

TCM - Lista de Exercícios 3

Transmissão de Calor: Mecanismos

Exercício 1. Como a condução de calor se difere da convecção?

Exercício 2. Através de $1,3 \text{ m}^2$ de seção transversal de um material isolante (material que apresenta baixa condutividade térmica) de 4 cm de espessura com condutividade térmica $0,3 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{C})$, é conduzido um fluxo de calor de 4 kW . Determine a diferença de temperatura entre as faces do isolante. **Resposta:** 410°C .

Exercício 3. As duas superfícies de uma placa de $1,3 \text{ cm}$ de espessura são mantidas a 4°C e 44°C , respectivamente. Se for avaliado que o calor é transferido por meio da placa a uma taxa de $450 \text{ W}/\text{m}^2$, determine sua condutividade térmica. **Resposta:** $0,146 \text{ W}/(\text{m}\cdot^\circ\text{C})$.

Exercício 4. Existe uma diferença de 70°C através de uma manta de fibra de vidro de 4 cm de espessura. A condutividade térmica da fibra de vidro é $0,039 \text{ W}/(\text{m}\cdot^\circ\text{C})$. Calcule a energia transferida pela fibra em 2 horas, por unidade de área. **Resposta:** $\dot{Q} = 68,25 \text{ W}/\text{m}^2$; $Q = 491 \text{ kJ}/\text{m}^2$.

Exercício 5. Considere uma pessoa em pé em uma sala. As superfícies internas das paredes, do piso e do teto da casa estavam a uma temperatura média de 8°C no inverno e de 30°C no verão. Determine as taxas de transferência de calor por radiação entre essa pessoa e as superfícies em seu entorno no verão e no inverno, considerando que a área de superfície exposta, a emissividade e a temperatura média da superfície exposta da pessoa são $1,7 \text{ m}^2$, $0,9$ e 32°C , respectivamente. **Resposta:** $19,5 \text{ W}$ no verão e 210 W no inverno.

Exercício 6. Ar quente a 70°C é soprado ao longo de uma superfície plana de $2 \text{ m} \times 6 \text{ m}$, a 30°C . Considerando que o coeficiente de transferência de calor por convecção é $41 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$, determine a taxa de transferência de calor do ar para a placa, em kW . **Resposta:** $19,7 \text{ kW}$.

Condução

Exercício 7. O que é difusão? Dê exemplos de processos onde existe difusão.

Exercício 8. Considere um meio cuja equação de condução de calor na forma mais simples é

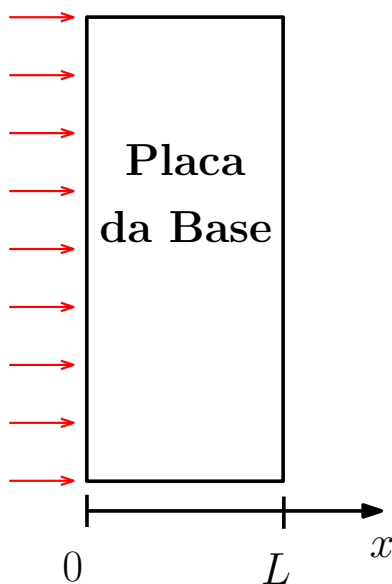
$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t} \quad (1)$$

- (i) Qual o significado físico de α ?
- (ii) A transferência de calor é permanente ou transiente?
- (iii) A transferência de calor é uni, bi ou tridimensional?
- (iv) A condutividade térmica do meio é constante ou variável?

Exercício 9. A variação da temperatura em uma parede plana é dada por $T(x) = 50x + 34$, com x em m e T em $^{\circ}C$. Se a temperatura da superfície externa é $39^{\circ}C$ e o eixo x tem origem na superfície interna, qual é a espessura da parede? **Resposta: 0,10 m.**

Exercício 10. Considere uma placa de metal de espessura $L = 0,03 m$ e área da base $1,2 m^2$, com temperatura da superfície interna em $x = 0$ de $T = 74^{\circ}C$. A superfície externa está exposta ao ar ambiente com $T_{\infty} = 23^{\circ}C$ e coeficiente de transferência de calor por convecção $h = 12 W/m^2 \cdot ^{\circ}C$. Sabendo que a condutividade térmica do metal é $k = 32 W/m^{\circ}C$, calcule a temperatura na superfície externa. **Resposta: 73,4^{\circ}C.**

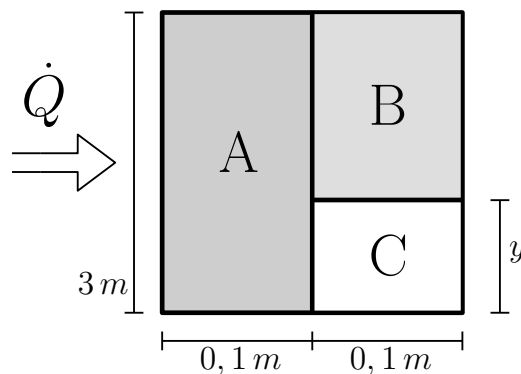
Exercício 11. Considere que a placa da base de um ferro de passar doméstico de $700 W$ possui espessura $L = 0,4 cm$, área da base $A = 150 cm^2$ e condutividade térmica $k = 44 W/m^{\circ}C$ (ver figura). A superfície interna da placa está sujeita a um fluxo de calor uniforme gerado pela resistência do ferro. Quando se alcançam condições de operação permanentes, a temperatura da superfície externa da placa, em $x = L$, mede $112^{\circ}C$. Desconsiderando qualquer perda de calor através da seção superior do ferro, (a) expresse a equação diferencial e as condições de contorno para condução de calor unidimensional permanente através da placa, (b) obtenha a relação para a variação da temperatura na placa da base resolvendo a equação diferencial, e (c) avalie a temperatura da superfície interna. **Resposta: 116,2^{\circ}C.**



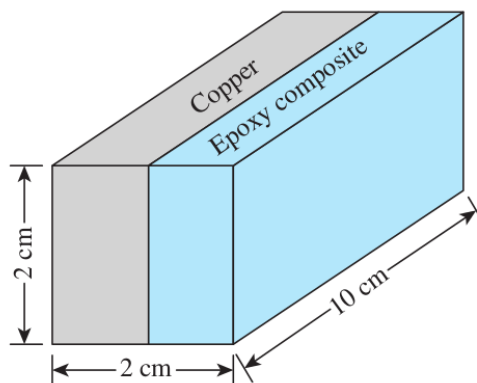
Exercício 12. Considere novamente o exercício 10. Agora a superfície externa da placa também está trocando calor por radiação com o ambiente. Sabendo que a emissividade da placa é $\epsilon = 0,7$ e que $T_{amb} = 25^\circ C$, determine a nova temperatura da superfície externa. **Resposta: $73,2^\circ C$.**

Condução: Resistência Térmica

Exercício 13. Uma parede de 3 m de altura, 2 m de largura (dimensão que entra no plano do papel) e $0,2\text{ m}$ de espessura é composta de 3 materiais, como mostra a figura (fora de escala). Determine o valor de y sabendo que a taxa de condução de calor pela parede é de 2100 W e a queda de temperatura de uma extremidade à outra é de $20^\circ C$. A condutividade térmica de cada material é dada por (em $\text{W}/\text{m}\cdot^\circ C$): $k_A = 15$, $k_B = 2,5$ e $k_C = 0,8$. **Resposta: $y = 0,92\text{ m}$.**



Exercício 14. Uma barra de 10 cm de comprimento com uma seção transversal quadrada, como mostrado na figura, é construída por uma camada de cobre ($k = 220\text{ W}/\text{m}\cdot K$) de 1 cm de espessura e de uma camada de epóxi ($k = 0,35\text{ W}/\text{m}\cdot K$) de 1 cm de espessura. Calcular a taxa de transferência de calor sob uma força motriz térmica de $40^\circ C$, quando a direção de transferência de calor unidimensional permanente é (a) da frente para trás (isto é, ao longo do seu comprimento), (b) da esquerda para a direita e (c) de cima para baixo. **Resposta: (a) $17,6\text{ W}$ (b) $2,80\text{ W}$ (c) 441 W .**



Exercício 15. O que é resistência térmica de contato? A resistência térmica de contato é maior em superfícies planas lisas ou ásperas? Por quê?

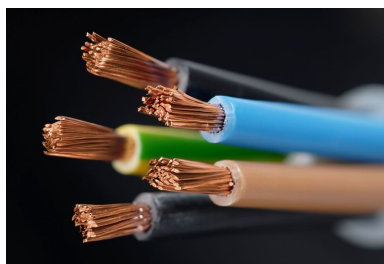
Condução Radial

Exercício 16. Vapor d'água a 220°C escoa em um tubo de aço inoxidável ($k = 32 \text{ W/m} \cdot ^{\circ}\text{C}$) com diâmetros interno e externo de 5 cm e $5,3 \text{ cm}$, respectivamente. O tubo é isolado por uma camada de $2,5 \text{ cm}$ de espessura de lã de vidro ($k = 0,035 \text{ W/m} \cdot ^{\circ}\text{C}$). Calor é trocado com o ar ambiente em volta, que está a 8°C , por convecção, com um coeficiente de transferência de $10 \text{ W/m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$. Sabendo que o coeficiente de transferência de calor por convecção dentro do tubo é de $60 \text{ W/m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$, determine (a) a taxa de transferência de calor para o ambiente por metro de comprimento de tubo, (b) a queda de temperatura na parede do tubo e (c) a queda de temperatura no isolante. *Resposta:* (a) $61,7 \text{ W}$ (b) $0,018^{\circ}\text{C}$ (c) 186°C .

Exercício 17. A superfície externa de um fio elétrico cilíndrico de 5 m de comprimento e 5 mm de diâmetro está a uma temperatura de 125°C . O fio é recoberto por um isolante plástico de 2 mm de espessura e condutividade térmica $k = 0,2 \text{ W/m} \cdot ^{\circ}\text{C}$. Esse sistema troca calor por convecção com o ar que o circunda. (a) Calcule a taxa de transferência de calor radial do centro do fio para o ar. (b) Considere agora que o isolante possui 4 mm de espessura. Calcule a nova taxa de transferência de calor. (c) A transferência aumentou ou diminuiu com o aumento da espessura do isolante? Isso faz sentido? Explique observando o comportamento das resistências de convecção e de condução em função da espessura do isolante.

Dados: coeficiente de transferência de calor por convecção com o ar $h = 12 \text{ W/m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$. Temperatura do ar $T_{\infty} = 30^{\circ}\text{C}$. Desconsidere a troca de calor por radiação.

Resposta: (a) 139 W (b) 169 W .



Exercício 18. Um reservatório *esférico* é usado para armazenar um material a alta temperatura. A parede desse reservatório é uma casca esférica feita por um material com condutividade térmica k . Na parte interna da parede, em $r = r_1$, a temperatura é T_1 . Na parte externa da parede, em $r = r_2$, a temperatura é T_2 . A equação diferencial que governa o comportamento da temperatura dentro da parede (em regime permanente e com simetria em relação ao ponto central) é dada por:

$$\frac{1}{r^2} \frac{d}{dr} \left(kr^2 \frac{dT}{dr} \right) = 0.$$

(a) Resolvendo a equação acima e utilizando as condições de contorno adequadas, mostre que

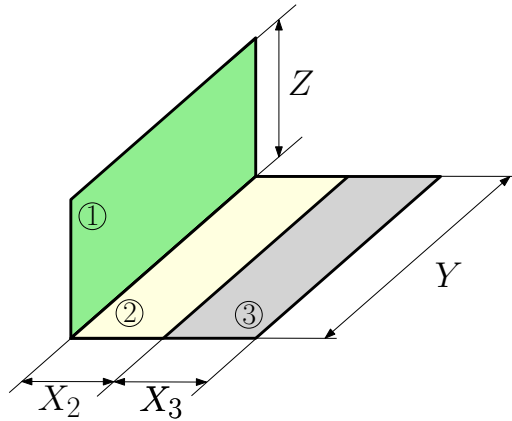
a temperatura dentro da parede, considerando k constante, é dada por:

$$T(r) = \frac{r_1 r_2}{r(r_2 - r_1)}(T_1 - T_2) + \frac{r_2 T_2 - r_1 T_1}{r_2 - r_1}.$$

(b) Determine a taxa de condução radial de calor pela parede. (A área de uma superfície esférica de raio r é $4\pi r^2$).

Radiação Térmica

Exercício 19. Considere as 3 superfícies retangulares abaixo, com a superfície 1 sendo perpendicular à superfície 2. Determine F_{12} , com $X_2 = 1,2\text{ m}$, $X_3 = 1\text{ m}$, $Y = 2,8\text{ m}$ e $Z = 2,2\text{ m}$. Determine também F_{13} , F_{23} , F_{22} e F_{14} , onde a superfície 4 é a superfície formada pelas superfícies 2 e 3. **Respostas:** $F_{12} = 0,15$, $F_{14} = 0,22$, $F_{13} = 0,07$, $F_{23} = F_{22} = 0$.



Exercício 20. Considere dois discos circulares paralelos coaxiais de raios $r_1 = 25\text{ cm}$ e $r_2 = 35\text{ cm}$ separados por uma distância $L = 15\text{ cm}$. O disco 1 está a 400°C e possui emissividade $\epsilon_1 = 0,8$ e o disco 2 está a 50°C e possui emissividade $\epsilon_2 = 0,5$. Usando o gráfico para o fator de forma específico para esse caso e a relação de reciprocidade, determine os fatores de forma F_{12} e F_{21} . Em seguida calcule a taxa líquida de transferência de calor por radiação entre os discos 1 e 2. Quando a distância entre os discos L aumenta, a taxa de troca de calor aumenta ou diminui? **Resposta:** 1016 W .

Exercício 21. Esta questão trata da transferência de calor por radiação em regime permanente entre uma esfera ($r_1 = 30\text{ cm}$) e um disco circular ($r_2 = 120\text{ cm}$), que estão separados por uma distância, centro a centro, de $h = 60\text{ cm}$ (ver figura). Quando a normal do centro do disco passa pelo centro da esfera, o fator de forma de radiação é dado por:

$$F_{12} = 0,5 \left\{ 1 - \left[1 + \left(\frac{r_2}{h} \right)^2 \right]^{-0,5} \right\}. \quad (2)$$

As temperaturas das superfícies do disco e da esfera são 700°C e 100°C e as suas emissividades são $0,5$ e $0,9$, respectivamente. Determine os fatores de forma F_{12} e F_{21} . Calcule a taxa

líquida de transferência de calor por radiação entre a esfera e o disco. Respostas: $F_{12} = 0,276$, $F_{21} = 0,069$, $\dot{Q} = 1,4 \times 10^4 W$.

