

Física Aplicada

ENG. INFORMÁTICA
2020-2021

Matéria.
Transferência
de energia.
Calor.

Temática 5

- ▶ Matéria e calor.
- ▶ Temperatura
- ▶ Expansão Térmica.
- ▶ Transferência de energia.
- ▶ Calor e transferência de energia térmica, condução, convecção e radiação.
- ▶ Resistência térmica e analogia elétrica.
- ▶ Aplicações.

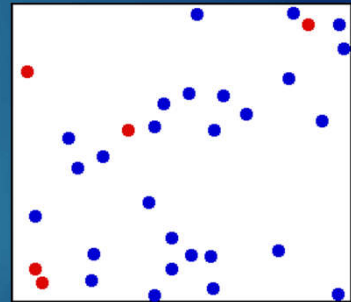
Temperatura

Temperatura é a grandeza que caracteriza o estado térmico de um corpo ou sistema.

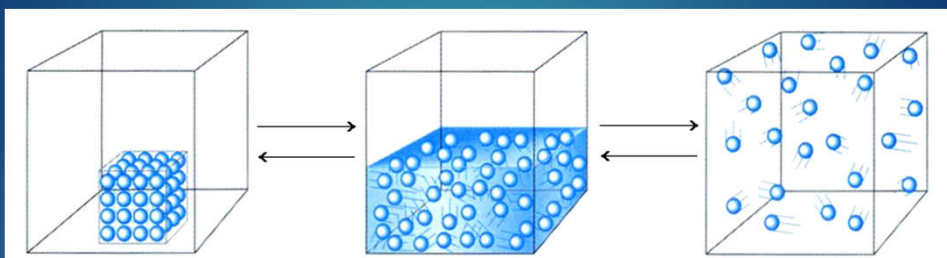
Fisicamente, a noção de quente e frio é um pouco diferente do que habitualmente usamos no nosso dia-a-dia.

Podemos definir como *quente* um corpo que tem suas moléculas agitação elevada, ou seja, com alta energia cinética. Analogamente, um corpo frio, é aquele que tem baixa agitação das suas moléculas.

Ao aumentar a temperatura de um corpo ou sistema pode-se dizer que se está aumentando o estado de agitação de suas moléculas.



Principais Estados da Matéria



Sólido

- Forma rígida;
- Átomos compactos, e ordenados;
- Volume bem definido;
- Movimento molecular restrito.

Líquido

- Forma indefinida;
- Átomos desordenados;
- Volume definido;
- Partículas movem-se umas entre as outras.

Gasoso

- Forma indefinida;
- Átomos totalmente desordenados;
- Volume indefinido;
- Partículas livres para se moverem.

Temperatura

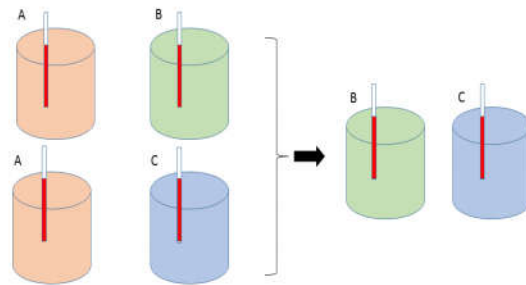
► Uma definição primária de temperatura pode ser obtida a partir da **lei zero da termodinâmica** e do conceito de equilíbrio termodinâmico.

►

► **"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"**

► Portanto, dois objetos em equilíbrio térmico um com o outro, estão à mesma temperatura.

► A Temperatura pode ser vista como a propriedade que determina quando é que um objeto está em equilíbrio térmico com outro objeto.



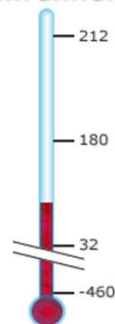
Escala de Temperaturas

kelvin – K (SI)

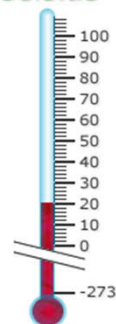
Estabelecido por acordo internacional – facilmente reprodutível.

- Ponto de gelo (equilíbrio entre gelo, água e ar a 1 atm): 273,15 K.
- Ponto de vapor (equilíbrio entre a água líquida e o seu vapor a 1 atm): 373,15K.
- Intervalo entre ponto de gelo e ponto de vapor = 100 K.

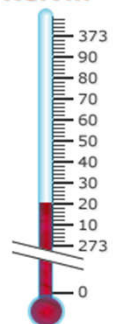
Fahrenheit



Celsius



Kelvin



Escalas (cont.)

Escala Célsius

- ▶ A distância entre as marcas é dividida em 100 segmentos iguais, cada um regista uma variação na temperatura de um grau Célsius
- ▶ Ponto de fusão do gelo - 0 °C
- ▶ Ponto de ebulição da água - 100 °C

Escala Fahrenheit

- ▶ Ponto de fusão em 32 °F
- ▶ Ponto de vapor em 212 °F

Relação entre as escala Célsius e Fahrenheit

$$T_F = \frac{9}{5}T_C + 32$$

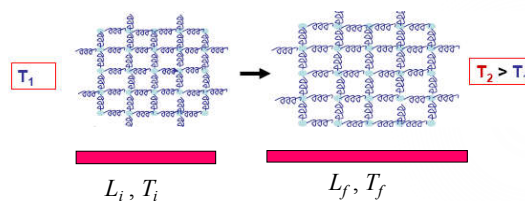
O tamanho de “um grau” na escala Célsius é diferente do tamanho de um grau na escala Fahrenheit

$$\Delta T_F = \frac{9}{5}\Delta T_C$$

Expansão Térmica

A maior parte dos sólidos e líquidos sofre uma expansão quando a sua temperatura aumenta, esta expansão depende da sua estrutura cristalina.

Um corpo tem um comprimento inicial L_i



Para uma variação de ΔT na temperatura o comprimento aumenta de ΔL

Para ΔT pequeno

$$\Delta L = \alpha L_i \Delta T$$

ou

$$L_f - L_i = \alpha L_i (T_f - T_i)$$

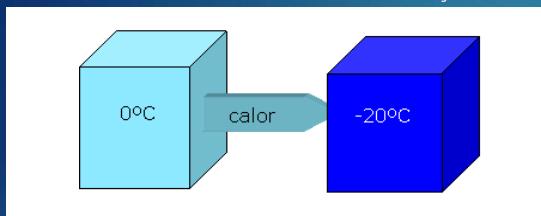
Sendo α , chamado de **coeficiente de expansão linear** para um determinado material e apresenta como unidades: K^{-1} ($^{\circ}C^{-1}$)



$$\Delta V = \beta V_i \Delta T \quad \dots \quad (\beta = 3\alpha)$$

Calor

"Calor é a **energia térmica em trânsito**, devido a uma diferença de temperatura entre os corpos".



Há **transferência efetiva** de calor, **espontaneamente**, do corpo mais quente para o corpo mais frio.

Unidades de medida de calor

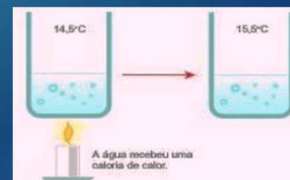
- caloria – **cal**
- Joule – **J**
- British thermal unit – **Btu**

Btu é a quantidade de calor para elevar **1 lb** de água de **63°F** para **64°F**.

Joule - unidade adotada pelo **SI** para energia.

A **caloria** é definida como a quantidade de calor necessária para se elevar de **14,5°C** para **15,5°C** uma quantidade de **1g** de água.
1 cal = 4,184J

$$1 \text{ Btu} = 252 \text{ cal} = 1054 \text{ J}$$



Corpos em
desequilíbrio térmico
trocam calor para
alcançar o equilíbrio.

Num sistema **isolado**, a quantidade total de calor trocado entre corpos é **nula**, ou seja, o calor total recebido pelos corpos mais frios é igual ao calor total retirado dos mais quentes.

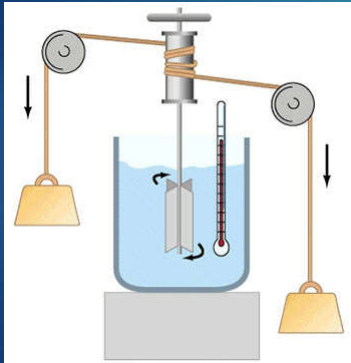
$$\sum Q = 0$$

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

Transferência de calor:

Indica **como ocorre e qual a velocidade** com que o calor é transportado.

Experiencia de Joule



Primeira Lei da termodinamica:

A variação na energia interna de um sistema isolado é igual ao calor transferido para o sistema mais o trabalho realizado sobre o sistema

$$E_{int} = \Delta Q + \Delta W$$

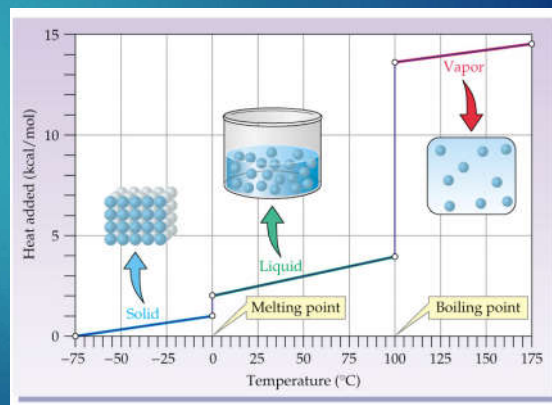
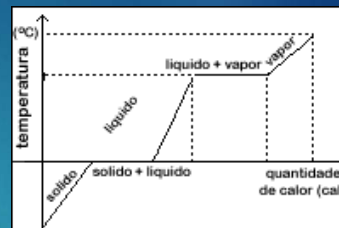
Esta lei não é mais que o principio de conservação de energia.

E quando se transfere calor para um corpo a temperatura aumenta ?

A temperatura pode aumentar ... ou não.

Duas formas de calor,

- Uma faz aumentar a temperatura, calor específico
- À outra forma não aumenta a temperatura mas é necessária para passar de fase, calor latente



Calor Específico

- O calor utilizado pela substância apenas para variar a sua temperatura, sem alterar seu estado físico da matéria.

$$Q = mc\Delta T$$

- Q = quantidade de calor trocado, unidade no SI, joule, J, [em outros sistemas, c.g.s, caloria, cal, no sistema inglês, BTU, etc];
- m = massa do corpo, no SI, quilograma, kg no sistema cgs, grama, g;
- c = calor específico da substância [J/(kg K) ou J/(kg °C)];
- ΔT = variação da temperatura ($T_{\text{final}} - T_{\text{inicial}}$) [K, °C]

- O calor específico c de uma substância é: $c = \frac{Q}{m\Delta T}$

Calor Latente

O calor trocado é utilizado pela substância para **mudar de estado físico**, sem variação de temperatura e sob pressão constante.

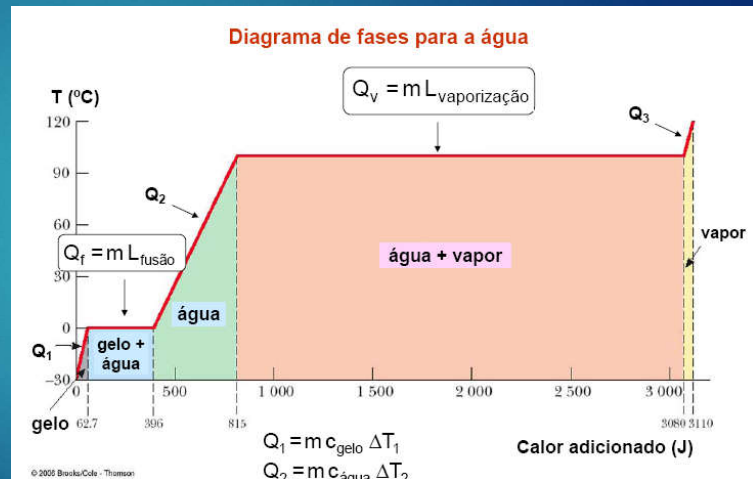
A transferência de energia necessária para a mudança de fase de uma dada massa m de uma substância pura é:

$$Q = mL$$

- Q = quantidade de calor trocado
- m = massa do corpo que mudou o seu estado físico, no SI, quilograma, kg no sistema cgs, grama, g;
- L = **calor latente** da substância [J/kg];
- O calor latente é também muitas vezes designado por λ , dependendo da bibliografia.

Representação gráfica da Temperatura versus energia fornecida, quando uma determinada massa de gelo inicialmente a:

– 30,0 °C é convertido em vapor a 120,0 °C.



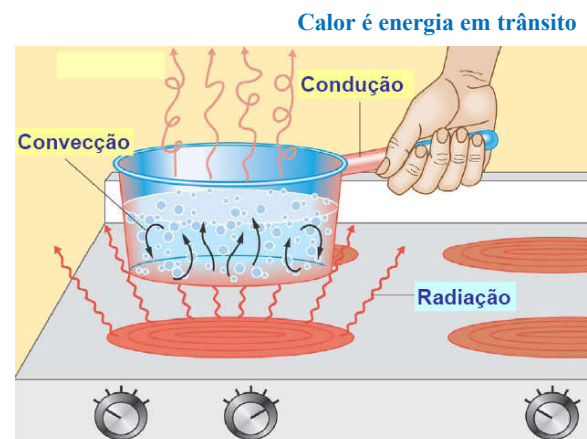
Processos de Transferência de Calor

- A transferência de calor é sempre realizada **do mais quente** para **o mais frio**



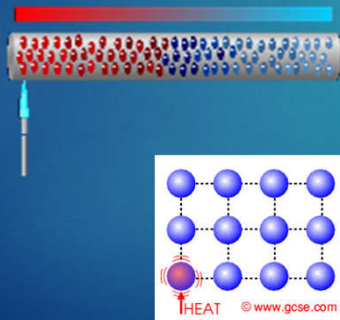
- Podendo ocorrer de três formas:

- ▶ Condução
- ▶ Convecção
- ▶ Radiação



Condução

- ▶ A transmissão de calor ocorre, partícula a partícula, somente através da agitação molecular e dos choques entre as moléculas do meio.

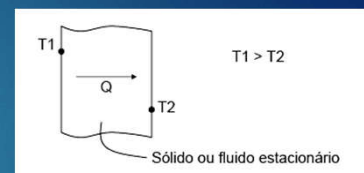


- Transferência de energia de partículas mais energéticas para partículas menos energéticas por contacto direto.
- Característico de meios estacionários.

Esta transferência de calor através de um sólido pode-se quantificar como o fluxo de calor:

O fluxo de calor é influenciado por:

- ▶ Diferença de temperatura
- ▶ Área do material
- ▶ Distância a ser percorrida no material
- ▶ Condutibilidade térmica do material



$$q_{cd} = (Q/\Delta t) = k \cdot A \cdot \Delta T/L$$

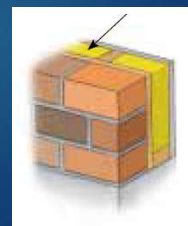
Diretamente proporcional a:

- ▶ ΔT - diferença de temperatura (K)
- ▶ A - área do material (m^2)
- ▶ k - condutibilidade térmica do material [$W/(m \cdot K)$]

Inversamente proporcional a:

- ▶ L - distância a ser percorrida no material (m)

Isolamento



O fluxo de calor por condução é dado por:

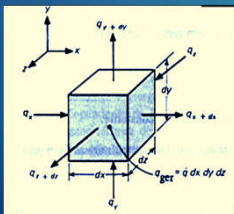
$$q_{cd} = kA \frac{\Delta T}{\Delta x}$$

Quando na realidade, e sendo só unidimensional, deveria de ser:

$$q_{cd} = kA \frac{\partial T}{\partial x}$$

em que q , é a taxa de transferência de calor e $\frac{\partial T}{\partial x}$ é o gradiente de temperatura na direcção do fluxo de calor

Em termos tridimensionais, ou seja nas três direcções coordenadas, a equação geral assumiria a forma seguinte: (e ainda sem o calor gerado no interior do volume)



$$= \frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k \frac{\partial T}{\partial z} \right)$$

e se a condutividade for constante:

$$= k \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right)$$

Convecção

- Transmissão através da agitação molecular e do movimento do próprio meio ou de partes deste meio;
- É o transporte de calor típico dos meios fluídos.



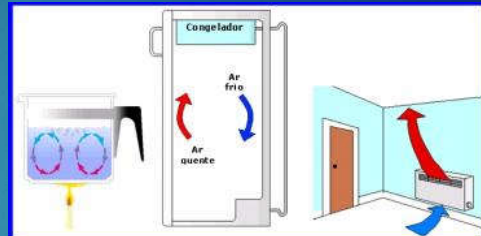
A energia é transferida pelo movimento de um fluído (gases e líquidos)

- Na **convecção natural**, o movimento do fluído é induzido pelas diferenças de densidade causadas por variação de temperatura.
- Na **convecção forçada**, o fluído é forçado a circular por meios externos, como uma bomba, um ventilador, etc.

O fluxo de calor na convecção é influenciado por:

- Diferença de temperatura
- Área de troca de calor
- Propriedades do fluido
- Forma geométrica

$$q_{cv} = \left(\frac{Q}{\Delta t} \right) = h_c A (T_s - T_f)$$



Em que:

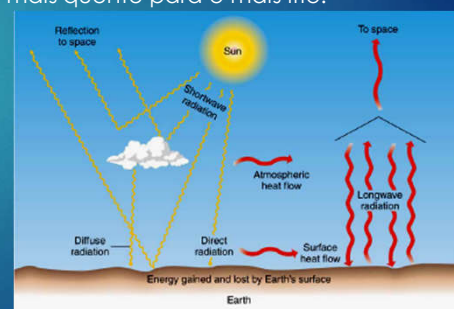
- h_c – coeficiente de transferência de calor [$W / (m^2 \cdot K)$]
- A – área de troca de calor (m^2)
- T_s – temperatura da superfície (K)
- T_f – temperatura do fluido (K)

Radiação

A transferência de calor por radiação não necessita de um material entre os dois pontos para ocorrer;

A sua transmissão é feita pela transferência de fotões entre dois corpos

- Só acontece se um corpo "ver" o outro;
- Acontece em ambas as direções, mas o "saldo" é do corpo mais quente para o mais frio.



Fluxo de calor na Radiação

Qualquer corpo emite radiação eletromagnética devido ao movimento térmico das suas moléculas.

Tem por base a lei "Lei de Stefan-Boltzmann" para corpos reais

A **potência emitida** por um corpo é:

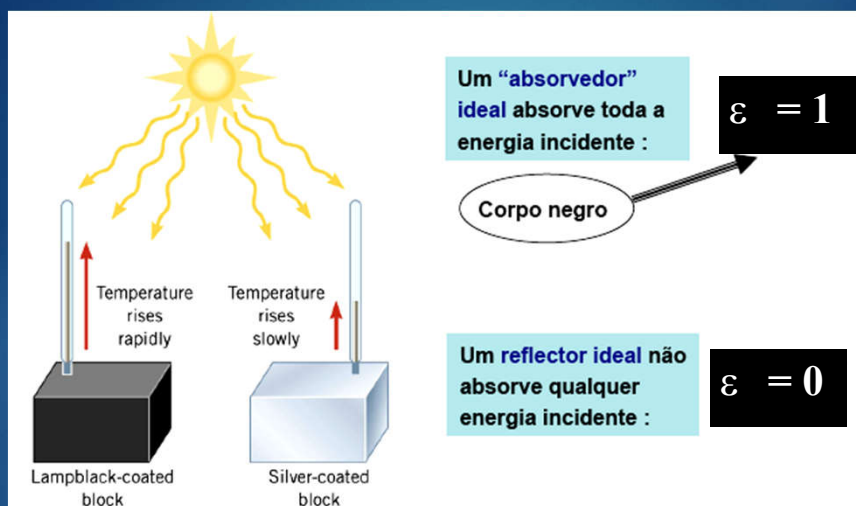
$$P_{\text{irradiada}} = \sigma A \varepsilon T^4$$

ε – emissividade ($0 \leq \varepsilon \leq 1$);

σ – Constante de Stefan-Boltzmann [$5,6696 \times 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K}^4)$];

T – Temperatura absoluta do corpo (K).

A – Área

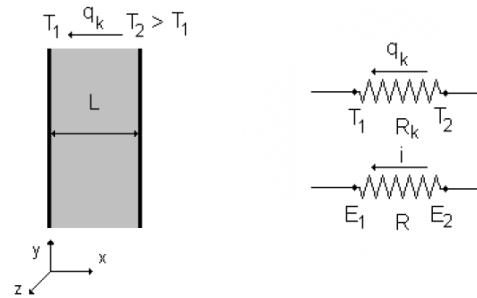


Considerando o corpo negro, o comprimento de onda no qual a potência é máxima, é dada pela *Lei de Wein*:

$$\lambda_{\text{máx}} = \frac{2,898 \times 10^{-3} \text{ m.K}}{T}$$

Resistência Térmica e analogia elétrica

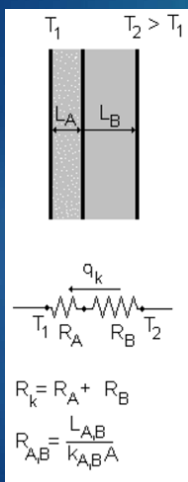
O fluxo de calor é diretamente proporcional à diferença de temperatura e inversamente proporcional à resistência térmica



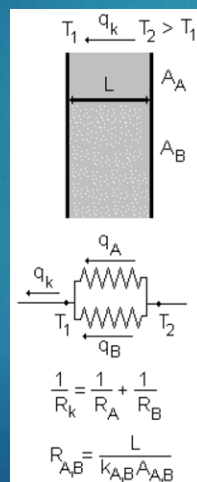
$$q = \left(\frac{Q}{\Delta t} \right) = \frac{\Delta T}{R_t}$$

Resistência Térmica

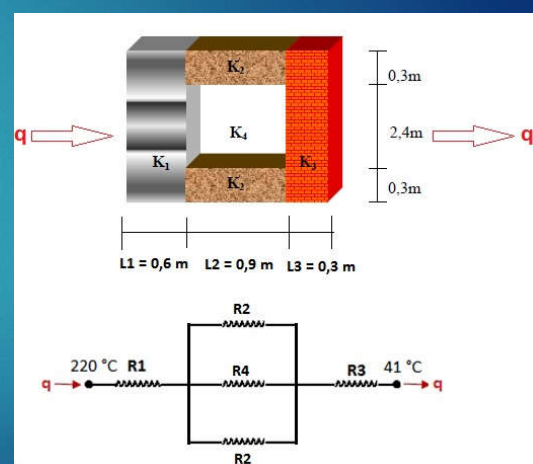
► Em série



► Em paralelo



Exemplo:



Resistência Térmica

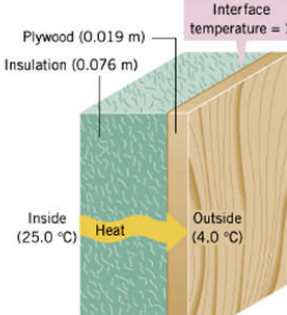
▪ **Condução** $\Rightarrow R_{t,cd} = \frac{L}{(k A)}$

▪ **Convecção** $\Rightarrow R_{t,cv} = \frac{1}{(h_c A)}$

▪ **Radiação** $\Rightarrow R_{t,rad} = \frac{1}{(h_r A)}$

Exemplo:

A área da parede é de 35 m² e as condutividades térmicas da madeira e do isolante são 0,080 e 0,030 J/(s m °C), respetivamente.



Interface temperature = T

Plywood (0.019 m)
Insulation (0.076 m)

Inside (25.0 °C) Heat Outside (4.0 °C)

$Q = Q_{\text{isolante}} = Q_{\text{madeira}}$

$T_{\text{interface}} = ?$

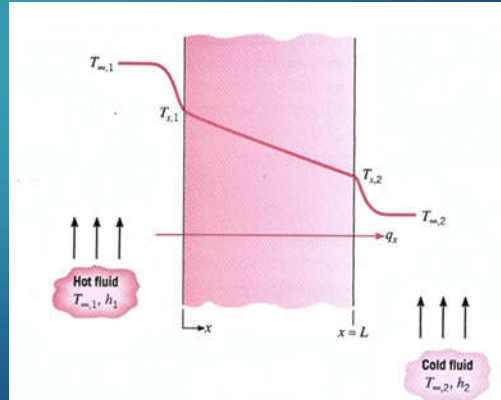
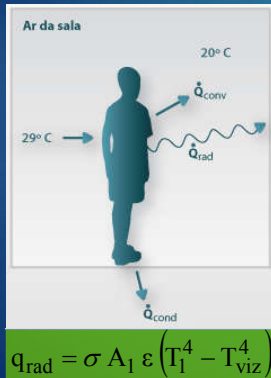
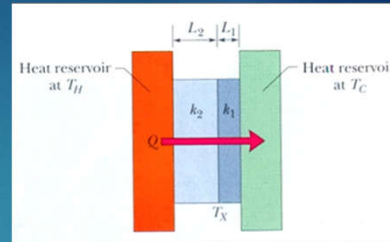
$\left[\frac{(k A \Delta T)}{L} \right]_{\text{isolante}} = \left[\frac{(k A \Delta T)}{L} \right]_{\text{madeira}}$

$\frac{[0,030 \text{ J/(s} \times \text{m} \times ^\circ \text{C)}] A (25,0 ^\circ \text{C} - T)}{0,076 \text{ m}} = \frac{[0,080 \text{ J/(s} \times \text{m} \times ^\circ \text{C)}] A (T - 4,0 ^\circ \text{C})}{0,019 \text{ m}}$

$T_{\text{interface}} = 5,8 ^\circ \text{C}$

Exemplos:

- Só com um processo de transferência de energia
- Com mais do que um processo de transferência de calor



Bibliografia

"Physics for Scientists and Engineers", Raymond A. Serway,

John W. Jewett, 6th Edition

ISBN: 0534408427

"Fundamentals of Physics", D. Halliday, R. Resnick, J. Walker

John Wiley, 8th ed.

"Physics for Scientists and Engineers", Paul A. Tipler, Gene Mosca.