J/kg.K)	c (cal/g.°C)
Água (padrão)	$4,2 \cdot 10^3$	1,0
Gelo	$2,3 \cdot 10^3$	0,55
Alumínio	$9,2 \cdot 10^2$	0,22
Ferro	$4,6 \cdot 10^2$	0,11
Latão	$3,9 \cdot 10^2$	0,094
Cobre	$3,9 \cdot 10^2$	0,092
Prata	$2,3 \cdot 10^2$	0,056
Chumbo	$1,3 \cdot 10^2$	0,031

Unidades usuais

[cal/g .°C]

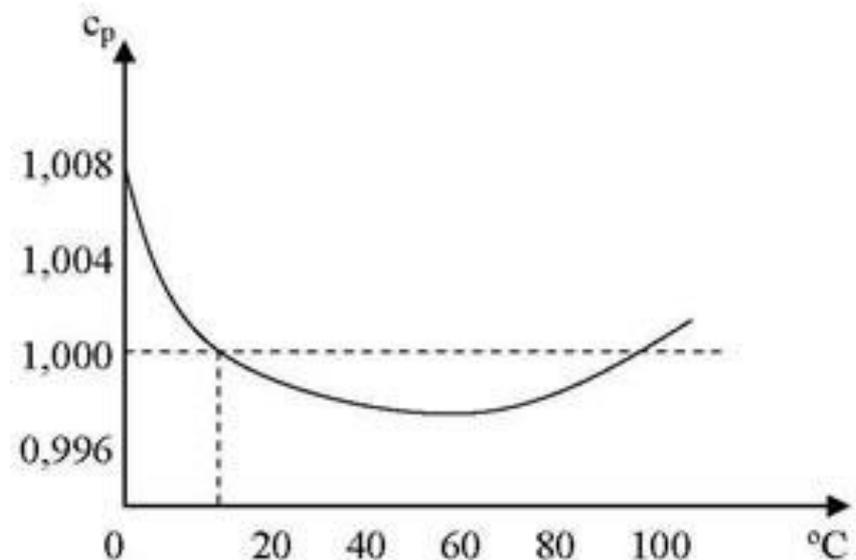
S.I. → [J/kg.K]

$$1 \text{ cal} = 4,186 \text{ J}$$



Calorímetro Roster
EF - 1014A

Variação do calor específico com a temperatura
para o caso da água a 1 atm



Calor latente - L

sob pressão constante de 1 atm



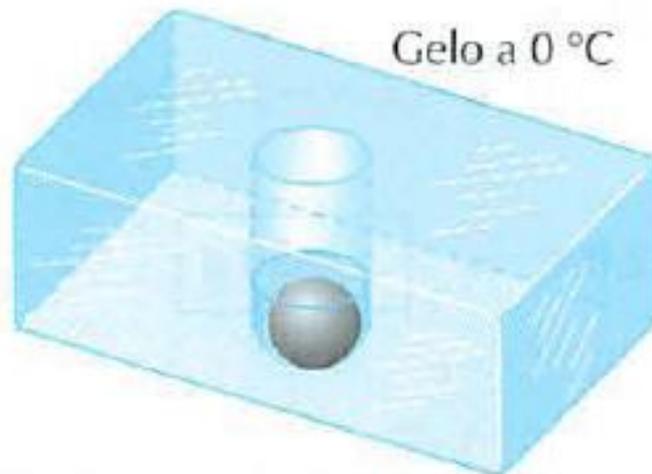
Água em ebulição

SUBSTÂNCIA	Calor latente de fusão (cal/g)
água	80
álcool	25
alumínio	95
cloreto de sódio	124
cobre	49
chumbo	6
enxofre	119
estanho	14

SUBSTÂNCIA	Calor latente de vaporização (cal/g)
água	540
álcool	204
cobre	1 288
chumbo	209
enxofre	78
ferro	1 508

Exercícios de aplicação

- 1) Temos inicialmente 200 gramas de gelo a -10°C . Determine a quantidade de calor que essa massa de gelo deve receber para se transformar em 200 g de água líquida a 20°C . Trace a curva de aquecimento do processo. Dados: calor específico do gelo = $0,5 \text{ cal/g}^{\circ}\text{C}$; calor específico da água = $1 \text{ cal/g}^{\circ}\text{C}$; calor latente de fusão do gelo = 80 cal/g .
- 2) Fez-se uma cavidade num grande bloco de gelo a 0°C e no seu interior colocou-se um corpo sólido de massa 16g a 100°C . Estando o sistema isolado termicamente do meio exterior, verificou-se, após o equilíbrio térmico, que se formaram 2,5g de água líquida. Determine o calor específico do material que constitui o corpo. É dado o calor latente de fusão do gelo: 80 cal/g .



- Resolução da questão 1: $m_{\text{gelo}} = 200\text{g}$ $t_{\text{inicial}} = -10^\circ\text{C}$ $t_{\text{final}} = 20^\circ\text{C}$ $c_{\text{gelo}} = 0,5 \frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot ^\circ\text{C}}$

$$c_{\text{água líq.}} = 1 \frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot ^\circ\text{C}} \quad L_{\text{gelo}} = 80 \frac{\text{cal}}{\text{g}}$$

$$Q_{\text{total}} = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

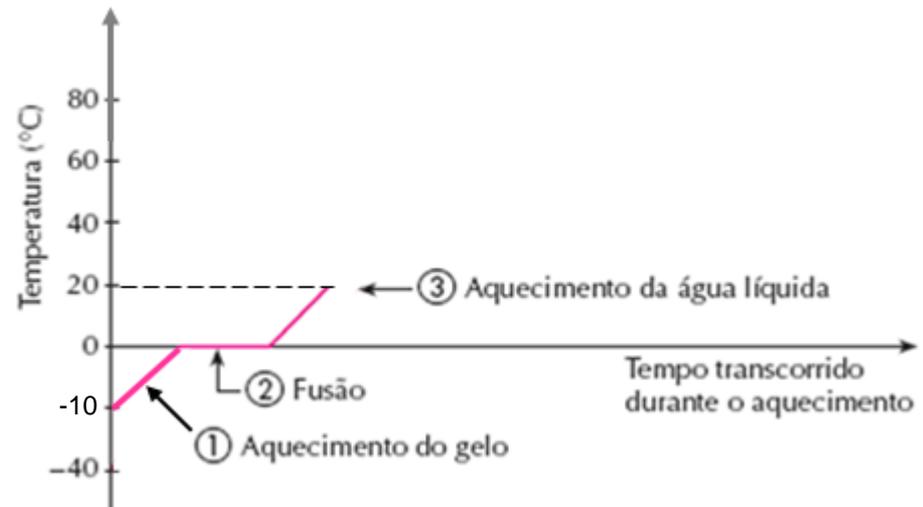
$$Q_{\text{total}} = Q_{\text{aquec. gelo}} + Q_{\text{fusão gelo}} + Q_{\text{aquec. água líquida}}$$

$$Q_{\text{total}} = m_g \cdot c_g \cdot \Delta t_{\text{gelo}} + m_g \cdot L_{\text{fusão}} + m_{\text{a.l.}} \cdot c_{\text{a.l.}} \cdot \Delta t_{\text{a.l.}}$$

$$Q_{\text{total}} = 200\text{g} \cdot 0,5 \frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot [0 - (-10)]^\circ\text{C} + 200\text{g} \cdot 80 \frac{\text{cal}}{\text{g}} + 200\text{g} \cdot 1 \frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot (20 - 0)^\circ\text{C}$$

$$Q_{\text{total}} = 200 \cdot 0,5 \cdot 10 + 200 \cdot 80 + 200 \cdot 1 \cdot 20$$

$$Q_{\text{total}} = 21\text{kcal}$$



- 3) Uma pedra de gelo a 0°C é colocada em 200g de água a 30°C , num recipiente de capacidade térmica desprezível e isolado termicamente. O equilíbrio térmico se estabelece em 20°C (dados: calor específico da água $c = 1,0 \text{ cal/g}\cdot^{\circ}\text{C}$; calor latente de fusão do gelo, $L = 80 \text{ cal/g}$). Qual é a massa da pedra de gelo?
- 4) Colocam-se 40g de gelo a 0°C em 100g de água a 20°C contidos num calorímetro de capacidade térmica desprezível. Ao ser atingido o equilíbrio térmico, pergunta-se:
- a) qual é a temperatura?
b) qual é a massa de água existente no calorímetro?

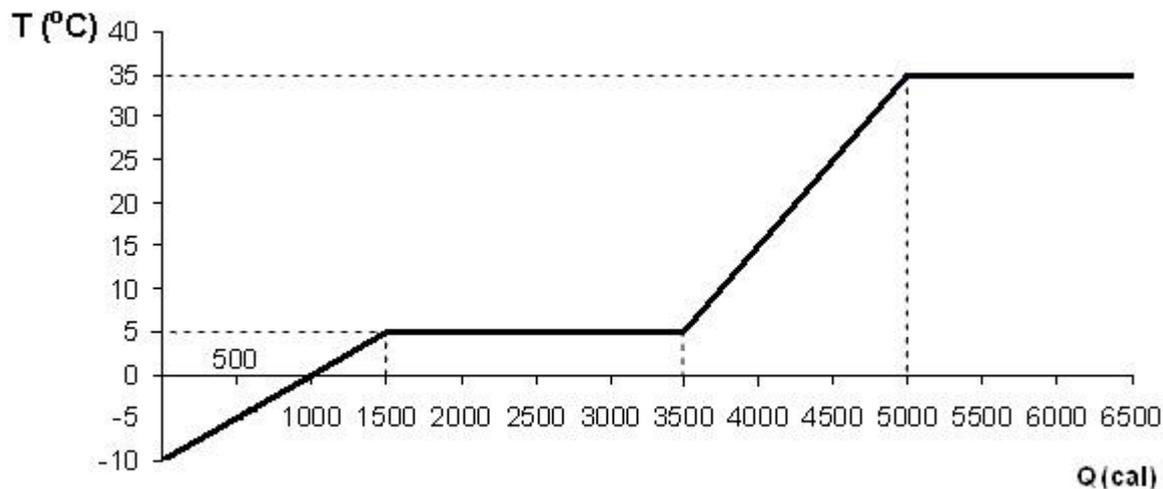
(Dados: calor específico da água $c = 1,0 \text{ cal/g}\cdot^{\circ}\text{C}$; calor latente de fusão do gelo $L = 80 \text{ cal/g}$)

- 5) Um calorímetro de capacidade térmica desprezível tem no seu interior uma pedra de gelo a -20°C com 200g de massa. A esse calorímetro faz-se chegar vapor de água a 100°C , até que a temperatura do sistema seja 60°C . Sendo os calores latentes $L = 80 \text{ cal/g}$ (fusão) e $L_c = -540 \text{ cal/g}$ (condensação), calcule a massa de água existente nesse momento no calorímetro. São dados os calores específicos do gelo ($0,5 \text{ cal/g}\cdot^{\circ}\text{C}$) e da água líquida ($1 \text{ cal/g}\cdot^{\circ}\text{C}$).
- 6) A água de um recipiente, sob pressão normal, encontra-se em superfusão a -4°C . Se o sistema for agitado, parte dessa água congela-se bruscamente. Sendo -80 cal/g o calor latente de solidificação da água e $1 \text{ cal/g}\cdot^{\circ}\text{C}$ seu calor específico, calcule a proporção de água que se congela.

- 7) Ao se fundir, o gelo se contrai. A variação de volume é proporcional à massa de gelo que se derrete. Sendo $d_{\text{gelo}} = 0,92 \text{ g/cm}^3$ a densidade do gelo a $0 \text{ }^\circ\text{C}$, $d_{\text{água}} = 1 \text{ g/cm}^3$ a densidade da água a $0 \text{ }^\circ\text{C}$ e $L_F = 80 \text{ cal/g}$ o calor latente de fusão do gelo, determine:
- a) a massa de gelo que deve se derreter para reduzir de 2 cm^3 o volume de certa mistura de água e gelo a $0 \text{ }^\circ\text{C}$;
 - b) a quantidade de calor recebida durante o processo.
- 8) Numa experiência em laboratório de Biologia, um animal foi introduzido numa mistura de água e gelo, sob pressão normal. Decorrido certo tempo, houve contração de $0,64 \text{ cm}^3$ na mistura. No mesmo tempo, a contração teria sido $0,42 \text{ cm}^3$ sem a presença do animal.
- a) Determine a quantidade de calor que a mistura recebe do animal no intervalo de tempo considerado, sendo dados $d_{\text{gelo}} = 0,92 \text{ g/cm}^3$, $d_{\text{água}} = 1 \text{ g/cm}^3$ e $L_F = 80 \text{ cal/g}$.
 - b) Admitamos que o referido tempo seja o necessário para que o animal, inicialmente a $30 \text{ }^\circ\text{C}$, entre em equilíbrio térmico com a mistura. Consideremos ainda que o animal não produza calor por processos metabólicos e que 20% do calor que ele cede se perca para o ambiente. Determine a capacidade térmica do animal.
- 9) Calcule o quanto diminui a temperatura de 100 g de éter quando evapora 1 g do líquido. O calor latente de vaporização do éter é 80 cal/g , e seu calor específico vale $0,5 \text{ cal/g} \cdot \text{ }^\circ\text{C}$. Admita não haver trocas de calor com o ambiente.
- 10) (Fuvest) Um amolador de facas, ao operar um esmeril, é atingido por fagulhas incandescentes, mas não se queima. Isso acontece porque as fagulhas:
- a) tem calor específico muito grande.
 - b) tem temperatura muito baixa.
 - c) tem capacidade térmica muito pequena.
 - d) estão em mudança de estado.
 - e) não transportam energia.

11) (UDESC 2008) Certa substância, cuja massa é 200g, inicialmente sólida à temperatura de -10°C , passa pelas transformações de fase mostradas no gráfico abaixo. O calor específico na fase sólida, o calor latente de fusão e a temperatura de vaporização dessa substância são, respectivamente:

- a) $0,5 \text{ cal/g } ^{\circ}\text{C}$; 10 cal/g ; 5°C .
- b) $0,5 \text{ cal/g } ^{\circ}\text{C}$; 10 cal/g ; 35°C .
- c) $1,0 \text{ cal/g } ^{\circ}\text{C}$; 10 cal/g ; 35°C .
- d) $1,0 \text{ cal/g } ^{\circ}\text{C}$; 10 cal/g ; 5°C .
- e) $1,0 \text{ cal/g } ^{\circ}\text{C}$; $5,0 \text{ cal/g}$; 35°C .



12) (UFMG 2008) Depois de assar um bolo em um forno a gás, Zulmira observa que ela queima a mão ao tocar no tabuleiro, mas não a queima ao tocar no bolo. Considerando-se essa situação, é CORRETO afirmar que isso ocorre porque:

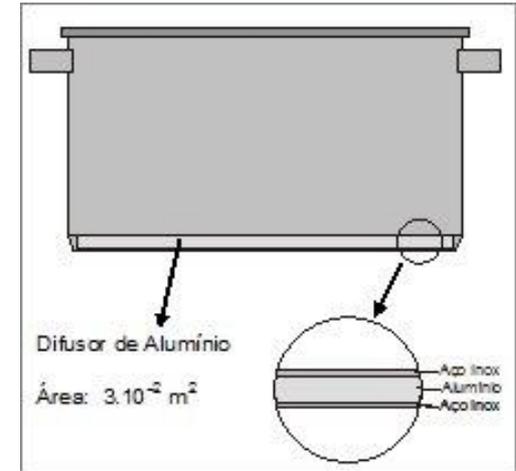
- a) a capacidade térmica do tabuleiro é maior que a do bolo.
- b) a transferência de calor entre o tabuleiro e a mão é mais rápida que entre o bolo e a mão.
- c) o bolo esfria mais rapidamente que o tabuleiro, depois de os dois serem retirados do forno.
- d) o tabuleiro retém mais calor que o bolo.

- 13) (UFSC 2010) O tipo de panela mais recomendado, por questões de saúde, é a panela de aço inox. Entretanto, o aço inox tem uma baixa condutividade térmica. Para solucionar este problema, os fabricantes fazem uso de um difusor de calor, geralmente de alumínio, cujo objetivo é melhorar a condutividade e homogeneizar a transferência de calor no fundo da panela.

Dados:

- condutividade térmica do alumínio = $60 \text{ cal/s.m.}^\circ\text{C}$
- calor latente de vaporização da água = 540 cal/g
- calor latente de fusão do gelo = 80 cal/g
- calor específico da água = $1 \text{ cal/g.}^\circ\text{C}$
- calor específico do gelo = $0,5 \text{ cal/g.}^\circ\text{C}$

Em relação ao exposto, assinale a(s) proposição(ões) **CORRETA(S)**.



- 1) O fluxo de calor através do difusor depende da sua geometria, do material e da diferença de temperatura entre as faces inferior e superior.
- 2) Supondo que a face inferior do difusor está a 105°C e a face superior está a 100°C , o fluxo de calor através do difusor é $1,8 \text{ cal/s}$.
- 4) O fundo da panela aquece a água colocada no seu interior unicamente por convecção, que envolve o transporte de matéria de uma região quente para uma região fria e vice-versa.
- 8) O calor recebido por uma substância dentro da panela pode causar mudança de temperatura, mudança de fase ou ambas.
- 16) Supondo um fluxo de calor através do fundo da panela de $2,0 \text{ kcal/s}$, e que dentro dela foi colocado 150 g de gelo a -10°C , serão necessários aproximadamente $6,4$ segundos para fundir $2/3$ do gelo.
- 32) O difusor de alumínio é aquecido por radiação proveniente da chama da boca do fogão.

14) (PUCCAMP) Uma barra de cobre de massa 200g é retirada do interior de um forno, onde estava em equilíbrio térmico, e colocada dentro de um recipiente de capacidade térmica 46 cal/°C que contém 200g de água a 20°C. A temperatura final de equilíbrio é de 25°C. A temperatura do forno, em °C, é aproximadamente igual a: Dado: $c_{Cu} = 0,03 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$.

- a) 140 b) 180 c) 230 d) 280 e) 300

15) Um calorímetro de capacidade térmica 100 cal/°C contém 500g de água à temperatura de 30°C. Um corpo de cobre cuja massa é 200g e cuja temperatura é 300°C é jogado dentro do calorímetro. Calcule a temperatura de equilíbrio. São dados: calor específico da água = 1,0 cal/g°C; calor específico do cobre = 0,092cal/g°C.



Calorímetro

16) Uma certa massa m de água recebe calor de uma fonte térmica de fluxo constante. Após 30s sua temperatura varia de 20°C para 50°C. Uma massa $2m$ de outro líquido, aquecida na mesma fonte durante 40s, sofre uma variação de temperatura de 20°C para 60°C. O calor específico desse líquido, em cal/g°C, vale:

Dado: calor específico da água = 1,0 cal/°C

- Resolução da questão 15:

$$C_{\text{Calorímetro}} = 100 \frac{\text{cal}}{^{\circ}\text{C}}$$

$$m_{\text{água}} = 500\text{g} \quad t_{\text{água}_i} = 30^{\circ}\text{C} \quad c_{\text{água}} = 1,0 \frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot ^{\circ}\text{C}}$$

$t_{\text{equilíbrio}} = t_f = ?$

$$m_{\text{cobre}} = 200\text{g} \quad t_{\text{cobre}_i} = 300^{\circ}\text{C} \quad c_{\text{cobre}} = 0,092 \frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot ^{\circ}\text{C}}$$

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots + Q_n = 0 \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{Por convenção, a substância} \\ \bullet \text{ que cede} \rightarrow Q < 0 \\ \bullet \text{ que recebe} \rightarrow Q > 0 \end{array} \right.$$

$$+Q_{\text{cal}} + Q_{\text{água}} - Q_{\text{cobre}} = 0$$

$$+C_{\text{cal}} \cdot \Delta t_{\text{cal}} + m_{\text{água}} \cdot c_{\text{água}} \cdot \Delta t_{\text{água}} - m_{\text{cobre}} \cdot c_{\text{cobre}} \cdot \Delta t_{\text{cobre}} = 0$$

$$+C_{\text{cal}} \cdot (t_f - t_i)_{\text{cal}} + m_{\text{água}} \cdot c_{\text{água}} \cdot (t_f - t_i)_{\text{água}} - m_{\text{cobre}} \cdot c_{\text{cobre}} \cdot (t_f - t_i)_{\text{cobre}} = 0$$

$$+100 \cdot (t_f - 30) + 500 \cdot 1 \cdot (t_f - 30) - 200 \cdot 0,092 \cdot (t_f - 300) = 0$$

$$+100 \cdot t_f - 3000 + 500 \cdot t_f - 15000 - 18,4 \cdot t_f - 5220 = 0$$

$$+100.t_f - 3000 + 500.t_f - 15000 - 18,4.t_f - 5220 = 0$$

$$+100.t_f + 500.t_f - 18,4.t_f = +5220 + 3000 + 15000$$

$$+581,6.t_f = +23220$$

$$t_f = +39,9^{\circ}\text{C}$$

17) (ITA) Um corpo indeformável em repouso é atingido por um projétil metálico com a velocidade de 300 m/s e a temperatura de 0°C. Sabe-se que, devido ao impacto, 1/3 da energia cinética é absorvida pelo corpo e o restante transforma-se em calor, fundindo parcialmente o projétil. O metal tem ponto de fusão $T_f = 300^\circ\text{C}$, calor específico $c = 0,02 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$ e calor latente de fusão $L_f = 6 \text{ cal/g}$. Considerando $1 \text{ cal} \approx 4 \text{ J}$, calcule a fração x da massa total do projétil metálico que se funde. Resp.: $x = 0,25$

18) (VUNESP-SP) Massas iguais de cinco líquidos distintos, cujos calores específicos estão dados na tabela adiante, encontram-se armazenadas, separadamente e à mesma temperatura, dentro de cinco recipientes com boa isolamento e capacidade térmica desprezível. Se cada líquido receber a mesma quantidade de calor, suficiente apenas para aquecê-lo, mas sem alcançar seu ponto de ebulição, aquele que apresentará temperatura mais alta, após o aquecimento, será:

- a) a água.
- b) o petróleo.
- c) a glicerina.
- d) o leite.
- e) o mercúrio.

TABELA	
líquido	calor específico ($\frac{\text{J}}{\text{g}^\circ\text{C}}$)
água	4,19
petróleo	2,09
glicerina	2,43
leite	3,93
mercúrio	0,14

19) (FUVEST-SP) Adote: calor específico da água: $1,0 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$. Calor de combustão é a quantidade de calor liberada na queima de uma unidade de massa do combustível. O calor de combustão do gás de cozinha é 6000 kcal/kg . Aproximadamente quantos litros de água à temperatura de 20°C podem ser aquecidos até a temperatura de 100°C com um bujão de gás de 13kg ? Despreze perdas de calor.

- a) 1 litro b) 10 litros c) 100 litros d) 1000 litros e) 6000 litros

Referências Sitigráficas

- http://alexandregrillo.com.br/website/downloads/unifeso_aulas_de_transporte_de_calor/aula_IV_t_c_convercao_de_calor.pdf
- http://wiki.sj.ifsc.edu.br/wiki/images/f/fe/Apostila_TCL_2010_Parte_3.pdf
- <http://www.romiotto.com.br/raytek/tecnologia/valores-tipicos-de-emissividade-romiotto-instrumentos-de-medicao.pdf>
- http://labvirtual.eq.uc.pt/siteJoomla/index.php?option=com_content&task=view&id=248&Itemid=422#4
- <http://def.fe.up.pt/fisica3/termodinamica5/index.html>
- <http://www.uff.br/fisiovet/Conteudos/termorregulacao.htm>
- <http://www.dca.iag.usp.br/www/material/fgoncalv/old/aula7.pdf>
- http://pt.wikipedia.org/wiki/Invers%C3%A3o_t%C3%A9rmica
- <http://www.cetesb.sp.gov.br/Ar/anexo/inversao.htm>
- <http://www.geocities.ws/resumodefisica/calorimetria/cal05.html>
- http://en.wikipedia.org/wiki/Supercritical_carbon_dioxide
- [http://sites.poli.usp.br/pme/sisea/Portugues/disciplinas/ApostilaPME2361/Aulas%2012-15-Convec%C3%A7%C3%A3o%20\(incompleta\).pdf](http://sites.poli.usp.br/pme/sisea/Portugues/disciplinas/ApostilaPME2361/Aulas%2012-15-Convec%C3%A7%C3%A3o%20(incompleta).pdf)
- <http://portaldoprofessor.mec.gov.br/fichaTecnicaAula.html?aula=21378>
- <http://www.infoescola.com/fisica/calorimetria/exercicios/>
- http://www.feiradeciencias.com.br/sala02/02_100.asp (inversão térmica)
- <https://www.todamateria.com.br/termodinamica/>