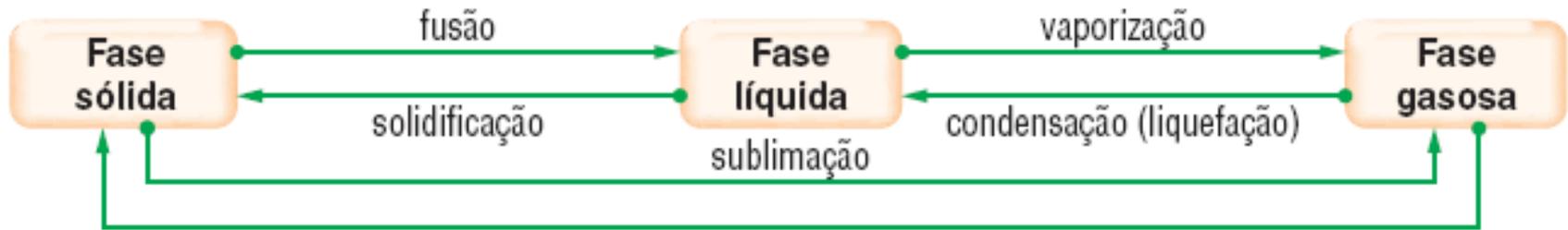


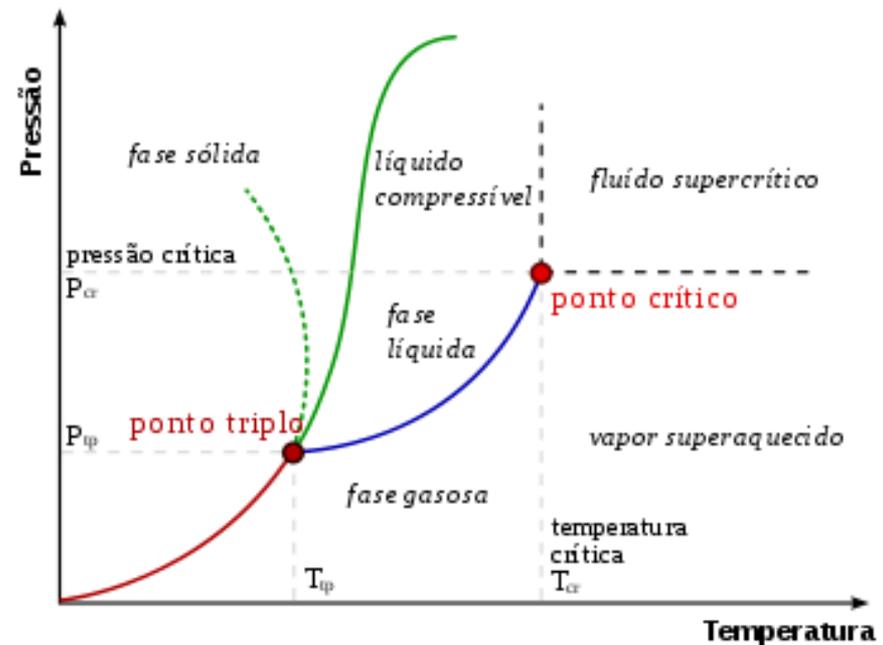
# Retrospectiva

- Matemática básica, gráficos e grandezas escalares e vetoriais
- Massa e Peso
- Força
- Mecânica: Cinemática escalar → posição e tempo → velocidade, aceleração, deslocamento etc } gráfico
- Trabalho de uma força →  $W = F \cdot d \cdot \cos \theta$  → gráfico
- Energia → Potencial e Cinética → **Lei de Conservação da Energia**
- Potência →  $P = \frac{E}{\Delta t}$
- Termologia → E.F.M. → Pressão → Densidade
- Temperatura (grau de agitação) → Calor (energia em trânsito)
- Equilíbrio Térmico → Lei Zero da Termodinâmica
- Termômetros → Escalas Termométricas ( $^{\circ}\text{C}$ ,  $^{\circ}\text{F}$ ,  $K$ )

# Estados físicos da matéria e mudanças de fase

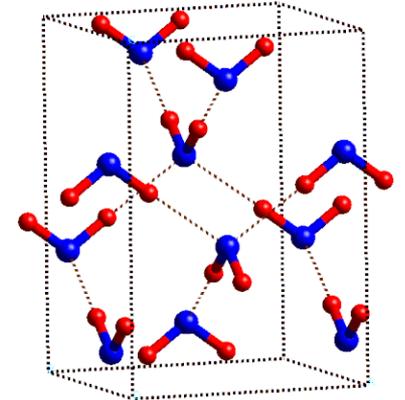
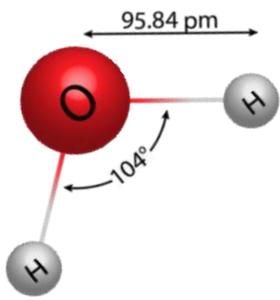
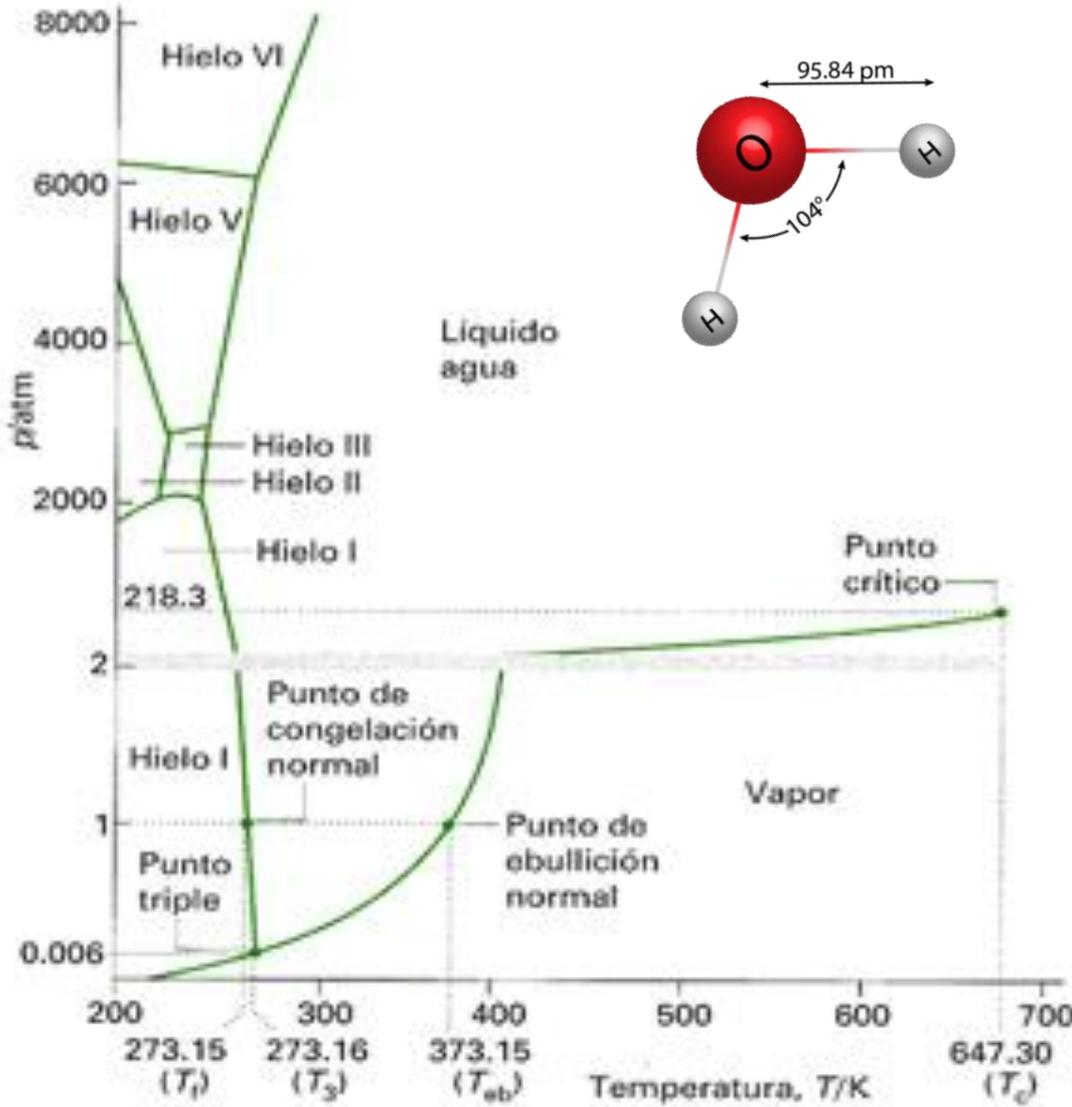


## Diagrama de Fases



# Diagrama de Fases

Água ( $H_2O$ )



**Gelo VIII**  
< 278 K (5 °C) e > 2,1 GPa (21k atm)

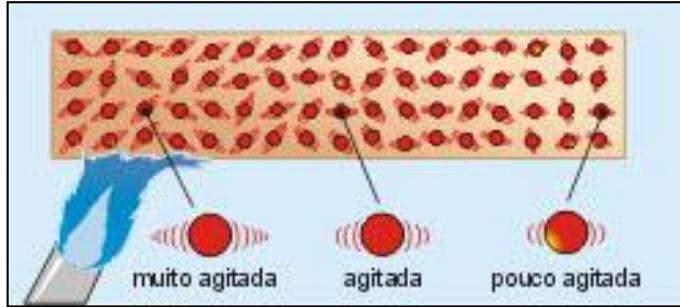


Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo  
*Campus São Paulo*

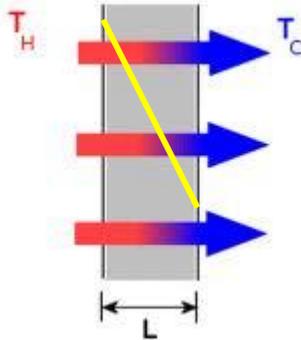
- ***Processos de Transferência de Energia Térmica (Calor)***

- **Condução Térmica** (meios *materiais*)

- **Sólidos**

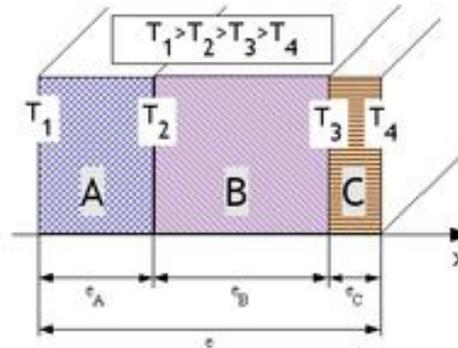


- **Líquidos**



- **Gases e vapores**

“Sanduíche” de isolantes térmicos



Material	Condutividade térmica W/m·K
Cimento portland	0,29
Concreto, pedra	1,7
Ar	0,025
Madeira	0,04 - 0,4
Alcoóis, óleos	0,1 - 0,21
Solo	1,5
Borracha	0,16
Epóxi	0,19
Graxa térmica	0,7 - 3
Vidro	1,1
Gelo	2
Arenito	2,4
Aço inoxidável	12,11 - 45,0
Chumbo	35,3
Alumínio	237
Ouro	318
Prata	429
Diamante	900 - 2 320
GLP	0,23 - 0,26
Água	<b>0,61</b>

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

Equação de Fourier

**[ W ]**

- k** → coeficiente de condutividade térmica
- A** → área
- $\Delta T = T_H - T_C$**  → diferença de temperatura
- L (e)** → espessura

# Aplicação na Engenharia Civil

**Tabela 3** – Valores de Condutividade térmica (K) para diferentes materiais de cobertura.

Material	K (W/m.°C)
Alumínio	230
Aço	47
Concreto	1,74
Tijolo maciço	0,81
Fibrocimento	0,76
Água	0,64
Palha	0,12
Lã de vidro	0,036
Poliestireno expandido	0,035
Espuma de poliuretano	0,023
Ar	0,023

Fonte: Kreith & Kreider , 1978; Rivero, 1986; Baêta & Souza, 1997 (adaptados).



# Desafios

Qual das massas de parafina (energia de fusão = **150,7 J/g**) vai derreter e pingar primeiro?

**1º caso)** Arames com ( $k$ )'s diferentes, porém com mesma área transversal ( $A$ ) e mesmo comprimento ( $L$ ), submetidos à mesma diferença de temperatura ( $\Delta T$ ) no mesmo intervalo de tempo ( $\Delta t$ ).

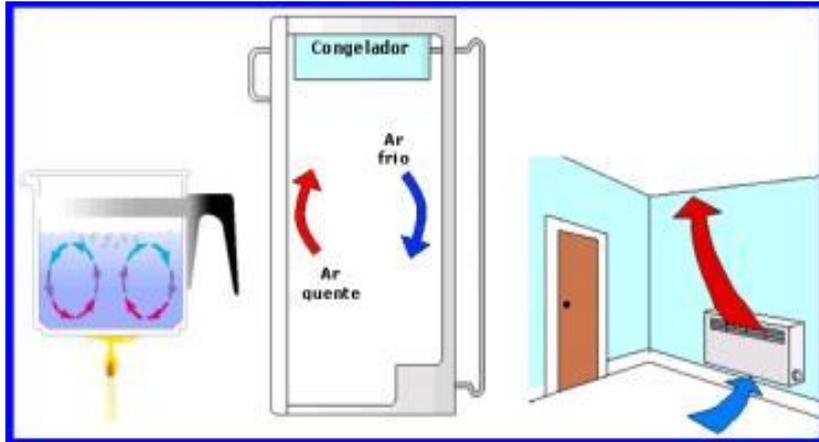
$$\dot{Q}_{cond} = k \times A \times \left( \frac{\Delta T}{L} \right) \longrightarrow \frac{E_{t\acute{e}rm}}{\Delta t} = k \times A \times \left( \frac{\Delta T}{L} \right) \longrightarrow \boxed{E_{t\acute{e}rm} = a \times k}$$

$$k_{Fe} = \mathbf{79,5} \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1} \quad k_{Al} = \mathbf{204} \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1} \quad k_{Lat\tilde{a}o} \text{ (70\% Cu - 30\% Zn)} = \mathbf{109} \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$$

**2º caso)** Arames de mesmo material ( $k$ ), porém com áreas transversais ( $A$ ) diferentes, mesmo comprimento ( $L$ ), submetidos à mesma diferença de temperatura ( $\Delta T$ ) no mesmo intervalo de tempo ( $\Delta t$ ).

$$\dot{Q}_{cond} = k \times A \times \left( \frac{\Delta T}{L} \right) \longrightarrow \frac{E_{t\acute{e}rm}}{\Delta t} = k \times A \times \left( \frac{\Delta T}{L} \right) \longrightarrow \boxed{E_{t\acute{e}rm} = b \times A}$$

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



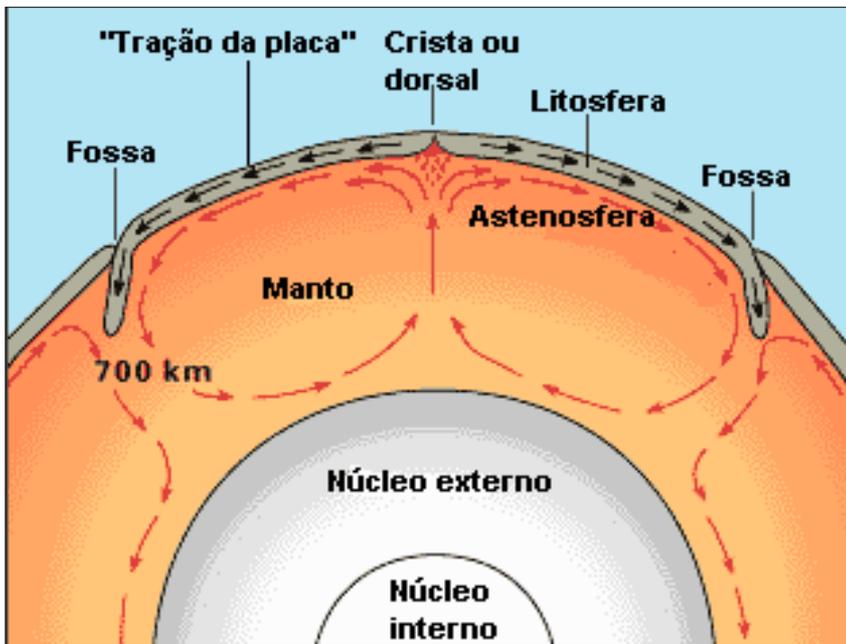
$$\dot{Q}_{conv} = h \times A \times (T_f - T_s) \quad [W]$$

*Equação de Newton*

$h$  → coeficiente de convecção térmica  
(*umidade e velocidade do fluido*)

$T_f$  → temperatura do fluido ao longe

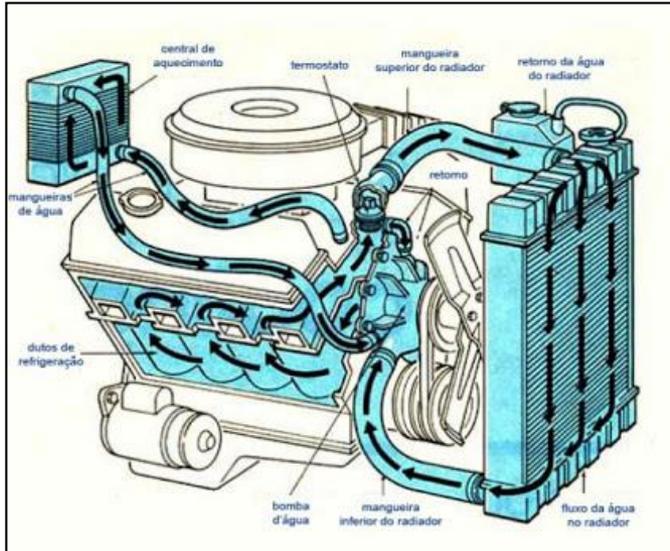
$T_s$  → temperatura da superfície



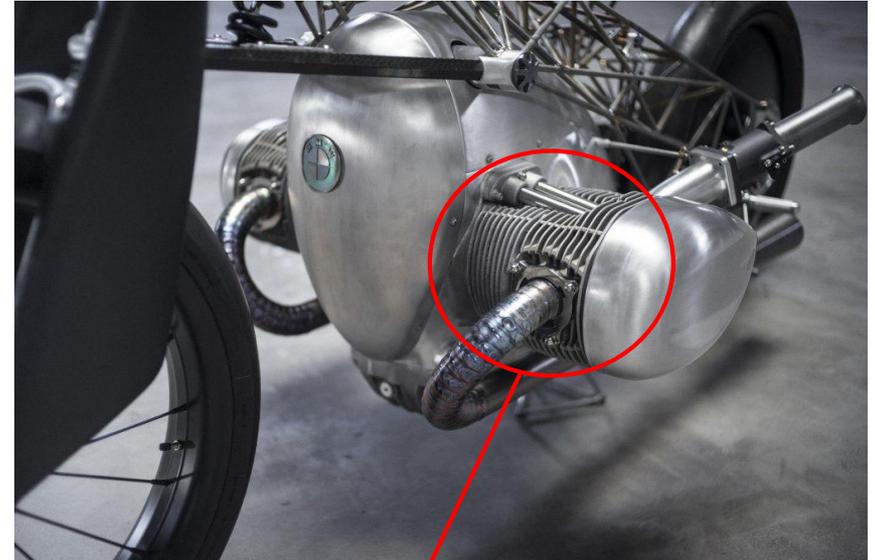
PROCESSO		$h$ [ W / m <sup>2</sup> .K ]
CONVECÇÃO NATURAL	Ar	5 - 30
	Gases	4 - 25
	Líquidos	120 - 1.200
	Água, líquida	20 - 100
	Água em ebulição	120 - 24.000
CONVECÇÃO FORÇADA	Ar	30 - 300
	Gases	12 - 120
	Líquidos	60 - 25.000
	Água, líquida	50 - 10.000
	Água em ebulição	3.000 - 100.000
	Água em condensação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

# Aplicações e fenômenos

- Sistema de arrefecimento de motor de automóvel



- Sistema de arrefecimento de motor de motocicleta



- Secagem de roupas



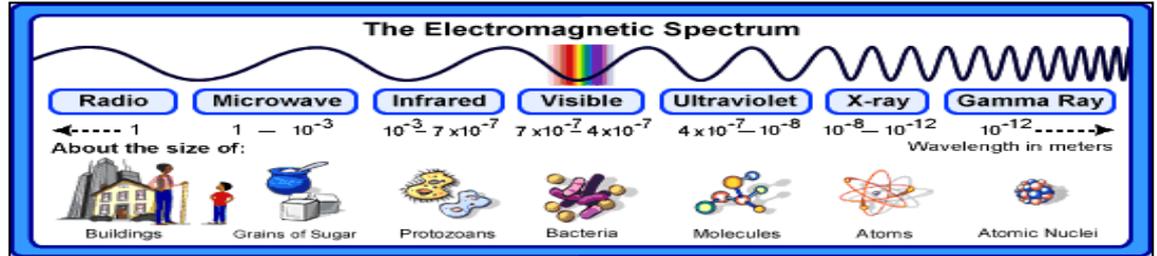
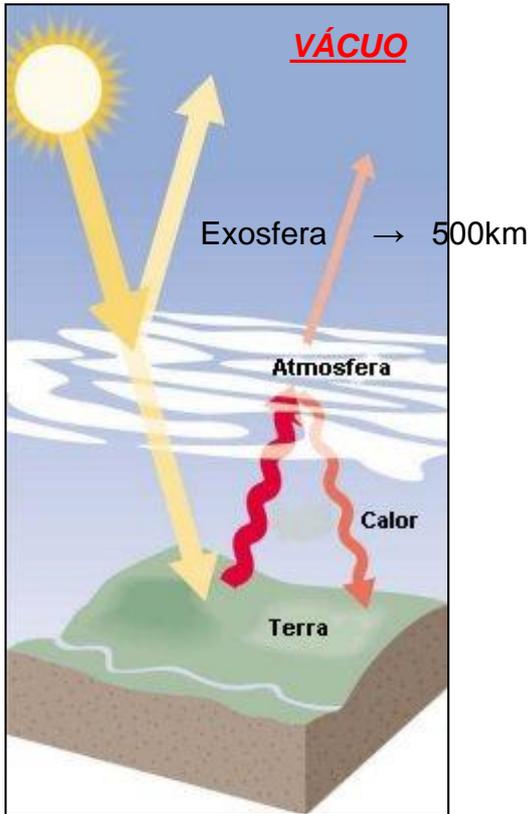
aletas



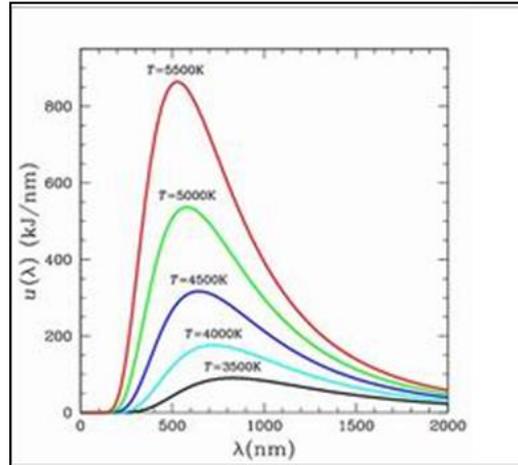
- Sistema de arrefecimento de processador

# Irradiação Térmica (matéria ou vácuo)

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



Emissão de energia por um corpo ideal ("negro")



Material (300K)	Emissividade
Vegetação, solo, água, pele	0,92 – 0,96
Asfalto	0,85 – 0,93
Aço inox polido	0,17
Ouro, prata ou cobre polidos	0,018 – 0,035

$$\dot{Q} = e \times \sigma \times A \times T^4$$

Lei de Stefan - Boltzmann

**[ W ]**

**e** → emissividade da superfície do corpo

**σ** → constante de Stefan-Boltzmann  
→  $5,67 \times 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$

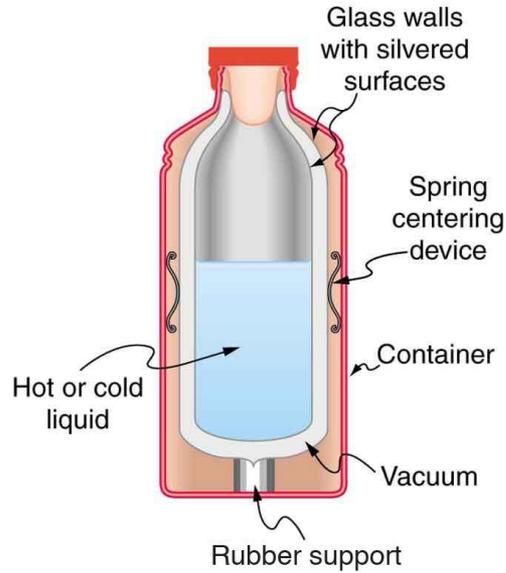
**A** → área superficial de emissão

**T** → Temperatura absoluta da superfície

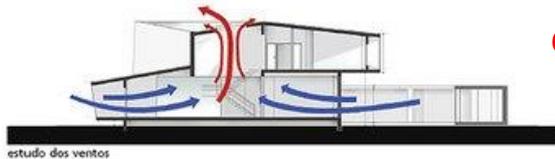
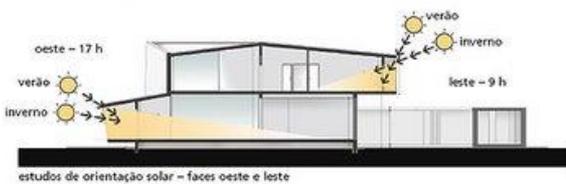
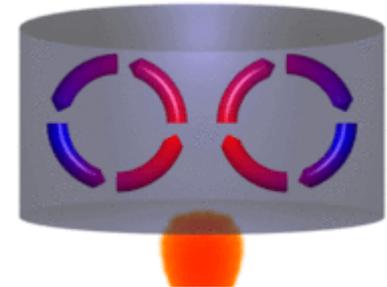
# Aplicações e fenômenos



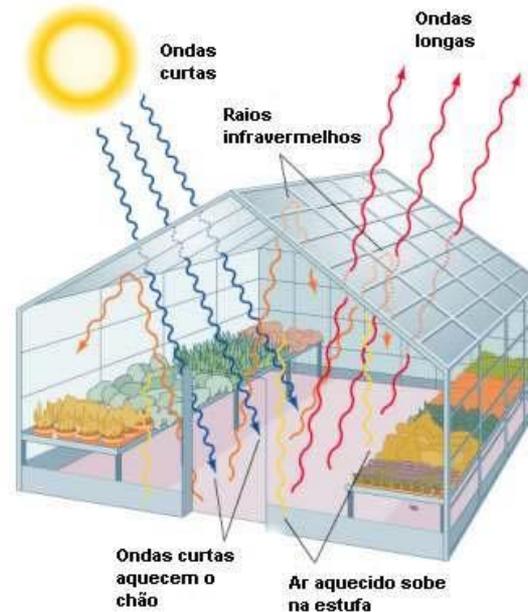
**Garrafa Térmica**



**Aquecimento de água**



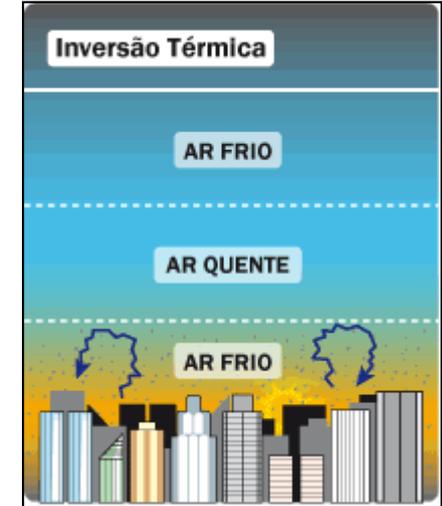
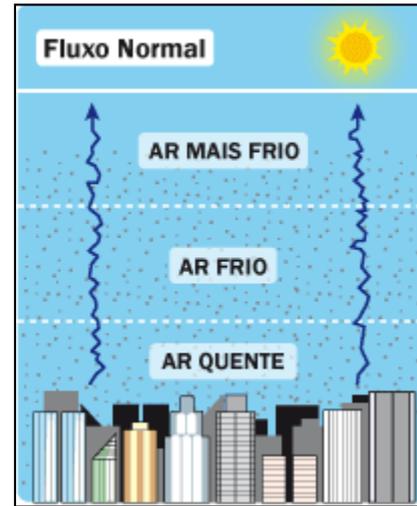
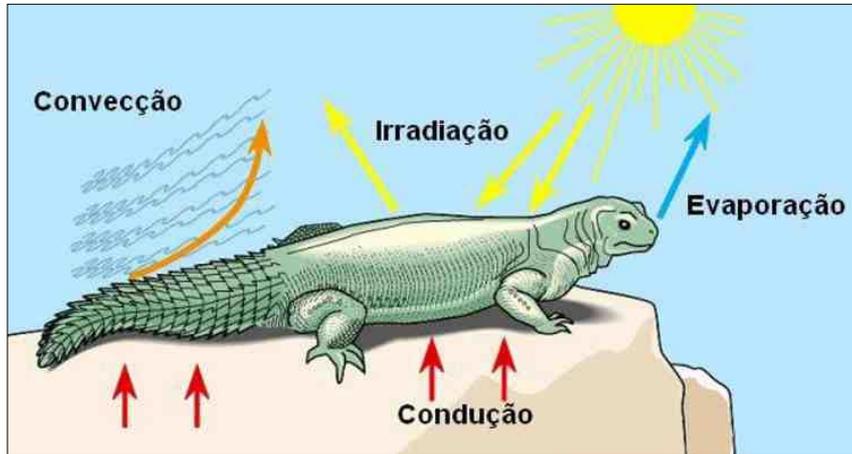
**Circulação de ar**



**Efeito Estufa**

# Aplicações e fenômenos

## Termorregulação em Seres Vivos



## Furacão *Ivan* (09/2004)



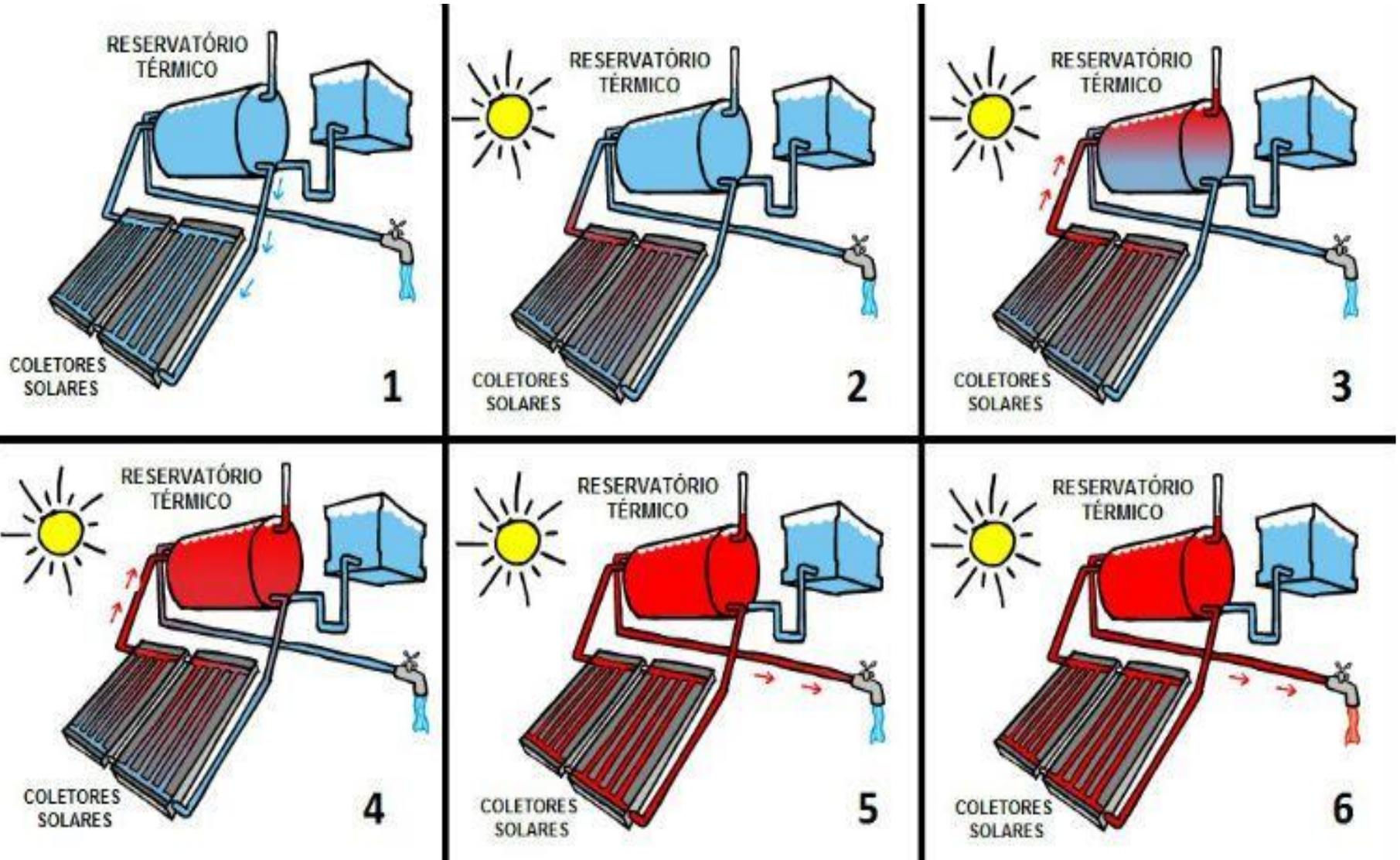
<http://www.invivo.fiocruz.br/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?inoid=707&sid=9>

## Inversão Térmica



# Aplicações e fenômenos

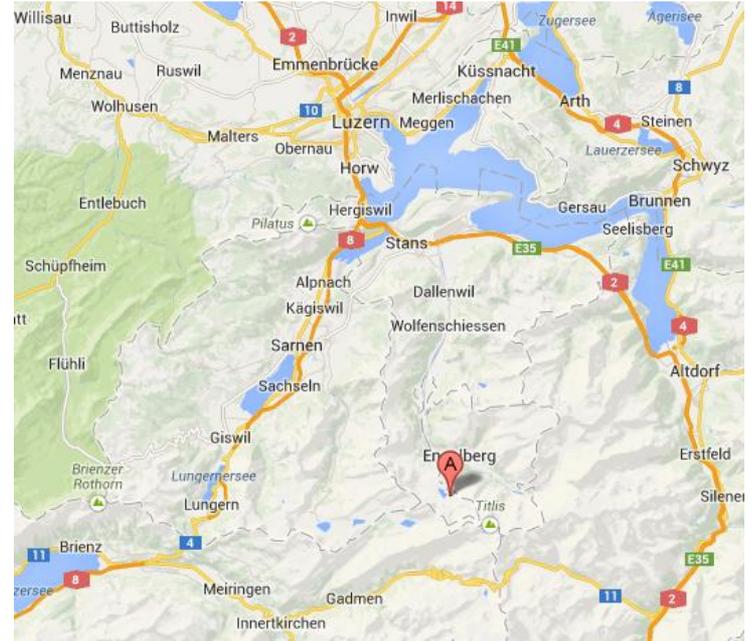
Sistema de aquecimento natural por efeito *termossifão*



# Aplicações e fenômenos



*Engelberg Igloo Hotel  
Suíça*



*Flamingo*



# Exercícios de aplicação

- 1) (FMABC - SP) Atualmente, os diversos meios de comunicação vêm alertando a população para o perigo que a Terra começou a enfrentar já há algum tempo: o chamado "efeito estufa!". Tal efeito é devido ao excesso de gás carbônico, presente na atmosfera, provocado pelos poluentes dos quais o homem é responsável direto. O aumento de temperatura provocado pelo fenômeno deve-se ao fato de que:
- a) a atmosfera é transparente à energia radiante e opaca para as ondas de calor;
  - b) a atmosfera é opaca à energia radiante e transparente para as ondas de calor;
  - c) a atmosfera é transparente tanto para a energia radiante como para as ondas de calor;
  - d) a atmosfera é opaca tanto para a energia radiante como para as ondas de calor;
  - e) a atmosfera funciona como um meio refletor para a energia radiante e como meio absorvente para as ondas de calor.
- 2) (MACKENZIE) Uma parede de tijolos e uma janela de vidro de espessura 180mm e 2,5mm, respectivamente, têm suas faces sujeitas à mesma diferença de temperatura. Sendo as condutibilidades térmicas do tijolo e do vidro iguais a 0,12 e 1,00 unidades SI, respectivamente, então a razão entre o fluxo de calor conduzido por unidade de superfície pelo vidro e pelo tijolo é:
- a) 200      b) 300      c) 500      d) 600      e) 800
- 3) (UNIFENAS) A transmissão de calor por **convecção** só é possível:
- a) no vácuo   b) nos sólidos   c) nos líquidos   d) nos gases   e) nos fluidos em geral.

- 4) Uma taxa de calor de  $3\text{kW}$  é conduzida através de um material isolante com área de seção reta de  $10\text{m}^2$  e espessura de  $2,5\text{cm}$ . Se a temperatura da superfície interna (quente) é de  $415^\circ\text{C}$  e a condutividade térmica do material é de  $0,2\text{ W/m.K}$ , qual a temperatura da superfície externa?
- 5) O fluxo de calor através de uma placa de madeira com  $50\text{mm}$  de espessura, cujas temperaturas das superfícies interna e externa são de  $40$  e  $20^\circ\text{C}$ , respectivamente, foi determinado e é igual a  $40\text{W/m}^2$ . Qual a condutividade térmica da madeira?
- 6) As temperaturas das superfícies interna e externa de uma janela de vidro, com espessura de  $5\text{mm}$ , são de  $15$  e  $5^\circ\text{C}$ , respectivamente. Qual é a perda de calor através de uma janela com dimensões de  $1\text{m}$  de largura por  $3\text{m}$  de altura? A condutividade térmica do vidro é igual a  $1,4\text{W/m.K}$ .
- 7) A câmara de um freezer é um espaço cúbico com  $2\text{m}$  de lado. Considere o fundo como sendo perfeitamente isolado. Qual a espessura mínima de um isolamento a base de espuma de poliestireno ( $k = 0,030\text{W/m.K}$ ) que deve ser aplicado nas paredes do topo e dos lados para garantir que a carga (potência) térmica que entra no freezer seja inferior a  $500\text{W}$ , quando a suas superfícies interna e externa se encontram a  $-10$  e  $35^\circ\text{C}$ , respectivamente.
- 8) Qual a espessura necessária para uma parede de alvenaria com condutividade térmica de  $0,75\text{W/m.K}$  se a taxa de transferência de calor através dessa parede deve ser equivalente a  $80\%$  da taxa de transferência através de uma parede estrutural com condutividade térmica de  $0,25\text{W/m.K}$  e espessura de  $100\text{mm}$ ? As superfícies de ambas as paredes estão sujeitas à mesma diferença de temperatura.

- Resolução do exercício 4:

$$\dot{Q}_{cond} = 3kW$$

$$A = 10m^2$$

$$L = 2,5cm$$

$$T_H = 415^\circ C \rightarrow T(K) = t(^{\circ}C) + 273 = 688K$$

$$k = 0,2 \frac{W}{m \cdot K}$$

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

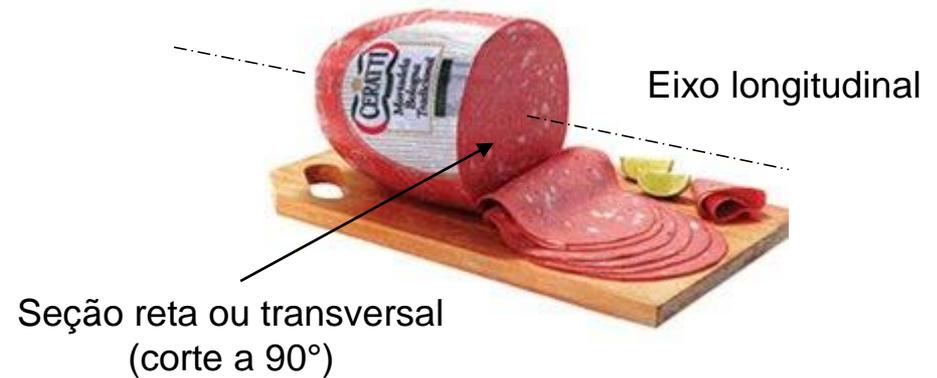
$$3 \cdot 10^3 W = 0,2 \frac{W}{m \cdot K} \cdot 10 m^2 \cdot \frac{\Delta T}{2,5 \cdot 10^{-2} m}$$

$$\Delta T = \frac{3 \cdot 10^3 \cdot 2,5 \cdot 10^{-2}}{0,2 \cdot 10} \rightarrow$$

$$\Delta T = 37,5K \rightarrow T_H - T_C = 37,5K \rightarrow$$

$$T_C = T_H - 37,5K \rightarrow T_C = 650,5K$$

$$t_c = 377,5^\circ C$$



- 9) Um circuito integrado (chip) quadrado de silício ( $k = 150\text{W/m.K}$ ) possui  $\ell = 5\text{mm}$  de lado e uma espessura  $L = 1\text{mm}$ . O chip está alojado no interior de um substrato de tal modo que as superfícies laterais e inferior estão isoladas termicamente, enquanto sua superfície superior encontra-se exposta a uma substância refrigerante. Se  $4\text{W}$  estão sendo dissipados pelos circuitos que se encontram montados na superfície inferior do chip, qual a diferença de temperatura que existe entre as suas superfícies inferior e superior, em condições de regime estacionário, isto é, sem mudança?
- 10) Você experimenta um resfriamento por convecção toda vez que estende sua mão para fora da janela de um veículo em movimento ou que a imerge em uma corrente de água fria. Com a superfície de sua mão a uma temperatura de  $30^\circ\text{C}$ , determine o fluxo de calor por convecção para (a) o caso de um veículo a  $35\text{ km/h}$  em meio ao ar a  $-5^\circ\text{C}$  e com coeficiente de transferência de calor por convecção de  $40\text{W/m}^2.\text{K}$ , e para (b) uma corrente de água com velocidade de  $0,2\text{m/s}$ , temperatura de  $10^\circ\text{C}$  e coeficiente de transferência por convecção de  $900\text{W/m}^2.\text{K}$ . Qual a condição que o faria sentir “*mais frio*”? Compare estes resultados com uma perda de calor de aproximadamente  $30\text{W/m}^2$  para condições ambientes normais.
- 11) Ar a  $40^\circ\text{C}$  escoa por sobre um cilindro longo, com  $25\text{mm}$  de diâmetro, que possui um aquecedor elétrico no seu interior. Durante uma bateria de testes foram tomadas medidas da potência dissipada por unidade de comprimento do cilindro,  $P'$ , necessária para manter a temperatura da superfície do cilindro em  $300^\circ\text{C}$  para diferentes velocidades  $V$  da corrente de ar, medidas em uma posição afastada da superfície. Os resultados obtidos foram os seguintes:

Velocidade do ar, $V$ (m/s)	1	2	4	8	12
Potência, $P'$ (W/m)	450	658	983	1507	1963

- a) Determine o coeficiente de transferência de calor por convecção para cada velocidade e apresente os seus resultados em um gráfico.
- b) Supondo que o coeficiente de convecção depende da velocidade de escoamento do ar de acordo com uma relação do tipo  $h = CV^n$ , determine os parâmetros  $C$  e  $n$  para os resultados obtidos na parte (a).

- Resolução do exercício 10:

$$T_s = 30^\circ\text{C} \rightarrow T(K) = t(^{\circ}\text{C}) + 273 = 303\text{K}$$

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

- a) um veículo a 35 km/h em meio ao ar a  $-5^\circ\text{C}$  e  $h = 40\text{W/m}^2\cdot\text{K}$ :

$$T_{ar} = -5^\circ\text{C} \rightarrow T(K) = t(^{\circ}\text{C}) + 273 = 268\text{K}$$

$$\frac{\dot{Q}_a}{A} = 40 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \cdot (268\text{K} - 303\text{K}) \rightarrow \frac{\dot{Q}_a}{A} = -1400 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

- b) uma corrente de água com velocidade de 0,2m/s, temperatura de  $10^\circ\text{C}$  e  $h = 900\text{W/m}^2\cdot\text{K}$ :

$$T_{\acute{a}gua} = 10^\circ\text{C} \rightarrow T(K) = t(^{\circ}\text{C}) + 273 = 283\text{K}$$

$$\frac{\dot{Q}_b}{A} = 900 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \cdot (283\text{K} - 303\text{K}) \rightarrow \frac{\dot{Q}_b}{A} = -18000 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

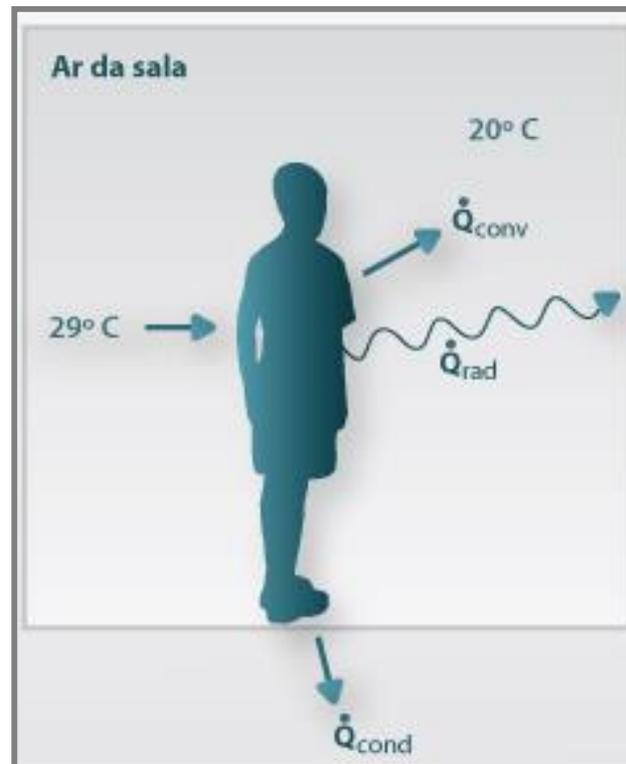
A sensação de maior frio se dá na situação (b).

- Comparações:

$$\frac{\dot{Q}_a}{\dot{Q}_{CN}} = \frac{1400}{30} = 4,67 \qquad \frac{\dot{Q}_b}{\dot{Q}_{CN}} = \frac{18000}{30} = 600$$

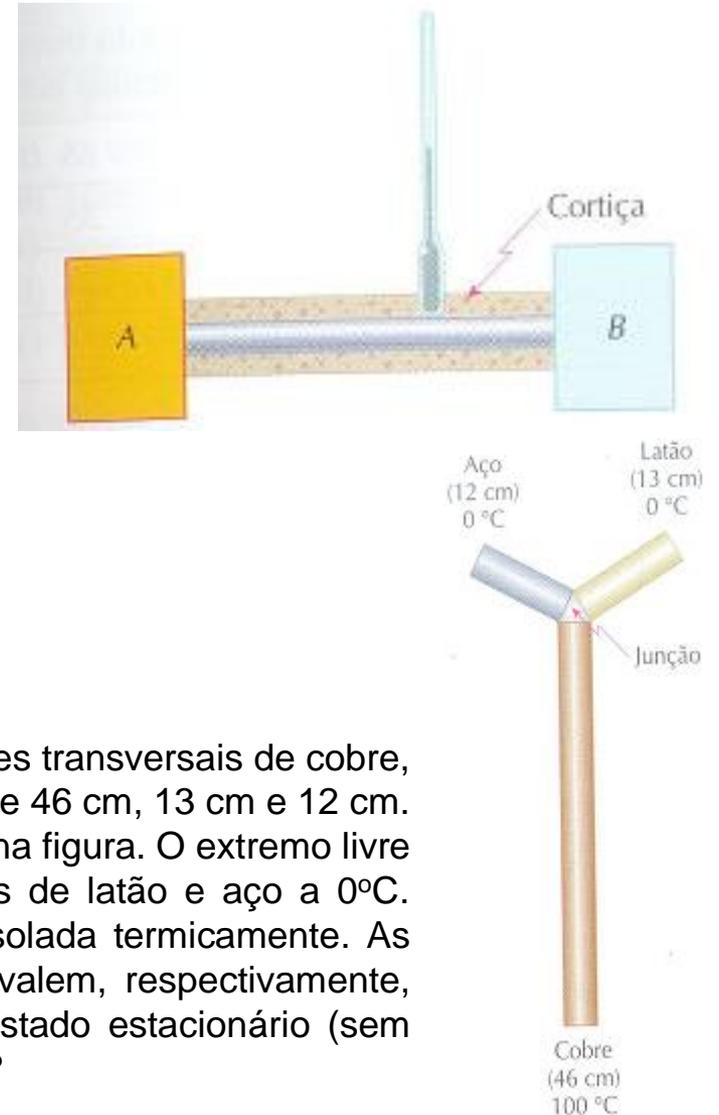
- 12) Determine o calor perdido por uma pessoa, por unidade de tempo, supondo que a sua superfície exterior se encontra a  $29^{\circ}\text{C}$ , sendo a emissividade de 0,95. A pessoa encontra-se numa sala cuja temperatura ambiente é  $20^{\circ}\text{C}$  ( $T_{\infty}$ ) sendo a área do seu corpo de  $1,6\text{m}^2$ . O coeficiente de transferência de calor entre a superfície exterior da pessoa e o ar pode considerar-se igual a  $6\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ . Simplificações: desprezar a transferência de calor por condução através dos sapatos para o chão e o calor perdido por respiração e transpiração; supor que a temperatura das superfícies envolventes (paredes) é idêntica à temperatura ambiente ( $T_{\text{viz}} \approx T_{\infty 0}$ ). Resp.: **168 W**

Constante de Stefan-Boltzmann  $\rightarrow \sigma = 5.670400(40) \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$



13) (UFG) Um lago tem uma camada superficial de gelo com espessura de 4cm a uma temperatura de  $-16^{\circ}\text{C}$ . Determine em quanto tempo o lago irá descongelar sabendo que a potência média por unidade de área da radiação solar incidente sobre a superfície da Terra é  $320\text{W}/\text{m}^2$  (dados: calor específico do gelo =  $0,5\text{cal}/\text{g}^{\circ}\text{C}$ ; calor latente de fusão do gelo =  $80\text{ cal}/\text{g}$ ; densidade do gelo =  $1\text{g}/\text{cm}^3$ ;  $1\text{cal} = 4\text{J}$ ).  
 Resp.:  $\approx 12,2\text{ h}$

14) (UEA-AM) A figura apresenta uma barra de chumbo de 40 cm de comprimento e área de secção transversal de  $10\text{cm}^2$  isolada com cortiça; um termômetro fixo na barra calibrado na escala Fahrenheit e dois dispositivos A e B que proporcionam, nas extremidades da barra, as temperaturas correspondentes aos pontos do vapor e do gelo, sob pressão normal, respectivamente. Considerando a intensidade da corrente térmica constante ao longo da barra, determine a temperatura registrada no termômetro, sabendo-se que ele se encontra a 32 cm do dispositivo A (dado: coeficiente de condutividade térmica do chumbo  $k = 8 \times 10^{-2}\text{ cal}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{cm}^2\cdot^{\circ}\text{C}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ )  
 Resp.:  $20^{\circ}\text{C}$  ou  $68^{\circ}\text{F}$ .



15) (Mackenzie-SP) Têm-se três cilindros de mesmas secções transversais de cobre, latão e aço, cujos comprimentos são, respectivamente, de 46 cm, 13 cm e 12 cm. Soldam-se os cilindros, formando o perfil em Y indicado na figura. O extremo livre do cilindro de cobre é mantido a  $100^{\circ}\text{C}$  e os cilindros de latão e aço a  $0^{\circ}\text{C}$ . Suponha que a superfície lateral dos cilindros esteja isolada termicamente. As condutividades térmicas do cobre, do latão e do aço valem, respectivamente, 0,92, 0,26 e 0,12 expressas em  $\text{cal}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}\cdot^{\circ}\text{C}^{-1}$ . No estado estacionário (sem mudança) de condução, qual é a temperatura na junção?

# **Referências Sitigráficas**

- [http://alexandregrillo.com.br/website/downloads/unifeso\\_aulas\\_de\\_transporte\\_de\\_calor/aula\\_IV\\_t\\_c\\_convercao\\_de\\_calor.pdf](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://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://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://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://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](http://www.feiradeciencias.com.br/sala02/02_100.asp) (inversão térmica)
- <https://www.todamateria.com.br/termodinamica/>