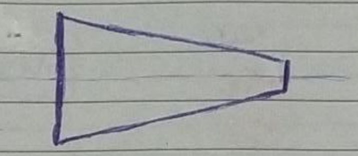
1) Considere condução de calor unidimensional, em regime estacionário, através do sólido simétrico mostrado na figura



Supondo que não existe geração interna de calor, desenvolva uma expressão para a condutividade térmica $K(x)$ para as seguintes condições: $A(x) = (1-x)$, $T(x) = 300(1-2x-x^3)$ e $Q_x = 6000$ W, onde A está em metros quadrados, T em Kelvin, e x em metros.

Regime estacionário ; condução de calor unidimensional ; sem geração de calor

$A(x) = (1-x)$

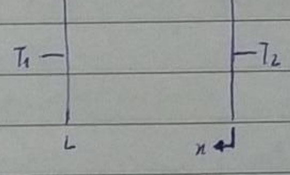
$T(x) = 300(1-2x-x^3)$

$Q_x = 6000$ W

$$\dot{E}_{ENTRA} = \dot{E}_{SAI} \rightsquigarrow q_{x\,ENTRA} = q_{x\,SAI} = \underbrace{-K \cdot A(x) \cdot \frac{dT(x)}{dx}}_{\text{Lei de Fourier}} \rightsquigarrow 6000 = -K(1-x)[300(-3x^2-2)]$$

$$\therefore K = \frac{-20}{(1-x)(-3x^2-2)}$$

2) Transferência unidimensional de calor por condução, em regime estacionário e sem geração interna de calor, ocorre no sistema mostrado. A condutividade térmica material é de 25 W/m.K, enquanto a espessura da parede é de 0,5 m.



Determine as grandezas desconhecidas para cada caso mostrado na tabela e esboce a distribuição de temperatura, indicando a direção do fluxo térmico.

Caso	T_1	T_2	$dT/dx\ (K/m)$	$q_x\ (W/m^2)$
1	400K	300K	-200	5000
2	100°C	-25°C	-250	6250
3	80°C	180°C	+200	-5000
4	30°C	-5°C	-160	4000
5	30°C	90°C	+120	-3000

Caso 1: $K = \frac{-q_x}{dT/dx} \rightarrow \int_{T_1}^{T_2} K\,dT = \int_0^L q_x\,dx \rightarrow K(T_2 - T_1) = q_x(L - 0) \rightarrow q_x = \frac{-K(T_2 - T_1)}{L}$

$q_x = -\frac{25(300-400)}{0.5} = 5000\ W/m^2$ $\qquad \frac{dT}{dx} = -\frac{q_x}{K} = -\frac{5000}{25} = -200\ K/m$

$\therefore q_x = 5000\ W/m^2,\ dT/dx = -200\ K/m$

Caso 2: $q_x = -K \cdot \frac{dT(x)}{dx} = -25 \cdot (-250) = 6250\ W/m^2$

$T_2 = \frac{dT(x)}{dx} \cdot L + T_1 = (-250) \cdot 0.5 + (100+273) = 248K = -25°C$

$\therefore q_x = 6250\ W/m^2;\ T_2 = -25°C$

Caso 3: $q_x = -K \cdot \frac{dT}{dx} = -25(+200) = -5000\ W/m^2$

$T_2 = \frac{dT(x)}{dx} \cdot L + T_1 = (+200) \cdot 0.5 + (80+273) = 453K = 180°C$

$\therefore q_x = -5000\ W/m^2;\ T_2 = 180°C$

Caso 4: $\frac{dT(x)}{dx} = \frac{qx}{k} = \frac{4000}{-25} = -160\ K/m$

$\therefore qx = -160\ K/m$

Caso 5: $\frac{dT(x)}{dx} = \frac{qx}{k} = \frac{-3000}{-25} = 120\ K/m$

$-3000 \cdot \int_0^{L} dx = -k(T_2 - T_1) \rightarrow T_2 = 363\ K = 90°C$

$T_1 = 30°C$

$\boxed{\therefore \frac{dT(x)}{dx} = 120\ K/m;\ T_1 = 30°C;\ T_2 = 90°C}$

3) Observa-se que a distribuição de temperatura, em estado estacionário, no interior de uma parede unidimensional com condutividade térmica de 50 W/m.K e espessura de 50 mm tem a forma $T(x) = a + bx^2$, onde $a = 200°C$, $b = -2000°C/m^2$ e x está em metros.

a) Qual a taxa de geração de calor q na parede?

b) Determine os fluxos de calor nas duas faces da parede.

a) Estado estacionário, condução unidimensional

$$\dot{q} = -K \frac{d}{dx}\left[\frac{dT(x)}{dx}\right] = -K \frac{d}{dx}\left[\frac{d}{dx}(200 - 2000x^2)\right] = -K \frac{d}{dx}(-4000x) = -K(-4000)$$

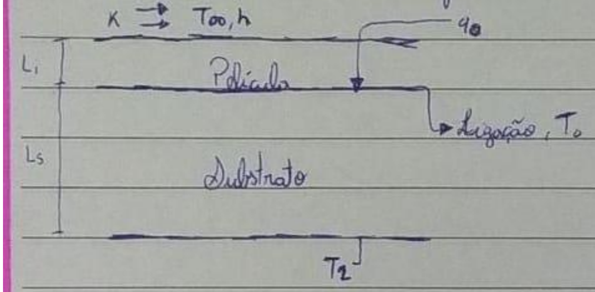
$$\therefore \dot{q} = -50 \cdot (-4000) = 2 \cdot 10^5 \ W/m^3$$

b) $$q_x = -K \frac{dT(x)}{dx} = -K(-4000x)$$

Face 1 $(x = 0) \rightsquigarrow q_x = 0$ Face 2 $(x = 0{,}05) \rightsquigarrow q = 10000 \ W/m^2$

$\therefore q_{x_1} = 0$ e $q_{x_2} = 10000 \ W/m^2$

4) Em um processo de fabricação, uma película transparente está sendo fixada sobre um substrato, conforme é mostrado no desenho. Para curar a fixação a uma temperatura T_o, uma fonte de energia radiante é usada para fornecer fluxo de calor q_o (W/m^2), que é totalmente absorvido na superfície filme/substrato. A parede inferior do substrato é mantida a T_1, enquanto a superfície livre da película está exposta ao ar a uma temperatura T_∞ com um coeficiente de transferência de calor por convecção **h**.



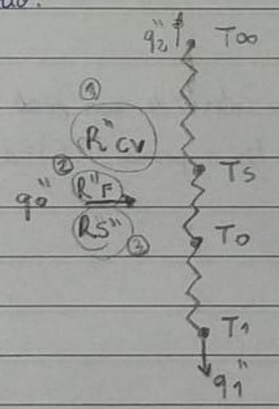
$L_S = 1{,}0\,m$

$L_F = 0{,}25\,mm$

$K_F = 0{,}025\ W/m^2K$

$K_S = 0{,}05\ W/m^2K$

a) Desenhe o circuito térmico que representa a transferência de calor em regime estacionário.



① Resistência térmica por convecção

② " " " condução no filme

③ " " " " no substrato

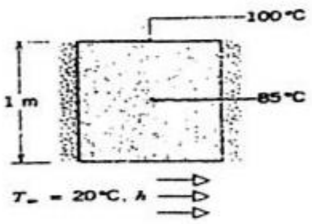
b) Se $T_\infty = 20°C$, $h = 50\ W/m^2K$ e $T_1 = 30°C$. Calcule o fluxo radiante q necessário para manter a tempera da superfície filme/substrato em $T_o = 60°C$.

Regime estacionário; Prop. constantes; Sem geração de calor; Unidimensional

$$q''_o = q''_1 + q''_2 = \frac{T_o - T_\infty}{R''_{cv} + R''_F} + \frac{T_o - T_1}{R''_s}\ ;\quad R''_{cv} = 1/h\ ;\quad R''_F = \frac{L_F}{K_F}\ ;\quad R''_s = \frac{L_s}{K_s}$$

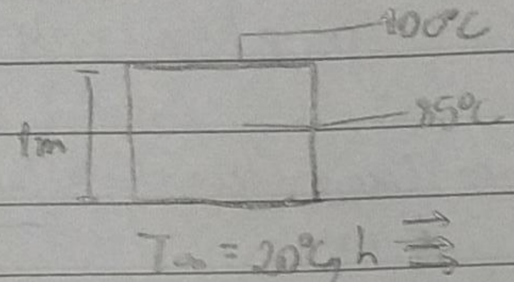
Substituindo, obtemos $q''_o = 2833\ W/m^2$

5) Uma placa de aço com 1 m de comprimento (k = 50 W/ m.K) tem os seus lados isolados termicanente, enquanto a superfície superior é mantida a 100°C e a superfície inferior é resfriada por convecção por um fluido que se encontra a 20°C. em condições de regime estacionário, sem geração de calor, um termopar, posicionado no ponto intermediário entre as duas superfícies, revela uma temperatura de 85°C.



Qual o valor do coeficiente de transferência de calor por convecção na superfície inferior da placa? Resposta : 30 W/m².K

5)



Regime estacionário
Sist. unidimensional
s/ geração de energia
Prop. ctes

$L = 1m, \quad K = 50 \ W/m.K$

$$Q = \frac{T_1 - T_2}{(L-K)} = +1500 \ W/m^2$$

$$Q_{TOTAL} = \frac{T_1 - T_\infty}{R_{TOTAL}} = \frac{T_1 - T_\infty}{1/h + L/K} = 1500 \ W/m^2$$

$$\frac{80°C}{1/h + 1/K} = 1500 \longrightarrow h = 30 \ W/m^2 K$$

6) Uma parede composta separa gases de combustão a 2600 °C de um líquido refrigerante a 100°C, com coeficientes de transferência de calor por convecção no lado do gás e no líquido iguais a 50 e 1000 $W/m^2.K$, respectivamente. A parede é composta por uma camada de 10 mm de óxido de berílio no lado do gás e uma placa de 20 mm de aço inoxidável (AISI 304) no lado do líquido. A resistência de contato entre o óxido e o aço é de 0,05 $m^2.K/W$. Qual é a perda de calor por unidade de área de superfície da parede composta. Esboce a distribuição de temperatura entre o gás e o líquido. Resposta : 34600 W/m^2

6) Regime estacionário
Dist. unidimensional
Sem ger. de energia
Prop. ctes

L_1	Gases	$T_G = 2600°C$	$h_1 = 50 W/m^2K$
R_c	L_2	Líquido	$T_L = 100°C$	$h_2 = 100 W/m^2K$

$R_c = 0{,}05\ m^2K/W$, $L_1 = 10\ mm$; $L_2 = 20\ mm$

$K_{óxido} = 21{,}5\ W/mK$

$K_{aço} = 25{,}4\ W/mK$

$R_T = R_{c,1} + R_{óxido} + R_{cont} + R_{c,2} + R_{aço}$

$$\frac{R_T}{A} = \frac{1}{50} + \frac{10.10^{-3}}{21{,}5} + 0{,}05 + \frac{20.10^{-3}}{25{,}4} = 7{,}225.10^{-2}\ m^2K/W$$

$$\boxed{Q = \frac{T_1 - T_2}{R_T} = 34600\ W/m^2}$$

I) T do óxido na sup. gás-óxido: $Q = h(T_G - T_{ox,1}) \rightsquigarrow \boxed{T_{ox,1} = 1908\ °C}$

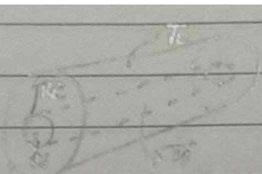
II) T do óxido na sup. óxido-aço: $Q = \frac{K_{óxido}(T_{ox,1} - T_{ox,2})}{L_1} \rightarrow \boxed{T_{ox,2} = 1892°C}$

III) T do aço na sup. aço-líq.: $Q = h(T_{aço,1} - T_L) \rightarrow \boxed{T_{aço,1} = 134{,}6°C}$

IV) T do aço na sup. óxido-aço: $Q = \frac{K_{aço}(T_{aço,2} - T_{aço,1})}{L_2} \rightarrow \boxed{T_{aço,2} = 161{,}84°C}$

7) Seja a parede de um tubo com raios internos e externos iguais a r_i e r_e, cujas temperaturas são mantidas a T_i e T_e, respectivamente. A condutividade térmica do material do tubo é função da temperatura, podendo ser representada por uma expressão na forma $k = k_o.(1+aT)$, onde k_o e a são constantes. Obtenha uma expressão para a taxa de transferência de calor por unidade de comprimento do tubo. Qual é a resistência térmica da parede do tubo?

7) Regime permanente
dist. unidimensional
sem ger. de energia
K varia com T



$k = k_o(1+aT)$

$$Q_{cond} = -K.A.\frac{dT}{dr} = -K.2\pi RL\frac{dT}{dr} \rightarrow \frac{Q}{L} \equiv Q'' \rightarrow \frac{Q''dr}{2\pi R} = -(K_o + K_o aT)dT$$

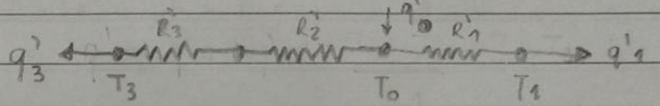
$$-\frac{Q''}{2\pi}\int_{r_i}^{r_e}\frac{1}{R}\,dr = K_o + K_o aT\int_{T_i}^{T_e}dT \rightarrow -\frac{Q''}{2\pi}\ln\left(\frac{r_e}{r_i}\right) = K_o(T_e - T_i) + K_o a\left(\frac{T_e^2}{2} - \frac{T_i^2}{2}\right)$$

$$Q'' = -\frac{2\pi\, k_o\left[(T_e - T_i) + a/2\cdot(T_e^2 - T_i^2)\right]}{\ln(r_e/r_i)}$$

$$\therefore Q'' = \frac{2\pi\, K_o\left[(T_e - T_i) + a/2\cdot(T_e^2 - T_i^2)\right]}{\ln(r_i/r_e)}$$

8) Um aquecedor elétrico delgado é enrolado ao redor da superfície externa de um tubo cilíndrico longo cuja superfície interna é mantida a uma temperatura de 5°C. A parede do tubo possui raiso interno e externo iguais a 25 e 75 mm, respectivamente, e condutividade térmica de 10W/m.K. A resistência térmica de contato entre o aquecedor e a superfície externa do tubo (por unidade de comprimento do tubo) é de R'_{tc} = 0,01 m.K/W. A superfície externa do aquecedor está exposta a um fluido com T_∞ = -10°C e um coeficiente de convecção de h = 100 W/ m^2.K. Determine a potência do aquecedor, por unidade de comprimento do tubo, requerida para mantê-lo a T_o = 25°C. Resposta : 2377W/m

8) Regime estacionário
Dist unidimensional
Sem ger. de energia
Prop. ctes



$$q'_0 = q'_1 + q'_2 = \frac{T_0 - T_1}{R_1} + \frac{T_0 - T_3}{R_2 + R_3} = \frac{T_0 - T_1}{1/\pi . D_e . h} + \frac{T_0 - T_3}{R'_2 + \frac{\ln(r_e/r_i)}{2\pi K_3}}$$

$\therefore q'_0 = 2377$ W/m

9) Um revestimento de Bakelite é usado sobre um bastão condutor de 10 mm de diâmetro, cuja superfície é mantida a 200°C pela passagem de uma corrente elétrica. O bastão encontra-se imerso em fluido a 25°C, onde o coeficiente de transferência de calor por convecção é de 140 W/m^2.K. Qual é o raio crítico associado ao revestimento nestas condições? Qual é a taxa de transferência de calor, por unidade de comprimento, estando o bastão sem revestimento e com um revestimento de Bakelite cuja esperssura corresponde ao raio crítico? Qual a quantidade de Bakelite que deve ser colocada sobre o bastão para reduzir em 25% a transferência de calor correspondente ao bastão sem qualquer revestimento.

Resposta: a) 0,01 m ; b) 770 W/m ; c) 55 mm

9) Regime estacionário
Prop. ctes
Sem ger. de energia
Dist. unidimensional

a) $r_c = \frac{k}{h} = \frac{1,4}{140} = \boxed{0,01 \text{ m}}$

b) $q' = h(\pi D_i)(T_i - T_\infty) = 140(\pi . 0,01)(200-25) \Rightarrow$

$\boxed{\therefore q' = 770 \text{ W/m}}$

c) $r = 0,06$ mm $\rightarrow \delta = 0,06 - 0,005 \Rightarrow \boxed{55 \text{ mm}}$

10) Uma esfera oca de alumínio, com um aquecedor elétrico no seu centro, é usada em testes para determinar a condutividade térmica de materiais isolantes. Os raios interno e externo da esfera possuem 0,15 e 0,18 m, respectivamente, e o teste é realizado em condições de regime estacionário com a superfície interna do alumínio mantida a 250°C. Para um teste em particular, uma casca esférica de isolamento térmico é fundida sobre a superfície externa da esfera até uma espessura de 0,12 m. O sistema encontra-se em uma sala na qual a temperatura do ar é de 20°C e o coeficiente de isolamento é de 30 $W/m^2.K$. Se 80W são dissipados pelo aquecedor em condições de regime estacionário, qual é a condutividade térmica do isolamento testado? Resposta: 0,062 W/m.K

10) Regime estacionário — $q = 80 W$

Prop. ctes — $R_T = 0,12 + 0,18 = 0,30$ m

Sem ger. de energia

Dist. unidimensional

$$q = \frac{T_1 - T_a}{R_{conv,Ri} + R_{conv,Re} + R_{cond} + R_{iso}}$$

$$R_{conv,Ri} = \frac{1}{4\pi R_i^2 h} = 0,0118 \; ; \; R_{conv,R2} = \frac{1}{4\pi R_2^2 h} = 8,1864 \cdot 10^{-2}$$

$$R_{conv} = \frac{R_2 - R_1}{4\pi R_2 R_1 K} = \frac{0,0884}{k} \; ; \; R_{iso} = \frac{R_T - R_e}{4\pi R_T R_e h} = 5,89 \cdot 10^{-3}$$

substituindo na equação, achamos $K = 0,031$ W/mK

$$\boxed{\therefore 2K = 0,062 \; W/m.K}$$