



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
Escola de Engenharia de Lorena – EEL



ENGENHARIA DE MATERIAIS

FENÔMENOS DE TRANSPORTE EM ENGENHARIA DE MATERIAIS

Prof. Dr. Sérgio R. Montoro

sergio.montoro@usp.br



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
Escola de Engenharia de Lorena – EEL



AULA 4

REVISÃO E EXERCÍCIOS



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
Escola de Engenharia de Lorena – EEL



MECANISMOS FUNDAMENTAIS DE **TRANSFERÊNCIA DE CALOR**

REVISÃO



MECANISMOS FUNDAMENTAIS DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR:

TAXA DE CALOR

$$q' = \left[\frac{W}{m} \right]$$

$$q'' = \left[\frac{W}{m^2} \right]$$

$$q''' = \left[\frac{W}{m^3} \right]$$



MECANISMOS FUNDAMENTAIS DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR:

A) CONDUÇÃO

Equação Fundamental (Lei de Fourier):

$$q = -k.A.\frac{\partial T}{\partial x} \Rightarrow q = k.A.\frac{\Delta T}{\Delta x} \Rightarrow q = k.A.\frac{T_1 - T_2}{x_2 - x_1}$$

Onde:

q = fluxo de calor, em [W]

A = área da seção, perpendicular ao fluxo, em [m²]

$\Delta T/\Delta x$ = gradiente de temperatura, em [°C/m]

k = condutividade térmica do material, em [W/m.°C] ou [W/m.K]

$$T_1 > T_2$$

$$x_2 - x_1 = L$$



MECANISMOS FUNDAMENTAIS DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR:

B) CONVECÇÃO

O fluxo de calor por convecção é diretamente proporcional à diferença entre as temperaturas da superfície sólida e do fluido, e é determinada por meio da equação conhecida como a [lei de Newton](#) para o resfriamento:

$$q = h \cdot A \cdot (T_p - T_\infty)$$

q = fluxo de calor, em [W]

h = coeficiente de convecção, em [W/m².°C]

A = área do sólido em contato com o fluido, em [m²]

T_p = temperatura da superfície ou parede sólida, em [°C]

T_∞ = temperatura do fluido, em [°C]

OBS: h = coeficiente de película

h = coeficiente de filme



MECANISMOS FUNDAMENTAIS DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR:

C) RADIAÇÃO

$$q = \sigma \cdot A \cdot e \cdot (T_1^4 - T_2^4)$$

Onde:

q = fluxo de calor, em [W]

σ = constante de Stefan-Boltzmann, $[5,68 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4]$

A = área externa do corpo, em $[\text{m}^2]$

e = emissividade ($e=1$, para um “corpo negro ideal”)

T = temperatura absoluta do corpo, em [K]



MECANISMOS FUNDAMENTAIS DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR:

EXERCÍCIO PROPOSTO 1: O custo da perda de calor através do telhado

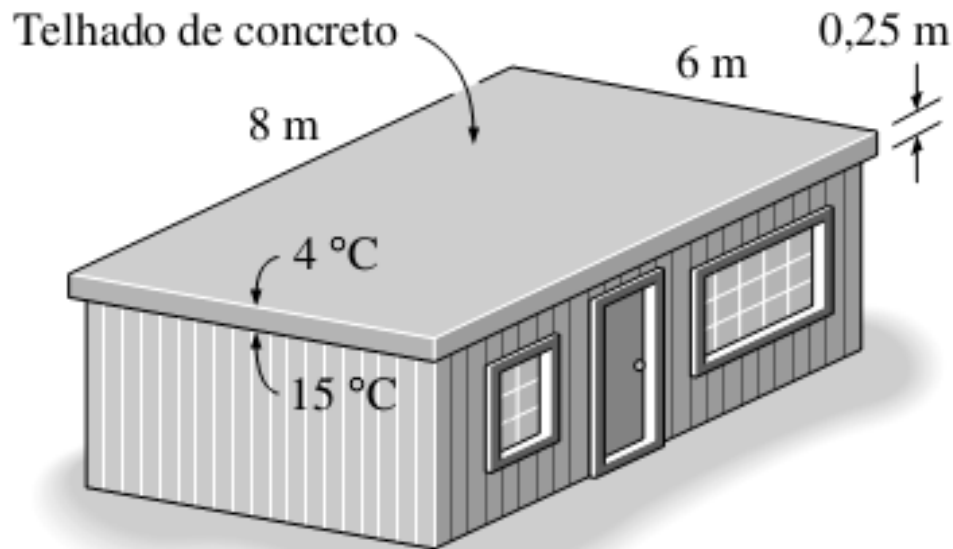
O telhado de uma casa com aquecimento elétrico possui 6 m de comprimento, 8 m de largura e 0,25 m de espessura e é feito de uma camada plana de concreto cuja condutibilidade térmica é $k = 0,8 \text{ W/m.}^\circ\text{C}$, conforme mostrado na figura a seguir.

As temperaturas das faces interior e exterior do telhado, medidas em uma noite, são 15°C e 4°C , respectivamente, durante um período de 10 horas.



MECANISMOS FUNDAMENTAIS DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR:

EXERCÍCIO PROPOSTO 1: O custo da perda de calor através do telhado





MECANISMOS FUNDAMENTAIS DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR:

EXERCÍCIO PROPOSTO 1: O custo da perda de calor através do telhado

Determine:

- a)** a taxa de perda de calor através do telhado naquela noite e;
- b)** o custo dessa perda de calor para o proprietário, se o custo da eletricidade é de US\$ 0,08/kWh.



MECANISMOS FUNDAMENTAIS DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR:

EXERCÍCIO PROPOSTO 2: Efeito da radiação no conforto térmico

Sentir “frio” no inverno e “calor” no verão é uma experiência comum, em nossas casas, mesmo quando o termostato é mantido na mesma posição. Isso é devido ao chamado “efeito radiação” resultante das trocas de calor por radiação entre os nossos corpos e as superfícies das paredes e do teto.

Considere uma pessoa de pé em uma sala mantida a $22\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante todo o tempo. As superfícies interiores das paredes, pavimentos e tetos estão numa temperatura média de $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ no inverno e $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ no verão.



MECANISMOS FUNDAMENTAIS DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR:

EXERCÍCIO PROPOSTO 2: Efeito da radiação no conforto térmico

Determinar a taxa de transferência de calor por radiação entre essa pessoa e as superfícies ao seu redor, se a área e a temperatura média das superfícies expostas da pessoa são de $1,4 \text{ m}^2$ e $30 \text{ }^{\circ}\text{C}$, respectivamente (Figura a seguir).

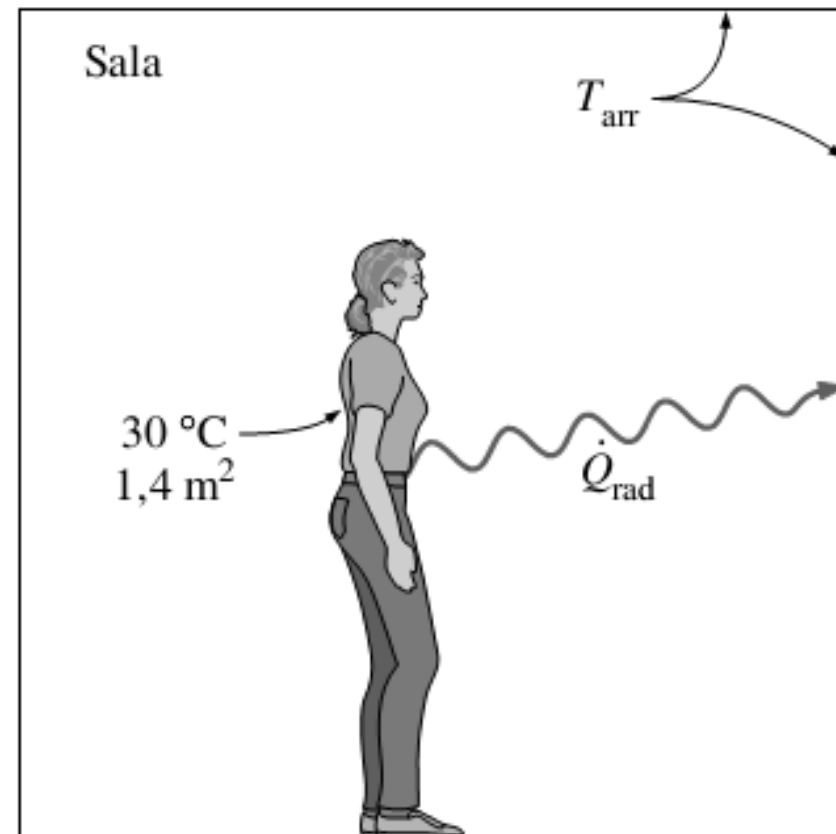


MECANISMOS FUNDAMENTAIS DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR:

EXERCÍCIO PROPOSTO 2: Efeito da radiação no conforto térmico

Suposições:

- ✓ Existem condições operacionais estáveis.
- ✓ A transferência de calor por convecção não é considerada.
- ✓ A pessoa é completamente cercada pelas superfícies interiores da sala.
- ✓ Os arredores são superfícies com uma temperatura uniforme.
- ✓ A emissividade da pessoa é $e = 0,95$





MECANISMOS SIMULTÂNEOS DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR

EXERCÍCIO PROPOSTO 3: Perda de calor de uma pessoa

Considere uma pessoa de pé em uma sala a 20°C. Determinar a taxa total de transferência de calor dessa pessoa, se a superfície exposta e a temperatura média da superfície da pessoa são 1,6 m² e 29°C, respectivamente. O coeficiente de transferência de calor por convecção é de 6 W/m²·K (Figura a seguir)

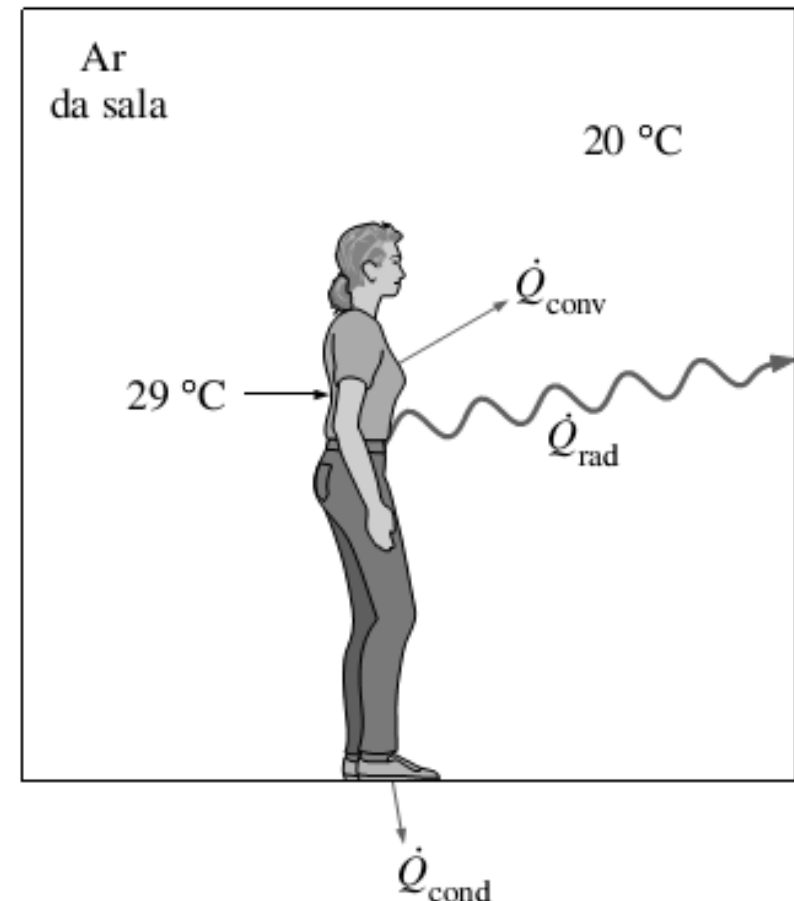


MECANISMOS SIMULTÂNEOS DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR

EXERCÍCIO PROPOSTO 3: Perda de calor de uma pessoa

Suposições:

- ✓ Existem condições operacionais estacionárias.
- ✓ A pessoa está completamente cercada pelas superfícies interiores da sala.
- ✓ As superfícies circundantes estão à mesma temperatura que o ar no quarto.
- ✓ A condução de calor através dos pés para o piso é desprezada.
- ✓ A emissividade da pessoa é $e = 0,95$.





MECANISMOS SIMULTÂNEOS DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR

EXERCÍCIO PROPOSTO 4: Transferência de calor entre duas placas isotérmicas

Considere a transferência de calor permanente entre duas grandes placas paralelas com temperaturas constantes $T_1 = 300 \text{ K}$ e $T_2 = 200 \text{ K}$, que estão separadas de $L = 1 \text{ cm}$, como mostrado na Figura a seguir.

Assumindo as superfícies como corpos negros (emissividade $e = 1$), determinar a taxa de transferência de calor entre as placas por unidade de área, assumindo que o espaço entre as placas é:



MECANISMOS SIMULTÂNEOS DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR

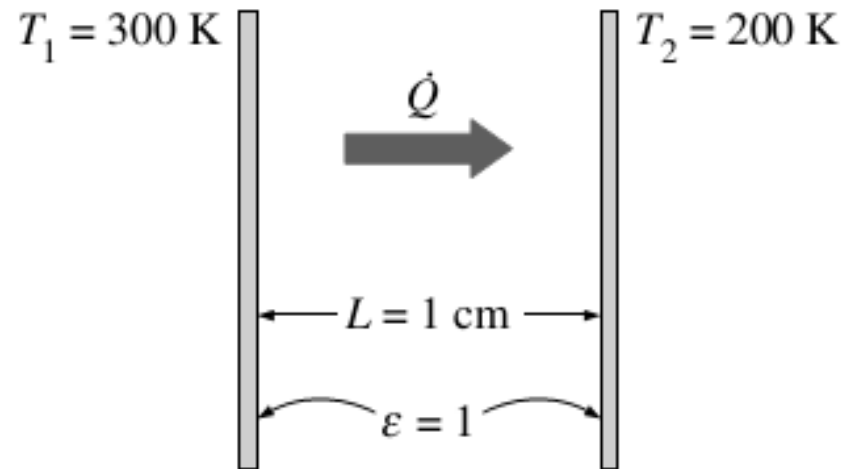
EXERCÍCIO PROPOSTO 4: Transferência de calor entre duas placas isotérmicas

- (a) preenchido com ar atmosférico,
- (b) evacuado,
- (c) cheio com isolamento de poliuretano, e
- (d) preenchido com um superisolamento que tem uma condutividade térmica aparente de $0,00002 \text{ W/m} \cdot \text{K}$.



MECANISMOS SIMULTÂNEOS DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR

EXERCÍCIO PROPOSTO 4: Transferência de calor entre duas placas isotérmicas





MECANISMOS SIMULTÂNEOS DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR

EXERCÍCIO PROPOSTO 4: Transferência de calor entre duas placas isotérmicas

Suposições:

- ✓ Existem condições operacionais estáveis.
- ✓ Não existem correntes de convecção natural no ar entre as placas.
- ✓ As superfícies são negras, portanto, $\epsilon = 1$.

Propriedades: A condutividade térmica na temperatura média de 250 K é $k = 0,0219 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ para o ar, $0,026 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ para o isolamento de poliuretano, e de $0,00002 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ para o superisolamento.



EXERCÍCIO EXTRA

Uma caixa de gelo é construída de isopor ($k = 0,033 \text{ W/m.}^\circ\text{C}$) com dimensões internas de $25 \times 40 \times 100 \text{ cm}$. A espessura da parede de isopor é $5,0 \text{ cm}$.

CONDIÇÃO 1: A superfície externa da caixa está exposta ao ar a 25°C . Se a caixa está completamente cheia de gelo, calcule o tempo necessário para que todo o gelo seja derretido. Explique suas hipóteses.

CONDIÇÃO 2: Se a espessura da caixa aumentar para 6 cm , quanto tempo será necessário para que todo o gelo seja derretido?

DADOS: Calor de fusão da água é 300 kJ/kg . Considere a massa específica do gelo = $0,9178 \text{ g/cm}^3$.