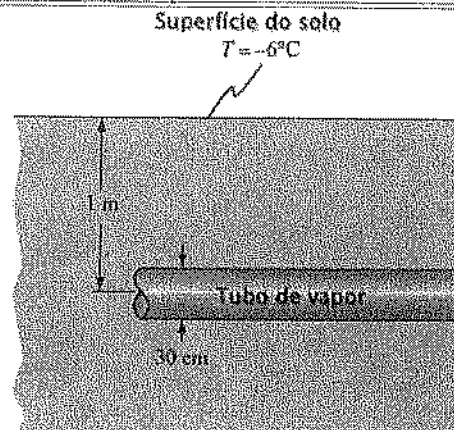


[4] **Problema 1):** A superfície exterior de um tubo de 30 cm de diâmetro exterior e 100 m de comprimento está à temperatura de 90°C. O tubo está enterrado no solo e o seu eixo encontra-se a 1m da superfície, como se mostra na figura. O solo tem uma condutibilidade térmica de 0,7 W/mK e a sua superfície está à temperatura de -6°C. Responda às questões justificando-as adequadamente:



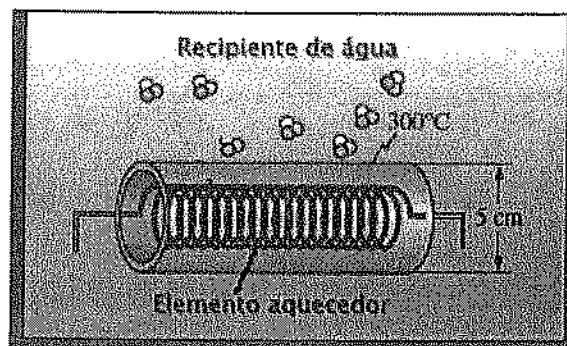
[1] (a) Calcule a potência térmica de perdas.

[1] (b) Se o custo da energia do vapor contido na tubagem for de €3 por 10³ MJ, qual o custo anual desta perda de energia?

[1] (c) Considere agora que a mesma tubagem está a descoberto no ar exterior onde o vento sopra a 50 km/h na direção normal ao eixo do tubo e a temperatura do ar é -10°C, mantendo-se a superfície exterior do tubo a 90°C. Qual a potência térmica de perdas nestas condições?

[1] (d) Nas condições da alínea (c), mas considerando um coeficiente de convecção exterior de 40 W/m².K, que espessura de isolamento ($k=0,036$ W/m.K) deveria utilizar para ter o mesmo efeito isolante do solo obtido em (a)?

[4] **Problema 2)** Um revestimento metálico de forma cilíndrica e diâmetro exterior igual a 5 cm envolve uma resistência elétrica e está imerso em água à pressão atmosférica. A geração interna de calor é tal que a temperatura da superfície exterior do revestimento cilíndrico é 300°C e a sua emissividade hemisférica total é 0,8.



Justificando adequadamente a sua resposta, responda às seguintes questões:

[2] a) Estime a potência térmica por unidade de comprimento libertada pelo elemento de aquecedor desprezando efeitos da radiação.

[2] b) Qual a potência de aquecimento por unidade de comprimento do elemento aquecedor tomando em linha de conta a perda por radiação para a água?

[3] **Problema 3)** Uma parede plana de espessura $2L$, e propriedades ρ , k e c constantes, tem geração interna de calor \dot{q} dependente da temperatura de acordo com $\dot{q} = \dot{q}_p [1 - \beta(T - T_\infty)]$, onde \dot{q}_p é uma constante igual à geração interna de calor por unidade de volume à temperatura do fluido

exterior T_∞ . Ambos os lados da placa estão expostos a esse mesmo fluido com temperatura T_∞ e coeficiente de transferência de calor por convecção h . Considerando comportamento no regime estacionário, e justificando adequadamente, responda às seguintes questões apresentando os resultados em função das grandezas conhecidas ($\rho, k, c, L, \beta, \dot{q}_p, h, T_\infty$):

Encontre uma expressão para a distribuição de temperatura no interior da parede.

NOTA: a solução da equação homogênea de $\frac{d^2y}{dx^2} - ay + b = 0$, cujos coeficientes a, b são positivos,

é $y = c_1 e^{\sqrt{ax}} + c_2 e^{-\sqrt{ax}}$ e uma solução particular é $y^* = b/a$

[9] **Problema 4)** No equador, o sol do meio-dia está aproximadamente na vertical do lugar pelo que um coletor solar de 4m x 4m está colocado na horizontal sobre um telhado horizontal, como mostra a figura 1. Sopra vento a 20°C à velocidade de 24 km/h. Justificando adequadamente, responda às seguintes questões:

[2,5] **a)** Admitindo que a temperatura da superfície do coletor é de 40°C e que este está colocado a 10 m do bordo de ataque do telhado, qual a potência perdida pelo coletor, por convecção, para o ar? Considere $Re_{tr} = 5 \times 10^5$.

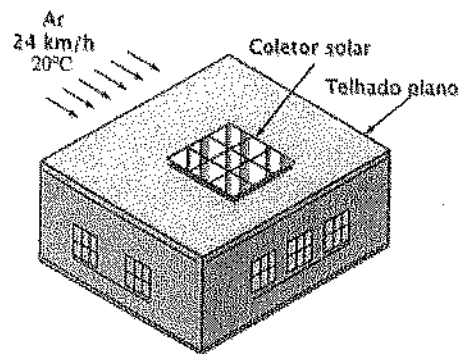


Figura 1

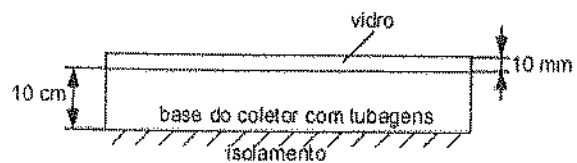


Figura 2

Considere agora o coletor representado na Figura 2, e que o coeficiente de convecção entre a superfície exterior do coletor e o ar exterior é igual a $20 \text{ W/m}^2\text{K}$. O fluxo de radiação solar é 800 W/m^2 , o vidro tem uma transmissividade hemisférica de 1, para radiação de elevada frequência e nula para radiação proveniente de superfícies a temperaturas inferiores a 120°C . A base do coletor está isolada, a sua temperatura é de 100°C , a respectiva absorvidade hemisférica total é 0,9. No interior das tubagens existentes na base do coletor o fluido térmico está a aquecer. Considere propriedades do ar no interior da cavidade a 70°C e as seguintes propriedades do vidro: $k = 1,4 \text{ W/mK}$; $c_p = 800 \text{ W/kg.K}$; $\rho = 2300 \text{ kg/m}^3$; $\epsilon = 0,8$

[1] **b)** Qual o factor de forma da radiação entre a base e o vidro?

[3] **c)** Quais as temperaturas de equilíbrio das superfícies interior e exterior do vidro?

[2,5] **d)** Qual é a potência térmica que está a ser fornecida ao fluido térmico que circula na base do coletor?

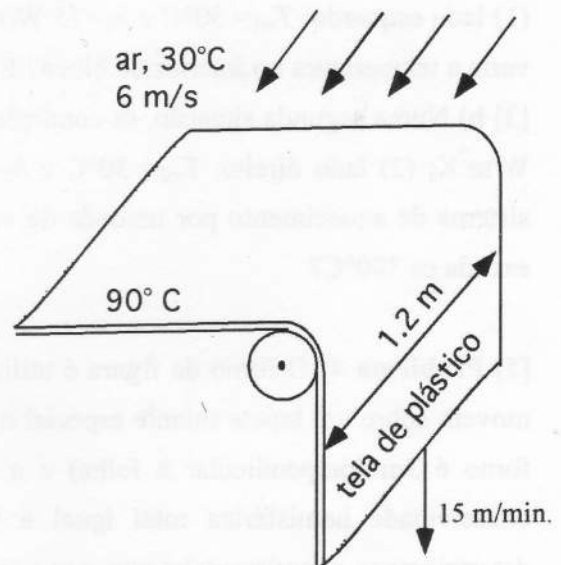
[4] **Problema 1)** O bolbo de uma lâmpada incandescente com uma potência de 150 W atinge uma temperatura superficial de 300 °C. O bolbo tem uma emissividade hemisférica total de 0,85 e pode ser considerado aproximadamente esférico, com um diâmetro de 73 mm. Sabendo que o ar ambiente está em repouso a 20°C e 100 kPa e que as paredes de uma sala estão também a 20°C, determine:

[2] a) O coeficiente de convecção entre o bolbo e o ar.

[2] b) A potência térmica total perdida pelo bolbo.

[6] **Problema 2)** Numa linha de fabrico produz-se em contínuo tela de plástico opaco com 1,2 m de largura e 2 mm de espessura à taxa de 15 m/min. A temperatura da tela à saída da máquina é 90°C, sendo arrefecida por um jato de ar tangencial, com uma velocidade igual a 6 m/s e uma temperatura 30°C, de ambos os lados como representado na figura.

A largura do jato de arrefecimento garante que a tela fica exposta ao jato durante 20 s. A tela tem ainda um coeficiente de absorção hemisférico total de 0,8 e a temperatura da envolvente da fábrica é 25°C.



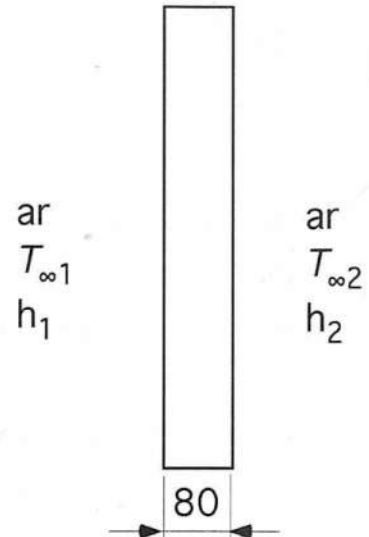
[2] (a) Calcule o coeficiente de convecção do ar de arrefecimento assumindo constante a temperatura da placa.

[2] (b) Determine a taxa total de perda de calor da tela na zona arrefecida pelo jacto de ar assumindo constante a temperatura da placa. Se não fez a alínea (a) considere um coeficiente de convecção de 10,0 W/m²K.

[1] (c) Qual é a variação de temperatura da placa durante esse fase de arrefecimento? (Propriedades do plástico: $c_p=1,8$ kJ/kg.K, $\rho = 1100$ kg/m³, $\lambda=0,3$ W/m.K).

[1] (d) Escreva a expressão de balanço de energia que teria de ter em conta para responder corretamente à alínea (b) se ali não tivesse assumido temperatura da tela de plástico constante.

[5] **Problema 3)** Um bloco sólido ($\lambda = 2,5 \text{ W/m.K}$) com 80 mm de espessura e de grandes dimensões nas restantes direções tem no seu interior um sistema de aquecimento elétrico que proporciona uma distribuição uniforme de potência no bloco. Como se indica na figura, o bloco encontra-se na vertical, a superfície à direita está exposta a um ambiente com $T_{\infty 1}$ e coeficiente de convecção h_1 , e a superfície à esquerda contacta com um ambiente com temperatura $T_{\infty 2}$ e coeficiente de convecção h_2 .

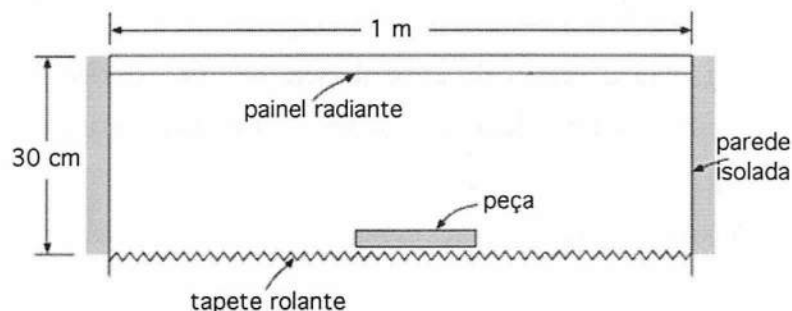


[2] **a)** Numa primeira situação o sistema de aquecimento elétrico está desligado e as condições no exterior são:

(1) lado esquerdo: $T_{\infty 1} = 50^\circ\text{C}$ e $h_1 = 75 \text{ W/m}^2\text{K}$; (2) lado direito: $T_{\infty 2} = 30^\circ\text{C}$ e $h_2 = 30 \text{ W/m}^2\text{K}$. Como varia a temperatura no interior do bloco? Escreva a expressão que traduz essa variação.

[3] **b)** Numa segunda situação, as condições no exterior são: (1) lado esquerdo: $T_{\infty 1} = 30^\circ\text{C}$ e $h_1 = 30 \text{ W/m}^2\text{K}$; (2) lado direito: $T_{\infty 2} = 30^\circ\text{C}$ e $h_2 = 30 \text{ W/m}^2\text{K}$. Neste caso, qual é a potência máxima do sistema de aquecimento por unidade de volume para que a temperatura no interior do sólido não exceda os 300°C ?

[5] **Problema 4)** O forno da figura é utilizado para secagem da pintura de peças metálicas que se movem sobre um tapete rolante especial na direção normal ao plano da figura. O comprimento do forno é 3 m (perpendicular à folha) e a temperatura do painel radiante é 425°C , sendo a sua emissividade hemisférica total igual a 0,7. As paredes laterais estão isoladas. Além disso, determinou-se experimentalmente que a temperatura do tapete rolante e da peça metálica é igual a 120°C , sendo a respectiva emissividade hemisférica total de 0,8.



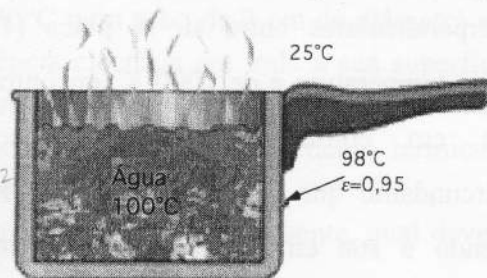
[1] **a)** Quais os fatores de forma entre o tapete e o painel radiante e entre o tapete e as paredes?

[3] **b)** Considere agora que o comprimento do forno (direção perpendicular à figura) é muito grande. Neste caso, qual a potência térmica que deve ser fornecida ao painel radiante? (considere apenas relevantes as trocas de calor por radiação).

NOTA: não poderá usar aqui (alínea b) os fatores de forma calculados na alínea (a)

[1] **c)** Qual a temperatura das paredes para a situação da alínea (b)?

[6] **Problema 1)** Um tacho com 12 cm de altura e 25 cm de diâmetro está colocado num fogão. A superfície exterior lateral do tacho está à temperatura de 98°C e a sua emissividade hemisférica total é 0,95. O ar ambiente encontra-se calmo, com uma temperatura de 25°C e igual à das superfícies envolventes.

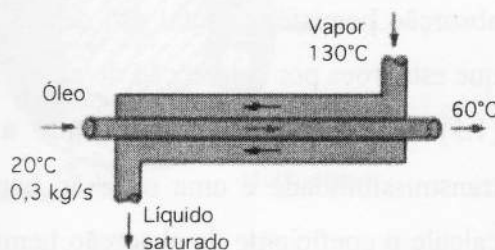


[2,5] **a)** Qual a potência calorífica total perdida através da superfície lateral do tacho?

[1,5] **b)** Se a água estiver em ebulição nucleada, a 100 °C ($\sigma = 58,9 \text{ mN.m}$), evaporando-se à taxa de 3,39 kg/h, qual é a diferença de temperatura entre o fundo do tacho e a água?

[2] **c)** Com a água ainda a 100°C, considere agora que a diferença de temperatura entre o fundo do tacho e a água é igual a 3°C. Qual a potência calorífica fornecida ao recipiente?

[4] **Problema 2)** No permutador de calor de fluxos opostos da figura pretende-se aquecer 0,3 kg/s de óleo ($c_p = 2100 \text{ J/kg.K}$) dos 20°C aos 60°C, sem que este mude de fase. O tubo interior de cobre é de paredes finas e tem um diâmetro de 20 mm. O fluido quente é água que entra no estado de vapor saturado a 130°C ($h_{1v} = 2174 \text{ kJ/kg}$) e sai em líquido saturado à mesma pressão.



Sabendo que o coeficiente global de transferência de calor é igual a 650 W/m²K, determine:

[3] **a)** O comprimento de tubo necessário.

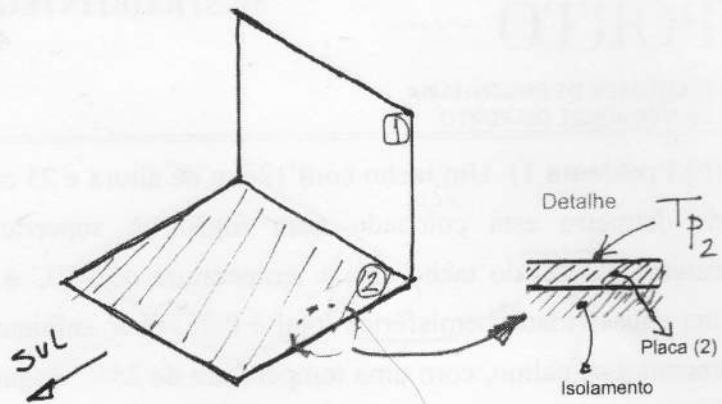
[1] **b)** O método de dimensionamento de permutadores de calor designado por NTU baseia-se na troca de calor sensível entre dois fluidos. Será que é possível utilizar este método quando um dos fluidos mantém a sua temperatura constante ao longo do processo? Justifique.

[4] **Problema 3)** No interior de um tubo circular de borracha com 10 m de comprimento, 30 mm de diâmetro interno e 1 mm de espessura escoa-se azoto gasoso puro à pressão de 1 atm e 25°C. No exterior existe ar atmosférico (79% de N₂ e 21% de O₂ em volume) à mesma pressão e temperatura do azoto no interior do tubo. A solubilidade e a difusibilidade do azoto na borracha são iguais a 1,56 x 10⁻³ kmol/(m³.bar) e 0,15 x 10⁻⁹ m²/s, respectivamente.

[1,5] **a)** Quais as concentrações molares do azoto nas superfícies interior e exterior do tubo?

[2,5] **b)** Qual é o caudal mássico de N₂ transferido através da parede do tubo?

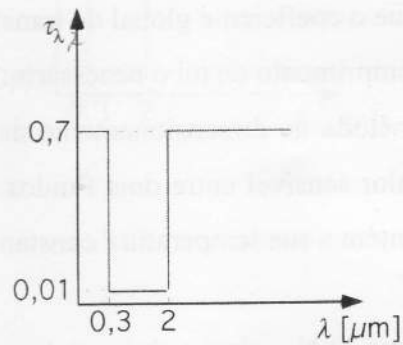
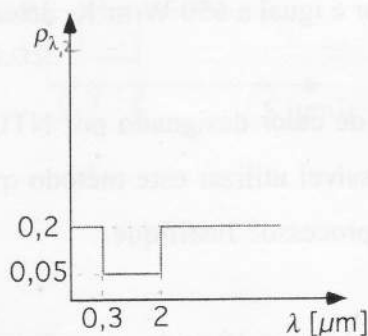
[6] **Problema 4)** Considere as duas placas quadradas representadas na figura, com 50 cm de lado, e perpendiculares entre si. A placa (1), cuja temperatura é de 1000 K, encontra-se em equilíbrio com o espaço circundante que se encontra a 300 K, sendo a sua emissividade hemisférica total igual a 0,6. A placa (2) difusa encontra-se isolada na face inferior e em equilíbrio térmico.



[1] **a)** Determine o fator de forma da superfície (1), visível na figura, para o espaço circundante que se admite com temperatura uniforme.

[3.5] **b)** Considere um escoamento de ar tangencial às placas (1) e (2), sendo o coeficiente de transferência de calor por convecção na placa (2) de $50 \text{ W/m}^2\text{K}$. A temperatura de (1) mantém-se igual a 1000 K. Admitindo que a placa (2) é cinzenta e difusa, e os seus coeficientes de emissão e absorção hemisférica total são de 0,3, pretende-se avaliar qual é a percentagem da potência total que esta troca por convecção de/para o espaço circundante representa.

[1.5] **c)** Considerando agora que a placa (2) é difusa mas não cinzenta, possuindo uma transmissibilidade e uma reflexão hemisférica espectral que se representa nas figuras seguintes, calcule o coeficiente de absorção hemisférico total da placa (2) relativo à radiação proveniente da placa 1. Justifique as opções tomadas.

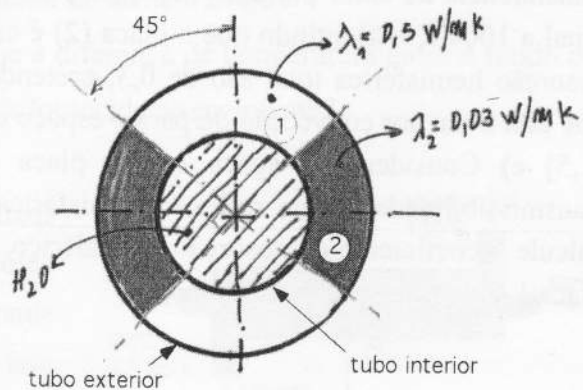


[4] **Problema 1)** É necessário aquecer água de 10°C para 80°C num tubo de 2 cm de diâmetro e 7 m de comprimento. O tubo está equipado com uma resistência eléctrica em toda a sua superfície por forma a garantir um aquecimento uniforme da água. A superfície exterior do tubo está bem isolada e por isso não há perda de calor para o exterior. Considerando escoamento térmica e dinamicamente desenvolvido, responda às seguintes questões:

[1,5] **a)** Se pretendermos que o sistema seja capaz de fornecer 8 l/min de água quente, qual deverá ser a potência da resistência eléctrica do aquecedor?

[2,5] **b)** Qual a temperatura da superfície interior da conduta à saída da conduta?

[6] **Problema 2)** Considere um conjunto tubular em forma de anel, como representado na figura, que transporta vapor de água saturado a 120°C, cujo coeficiente de convecção interior é elevado. Os tubos são em aço de elevada condutibilidade térmica e espessura desprezável. O tubo interior tem um diâmetro de 50 mm e o exterior 100 mm. Entre os dois tubos são colocados dois materiais isolantes cujas condutibilidades térmicas são 0,5 e 0,03 W/mK, respectivamente. O conjunto encontra-se instalado num local exterior, onde a temperatura do ar é de 10°C e o coeficiente de convecção é de 10 W/m²K.

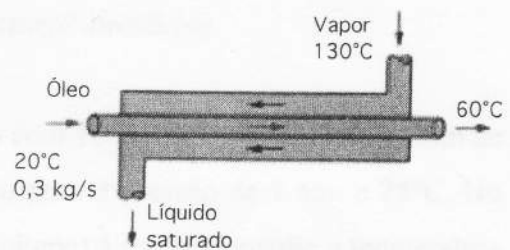


[1,5] **a)** Elabore um esquema de resistências térmicas, que permita determinar as temperaturas superficiais de cada um dos materiais (1) e (2).

[3] **b)** Estime a temperatura média da superfície exterior do tubo.

[1,5] **c)** Se tivesse que colocar uma manga isolante suplementar com $\lambda = 0,03 \text{ W/mK}$, que espessura recomendaria para o efeito? Comente a solução encontrada.

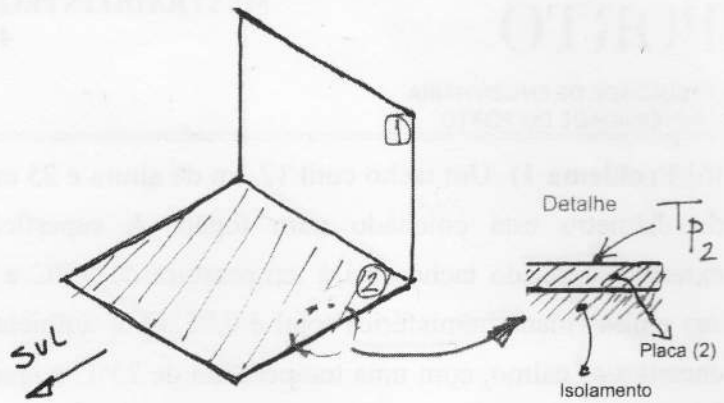
[4] **Problema 3)** No permutador de calor de fluxos opostos da figura pretende-se aquecer 0,3 kg/s de óleo ($c_p = 2100 \text{ J/kg.K}$) dos 20°C aos 60°C, sem que este mude de fase. O tubo interior de cobre é de paredes finas e tem um diâmetro de 20 mm. O fluido quente é água que entra no estado de vapor saturado a 130°C ($h_{1V} = 2174 \text{ kJ/kg}$) e sai em líquido saturado à mesma pressão. Sabendo que o coeficiente global de transferência de calor é igual a 650 W/m²K, determine:



[3] **a)** O comprimento de tubo necessário.

[1] **b)** O método de dimensionamento de permutadores de calor designado por NTU baseia-se na troca de calor sensível entre dois fluidos. Será que é possível utilizar este método quando um dos fluidos mantém a sua temperatura constante ao longo do processo? Justifique.

[6] **Problema 4)** Considere as duas placas quadradas representadas na figura, com 50 cm de lado, e perpendiculares entre si. A placa (1), cuja temperatura é de 1000 K, encontra-se em equilíbrio com o espaço circundante que se encontra a 300 K, sendo a sua emissividade hemisférica

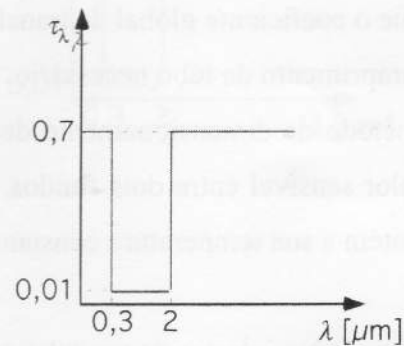
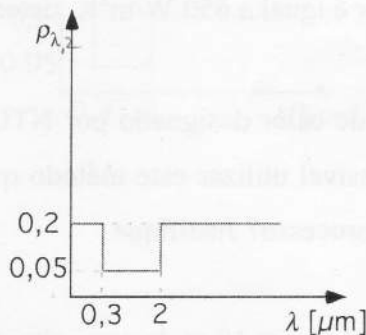


total igual a 0,6. A placa (2) difusa encontra-se isolada na face inferior e em equilíbrio térmico.

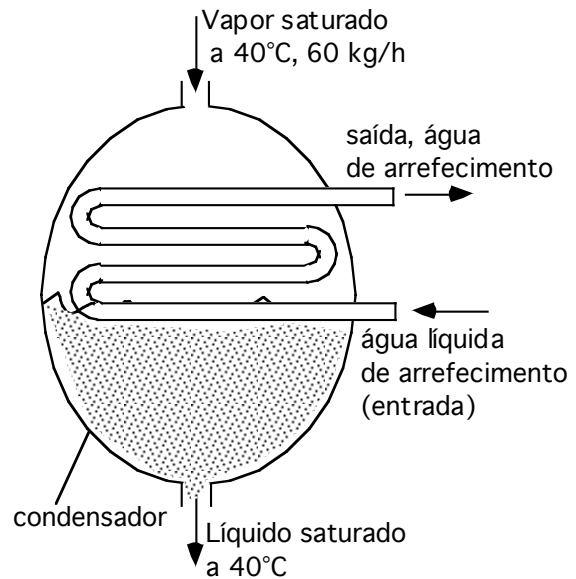
[1] **a)** Determine o fator de forma da superfície (1), visível na figura, para o espaço circundante que se admite com temperatura uniforme.

[3.5] **b)** Considere um escoamento de ar tangencial às placas (1) e (2), sendo o coeficiente de transferência de calor por convecção na placa (2) de $50 \text{ W/m}^2\text{K}$. A temperatura de (1) mantém-se igual a 1000 K. Admitindo que a placa (2) é cinzenta e difusa, e os seus coeficientes de emissão e absorção hemisférica total são de 0,3, pretende-se avaliar qual é a percentagem da potência total que esta troca por convecção de/para o espaço circundante representa.

[1.5] **c)** Considerando agora que a placa (2) é difusa mas não cinzenta, possuindo uma transmissibilidade e uma reflexão hemisférica espectral que se representa nas figuras seguintes, calcule o coeficiente de absorção hemisférico total da placa (2) relativo à radiação proveniente da placa 1. Justifique as opções tomadas.



[5] **1)** O vapor de água que sai de uma turbina a 40°C é condensado num grande condensador arrefecido a água, que se escoia no interior de uma serpentina feita de tubo de cobre ($k, \lambda = 400 \text{ W/m.K}$, $c_p = 385 \text{ J/kg.K}$) com diâmetros interior e exterior de 10 mm e 15 mm, respectivamente. A temperatura média da água de arrefecimento é de 20°C, e os coeficientes de transferência de calor por convecção são de $8000 \text{ W/m}^2\text{K}$ e $2000 \text{ W/m}^2\text{K}$ dos lados do vapor e da água líquida, respectivamente. O calor latente de vaporização da água a 40°C é igual a $2406,7 \text{ kJ/kg}$.



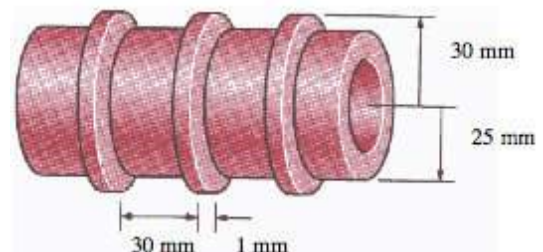
[2.5] **(a)** Se o caudal mássico de vapor for igual a 60 kg/h , qual terá de ser o comprimento do tubo de cobre necessário a condensá-lo?

[2.5] **(b)** Se a velocidade média da água líquida for de 8 m/s , qual será o aumento da temperatura da água de arrefecimento, que circula na serpentina ?

[5] **3)** Uma linha de transmissão de corrente eléctrica tem um diâmetro de 6 mm e transporta uma corrente eléctrica de 50 A apresentando uma resistência óhmica de $0,002 \text{ ohm}$ por metro de comprimento. Determine a temperatura da superfície da linha durante um dia ventoso em que a temperatura do ar seja de 10°C , e a velocidade do vento perpendicular ao fio seja de 40 km/h . Despreze o efeito da radiação.

NOTA- Num circuito eléctrico a queda de potencial (ΔE) é igual ao produto da intensidade de corrente (I) pela resistência óhmica (R) e a correspondente potência dissipada é $P = \Delta E \times I$.

[6] **2)** O tubo da figura em alumínio ($k, \lambda = 237 \text{ W/m.K}$) é alhetado e contém a disposição e dimensões da figura. A temperatura superficial do tubo alhetado é igual a 180°C , o ar ambiente está a 25°C e o coeficiente de convecção exterior é igual a $30 \text{ W/m}^2\text{K}$. Desprezando o efeito da radiação, responda às seguintes questões:

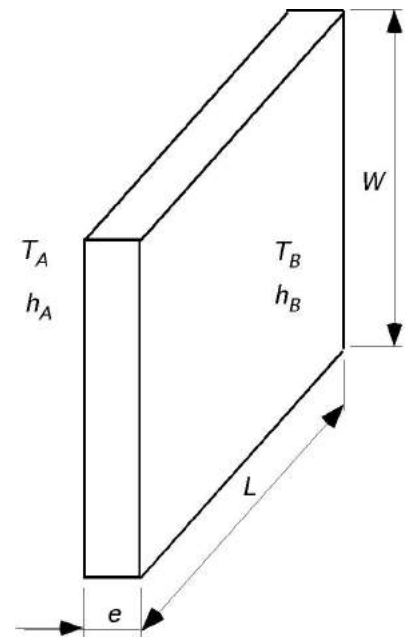


[3] **a)** Qual é a eficácia desta solução?

[3] **b)** Se o uso eficaz das alhetas requerer uma eficácia igual ou superior a 2, qual o espaçamento mínimo entre alhetas que tornaria o seu uso eficaz? Justifique a resposta.

[4] 4) Um bloco tem comprimento L , espessura e e altura W como se mostra na figura. As suas propriedades são a condutibilidade térmica k , a massa volúmica ρ e o calor específico c_p . O bloco está inicialmente ($t=0$ s) a uma temperatura de T_0 e nesse momento é colocado em contacto com dois fluidos diferentes: pelo lado esquerdo com o fluido A cuja temperatura é constante e igual a T_A e onde existe um coeficiente de convecção h_A e pelo lado direito com o fluido B cuja temperatura é igual a T_B e onde existe um coeficiente de convecção h_B .

Considerando desprezáveis as variações de temperatura no interior do cilindro, responda às seguintes questões:



[2] a) Deduza a lei de variação de temperatura ao longo do tempo em função dos dados conhecidos.

[1] b) Qual é a constante de tempo do problema?

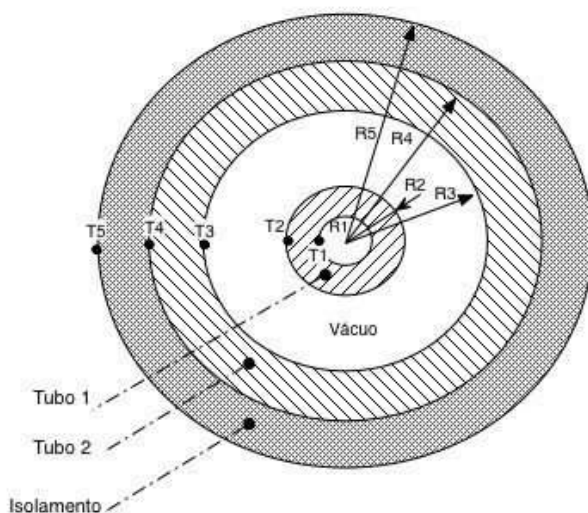
[1] c) Qual é a temperatura de equilíbrio final do bloco?

FIM

Problema 1

Considere o sistema industrial de pipeline de azoto líquido à pressão de 8 atm, e temperatura de 100K. A forma de reduzir a absorção de calor por parte do azoto (N_2) é utilizar dois tubos coaxiais, sendo criado vácuo no espaço entre os tubos (ver figura).

O tubo exterior é de aço e tem de 20 mm de espessura de isolamento ($\lambda=0,045$ W/mK) no seu exterior. O tubo encontra-se exposto ao ar, com uma temperatura de 20°C e um coeficiente de convecção de 10 W/m²k. O tubo 1 tem 40 mm de diâmetro interior e uma espessura de 1,5 cm, sendo que o coeficiente de transferência de calor na sua parede interior é muito elevado quando comparado com os restantes modos de transferência de calor.



$$R1=20 \text{ mm}$$

$$R3=75 \text{ mm}$$

$$R4 = 80\text{mm}$$

$$T1=100\text{K} \quad T_{\text{ext}}=20^\circ\text{C}$$

$$\lambda_{\text{tubo1}}=16 \text{ W/mK}$$

$$\lambda_{\text{tubo2}}=35 \text{ W/mK}$$

Para melhorar o isolamento estão a ser testados diferentes tintas na superfície 3, com diferentes valores de ρ .

- Para um determinado acabamento da superfície 3, deteta-se que a sua temperatura ($T3$) é de 0°C . Nestas condições:
 - determine a distribuição de temperaturas ao longo do raio do tubo 2 e do isolamento exterior;
 - avalie se qualquer espessura de isolamento sobre o tubo exterior (Tubo 2) é benéfica ou se há valores a evitar (e nesse caso, qual a gama).
- Considere as condições iniciais do problema em que as superfícies 2 e 3, com comportamento de corpo cinzento e difuso, têm um coeficiente de reflexão hemisfério total de 0,85. Determine o fluxo de calor absorvido pelo azoto, por m de tubo.
- Elabore um esquema de resistência térmicas que permitam determinar o fluxo de calor nas condições iniciais do problema, mas considerando haver uma fuga de ar para o sistema e deixa de existir vácuo entre os dois tubos.

Problema 2

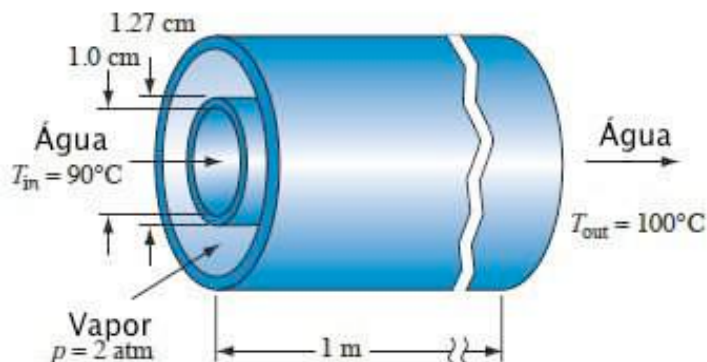
Considere uma placa horizontal retangular de 80 x 50 cm que serve de cobertura a uma caldeira. Ela deve ser capaz de dissipar uma potência de 100 W apenas por convecção sem que (por razões de segurança) a sua temperatura superficial superior ultrapasse os 35°C. O ar ambiente do compartimento encontra-se a 25°C.

- Averigue se a especificação de projeto será cumprida apenas por convecção natural.
- Caso se pretendesse dissipar uma potência de 150W, por convecção forçada com escoamento paralelo à placa sem que esta ultrapasse os 35 °C, qual a velocidade mínima do ar que seria necessária ? Comece por trabalhar na hipótese de que tal só será possível em regime turbulento.
- Que condição deveria relaxar para conseguir dissipar os 150W por convecção com escoamento laminar ?

Problema 3

Considere um condensador de uma só passagem como se representa na figura, cujo objetivo é condensar vapor de água que se encontra a 2,02 atm. A água de arrefecimento do condensador entra a 90°C no tubo central, em cobre ($\lambda=210\text{W/mK}$), e não deve atingir uma temperatura superior a 100°C durante a passagem no sistema. (Nota: O tubo exterior tem um diâmetro tal que não interfere com o escoamento do condensado)

- Estime o caudal mínimo de água que deve circular no tubo central para garantir essa condição operacional.
- Seria possível, alterando o funcionamento mas não a geometria do sistema, conseguir retirar a mesma potência com um caudal de água mais baixo ? justifique.



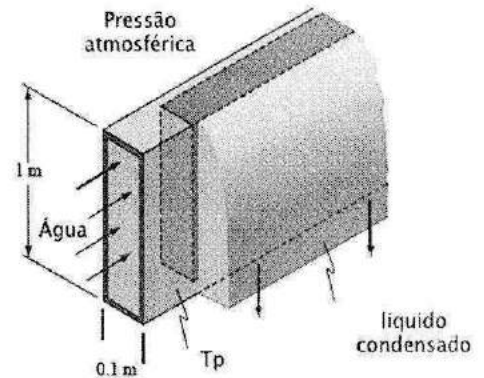
FIM

Cotações:

1a	1b	1c	2a	2b	2c	3a	3b
3,0	1,5	1,0	2,5	3,0	2,0	5,0	2,0

Problema 1

Considere um tubo de seção retangular (1,0x0,1 m), onde no seu interior se dá um escoamento de água hidráulicamente e termicamente desenvolvido. O tubo encontra-se num espaço onde existe vapor à pressão atmosférica e que condensa nas superfícies verticais do mesmo, como se representa na figura. A água entra no tubo com uma temperatura e uma velocidade média de 20°C e 1,5 m/s, respectivamente.



- Determine o caudal de condensados, por metro de tubo, se por hipóteses a temperatura da parede exterior do tubo (T_p) for de 80°C.
- Pretende-se determinar a temperatura média da água à saída do tubo, sabendo que este tem um comprimento de 10 m, e ainda o coeficiente médio de transferência de calor do escoamento interior. O tubo é em aço inoxidável ($\lambda=16$ W/mK) e tem espessura de 3 mm. Para o cálculo admita que o caudal de condensados é o mesmo que calculou em a). (Nota: se não respondeu em a) considere 0,1156 kg/(m.s))

Problema 2

Considere um cubo de gelo seco a 0°C com 5 cm de aresta que se encontra pousado numa superfície bem isolada, num laboratório cujo ar, paredes e teto se encontram a 20°C. Assuma que o coeficiente de convecção tem o valor médio de 4 W/m²K em todas as superfícies, e que o gelo tem uma emissibilidade de 0,95. Considere $h_{iv}=334$ kJ/(kg.K) e $\lambda=1,0$ W/m.K

- Estime o fluxo de calor perdido pelo gelo no instante inicial;
- Se nas condições da alínea a) o cubo de gelo for levado para uma câmara a -18°C, quanto tempo será necessário até que a sua superfície atinja a temperatura de -10°C ?
- Partindo de uma equação de balanço de energia, e assumindo que o fluxo de calor por unidade de área calculado em a) se mantém, constante ao longo de todo o processo, obtenha uma expressão para o tamanho a aresta do cubo em função do tempo e estime o tempo necessário para a completa fusão do cubo. [nota 1: considere; nota 2: se não resolveu a alínea a) considere $q=175$ W/m²]

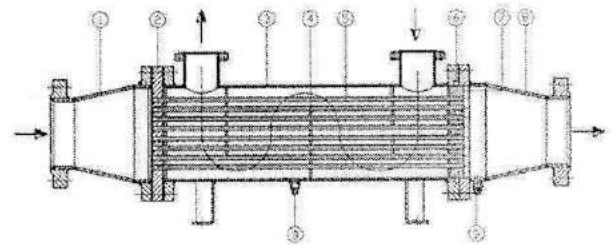
Problema 3

Considere um compartimento cúbico com aresta de 4 m, em vácuo, onde o teto está completamente preenchido com um painel radiante (aquecedor) à temperatura de 50°C. Considere que teto e chão têm $\varepsilon=0,90$ e as paredes $\varepsilon=0,80$.

- (2,5 val) Qual a potência perdida pelo painel radiante se as paredes se encontrarem a 25°C e o chão a 20°C ?
- (2,0 val) Qual a potência perdida pelo painel radiante (face a a)) se o chão se mantiver a 20°C mas as paredes estiverem muito bem isoladas na face posterior ?
- (1,5 val) Qual a potência perdida pelo painel radiante nas condições de b) se a emissibilidade das paredes baixar para 0,60 ?

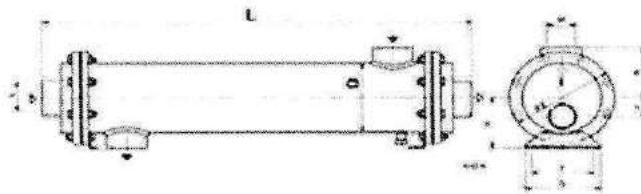
Problema 4

Um permutador de carcaça e tubos ('shell and tube') em contracorrente recupera calor de efluentes quentes saídos de um tanque de tinturaria pré-aquecendo a água que enche um tanque de pré-alimentação do processo. Os caudais 'out' and 'in' são, à partida, sensivelmente os mesmos. A condição legal é que $T''_w < 18^\circ\text{C}$ para não perturbar o sistema ecológico do ribeiro a que se destinam os efluentes mas as temperaturas de funcionamento são as seguintes: $T'_{\text{alfa}} = 50^\circ\text{C}$; $T''_w = 23^\circ\text{C}$ e $T'_{\text{alfa}} = 15^\circ\text{C}$.



A condição legal é que $T''_w < 18^\circ\text{C}$ para não perturbar o sistema ecológico do ribeiro a que se destinam os efluentes mas as temperaturas de funcionamento são as seguintes: $T'_{\text{alfa}} = 50^\circ\text{C}$; $T''_w = 23^\circ\text{C}$ e $T'_{\text{alfa}} = 15^\circ\text{C}$.

- À partida qual dos fluidos parece mais indicado circular no interior dos tubos?
- Sem rejeitar o permutador existente, discuta os méritos energéticos de duas soluções possíveis para reduzir T''_w de 23 para 18°C. Justifique, discutindo os respetivos méritos energéticos absoluto e relativo. Não considere o aspeto económico.



FIM

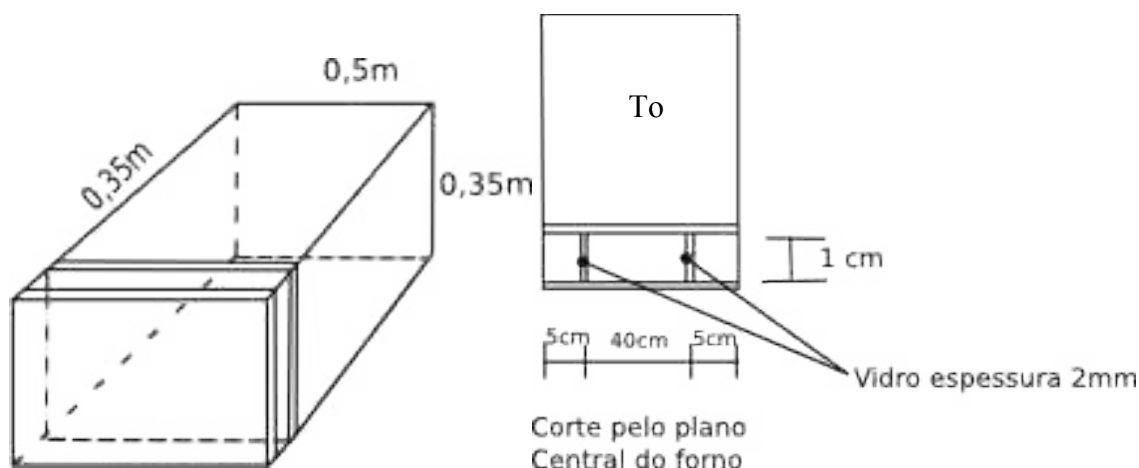
Cotações:

1a	1b	2a	2b	2c	3a	3b	3c	4a	4b
2,0	3,0				2,5	2,0	1,5		

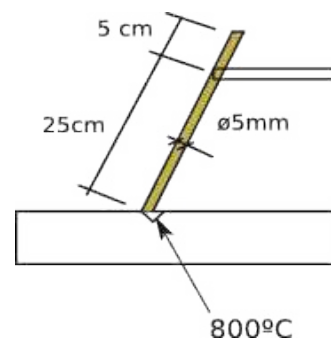
1 – Pense no forno de um fogão doméstico, esquematicamente representado na figura abaixo. Trata-se de um volume prismático em que todas as faces são em aço e são aquecidas a uma temperatura uniforme T_0 igual à temperatura do ar no interior à excepção da porta que é de vidro duplo para permitir ao cozinheiro visionar o estado dos assados em preparação. A face interior do vidro dispõe de um tratamento superficial que garante $\varepsilon = 0,4$, enquanto que todas as restantes superfícies de vidro (porta) têm $\varepsilon = 0,9$. Na cavidade do vidro duplo existe o vácuo pelo que, por razões estruturais, há dois reforços de vidro transversais, tal como se mostra na figura. O aço pode ser considerado como um corpo cinzento com $\varepsilon = 0,85$. O vidro pode ser considerado opaco à radiação infravermelha ($\lambda > 2 \mu\text{m}$). A condutibilidade térmica do vidro é de $0,1 \text{ W/mK}$. Por razões de segurança, pretende-se que a superfície exterior do vidro não ultrapasse 80°C . Pretende-se determinar a temperatura T_0 máxima possível para o ar no interior do forno, suposta igual à das suas superfícies interiores.

Para determinar T_0 é necessário conhecer um conjunto de variáveis.

- (2 val) Determine o coeficiente de transferência de calor por convecção (α_e) na face exterior da porta de vidro. A temperatura do ar na cozinha é de 27°C . No interior do forno, devido à circulação do ar provocada por um pequeno ventilador para uniformização da temperatura do ar no forno, o coeficiente de transferência de calor por convecção na face interior do vidro (α_i) é de $25 \text{ W/m}^2\text{K}$
- (3,5 val) Determine o coeficiente global de transferência de calor (U) entre as faces interior e exterior do vidro duplo (NOTA: Se não respondeu a a), use $\alpha = 10 \text{ W/m}^2\text{K}$).
- (3,5 val) Determine T_0 . (NOTA: Se não respondeu a b), use $U = 4 \text{ W/m}^2\text{K}$).
- (1 val) Verifique se a radiação emitida pelo forno é efectivamente totalmente reflectida pelo vidro. (NOTA: Se não respondeu a c), use $T_0 = 225^\circ\text{C}$).



2. Considere um eléctrodo de soldadura, tal como representado na figura. Quando a soldar, a sua ponta está a 800°C . Na sala, a temperatura ambiente é de 25°C .



- (1,5 val) Admitindo que tudo está em regime permanente, qual a temperatura do eléctrodo no ponto onde o operário o seguraria, a 25 cm da ponta? Admita que o coeficiente global de transferência de calor do eléctrodo para o ar é de $15 \text{ W/m}^2\text{K}$ e que a condutibilidade térmica do eléctrodo é de 40 W/mK .
- (1,5 val) Na prática, a temperatura calculada em a) não se verifica. Explique porquê, descrevendo os fenómenos físicos de transferência de calor que realmente acontecem, e diga em que sentido variaria a temperatura relativamente à calculada em a).

3. Os gases de escape de um forno industrial, a 525°C , passam por uma chaminé de aço inox ($\lambda = 25 \text{ W/mK}$) com diâmetro de 30 cm. Aquela tem um troço horizontal que passa por um tanque de água a 70°C à pressão atmosférica. A velocidade dos gases no tubo é de 5 m/s. Considere todos os regimes de transferência de calor desenvolvidos.

Pretende-se arrefecer os gases até 300°C . As suas propriedades podem ser consideradas iguais às do ar à mesma temperatura.

- (1,5 val) Qual é o coeficiente de transferência de calor no interior da chaminé?
- (2 val) Qual é o coeficiente de transferência de calor no exterior da chaminé quando passa no tanque?
- (1,5 val) Qual é o comprimento de tubo necessário?
- (1 val) Se a chaminé fosse vertical, o tubo teria de ser maior ou menor? Justifique convenientemente.
- (1 val) Poder-se-á dizer que o comprimento do tubo, para o mesmo gradiente de arrefecimento, será tanto maior quanto menor for a temperatura de entrada dos gases,? Justifique convenientemente.

FIM

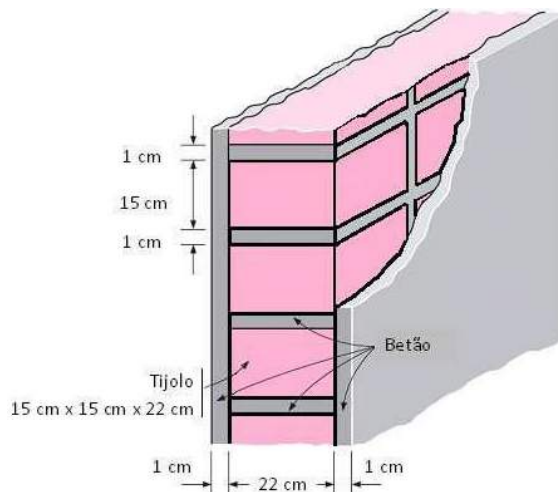
Cotações:

1a	1b	1c	1d	2a	2b	3a	3b	3c	3d	3e
2,0	3,5	3,5	1	1,5	1,5	1,5	2,0	1,5	1,0	1,0

1 – A figura representa uma parede simples de tijolo de um edifício cuja temperatura do ar interior é de 20°C e um coeficiente de convecção de 5 W/m²K. Pretende-se determinar a perda de calor através de uma parede exterior (altura 2,09m e 5,13 m de comprimento) num dia em que a temperatura do ar exterior é de 0 °C e o coeficiente de convecção na superfície exterior é de 12 W/m²K.

a) Com base da analogia reo-elétrica estabeleça um esquema de resistências térmicas que melhor se adapte ao problema.

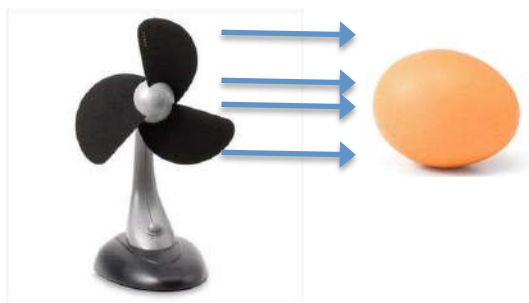
b) Determine o coeficiente global de transferência de calor da parede e o fluxo de calor total perdido.



Nota: Tijolo (barro) – ($\lambda= 0,72145$ W/mK, $\rho=1920$ kg/m³, $C=837$ J/kg.K, Betão ($\lambda=1,7$ W/mK, $\rho=2400$ kg/m³, $C=840$ J/kg.K)

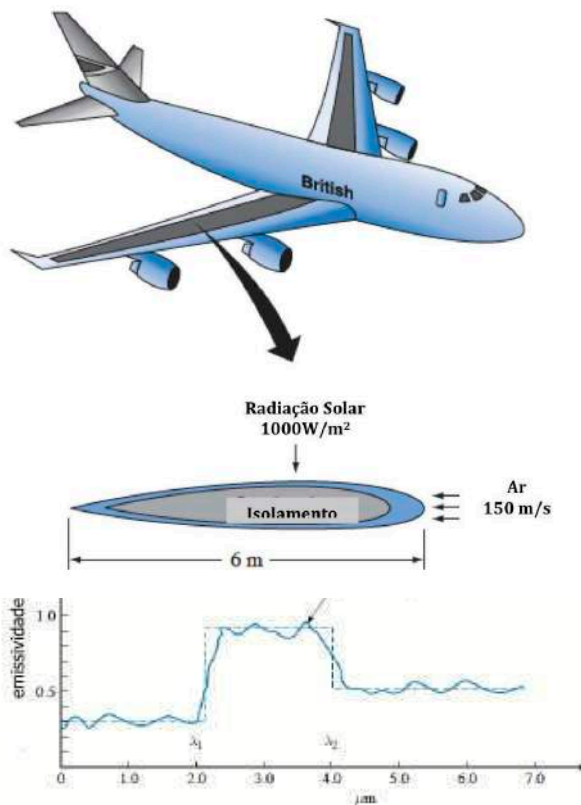
2 - Considere um ovo cozido, que se encontra dentro de um tacho com água com uma temperatura uniforme de 98°C. Num dado instante o ovo é retirado do tacho e colocado ao ar ($T=25$ °C). O ovo cozido tem propriedades físicas que se assumem uniformes ($\lambda=0,4$ W/mK, $a= 0,28 \times 10^{-6}$ m²/s, $\rho=920$ kg/m³, $C=3,9 \times 10^3$ J/kg.K) e que a sua forma pode ser considerada como uma esfera com um diâmetro de 5,5 cm.

a) Pretende-se intensificar o arrefecimento utilizando um dispositivo tal como se apresenta na figura. Deduza uma expressão que relacione o coeficiente global de transferência de calor em função da velocidade de escoamento do ar sobre o ovo.



b) Admitindo que durante o processo de arrefecimento o coeficiente de transferência de calor se mantém constante, determine a velocidade do ar para que em 5 minutos o ovo liberte o correspondente a 70% da sua energia inicial (assuma que a temperatura no interior do ovo é uniforme e apenas dependente do tempo) .

3 - A aeronave representada na figura voa a 8 000 m de altitude a uma velocidade de 150 m/s. Admitindo que a asa se comporta como uma placa plana de largura 6 m. A temperatura do ar exterior é de $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ a temperatura do céu é de $-220\text{ }^{\circ}\text{C}$. A asa é completamente isolada pelo interior, como mostra a figura.



- Determine o coeficiente de convecção a 1,0 m do bordo de ataque da asa, admitindo que a temperatura da placa é uniforme e igual a $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ (considere as propriedades do ar a 0°C para a resolução do problema).
- Na figura representa-se o coeficiente de emissão hemisférica espectral da asa, que se considera uma superfície difusa. Obtenha o coeficiente de absorção hemisférica total da asa.
- Determine temperatura da asa tendo em conta que esta se encontra em equilíbrio térmico e o coeficiente de convecção médio é de $200\text{ W/m}^2\text{K}$. Despreze o efeito radiativo do corpo do avião sobre a asa. Admita ainda que a asa é um superfície cinzenta e difusa com um coeficiente de absorção igual a 0,4.
- No caso de o avião se encontrar em terra e a temperatura ambiente ser $20\text{ }^{\circ}\text{C}$, comente as seguinte afirmações, justificando as suas afirmações:
 - O coeficiente de absorção hemisférica total é diferente do calculado em b).
 - O coeficiente de emissão hemisférica total é de igual valor ao obtido em b).

FIM

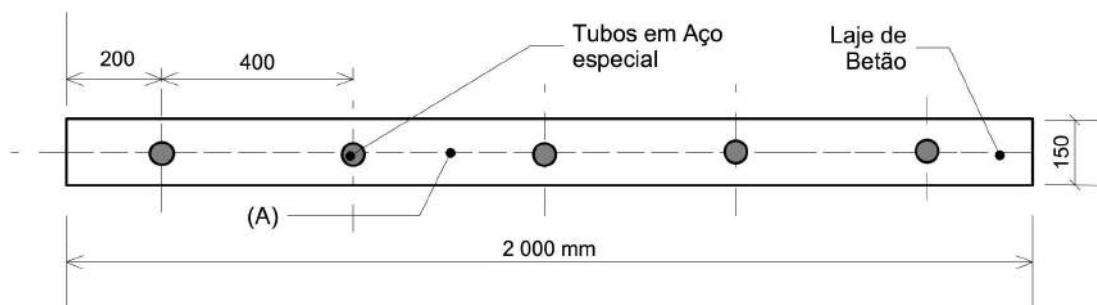
Cotações:

1a	1b	2a	2b	3a	3b	3c	3d1	3d2
2,5	3,5	2,0	4,0	2,0	1,0	3,0	1,0	1,0

A figura representa uma ponte bem conhecida, sendo que na Finlândia existe uma estruturalmente semelhante onde a estrutura resistente (cabos de aço especial) é utilizada como elemento de aquecimento para evitar a formação de gelo na sua face superior.



A figura abaixo apresenta, de forma esquemática, um corte transversal da ponte onde se observam os 5 cabos, uniformemente espaçados entre si, nos quais existe uma geração de calor uniforme de 64 W por metro de cabo.

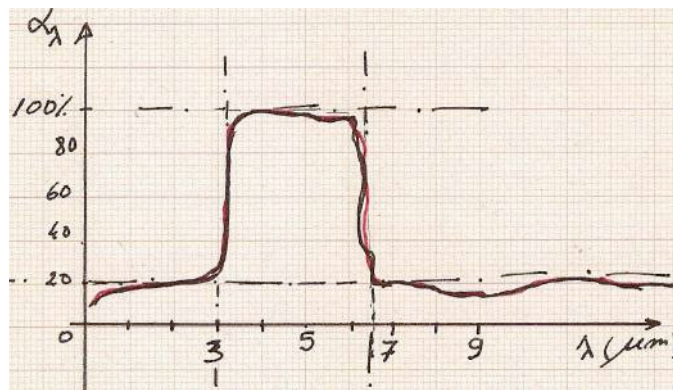


Propriedades do Aço: $\rho = 7800 \text{ kg/m}^3$; $C = 162 \text{ J/kgK}$; $\lambda = 47 \text{ W/mK}$

Propriedades do Betão: $\rho = 1860 \text{ kg/m}^3$; $C = 780 \text{ J/kgK}$; $\lambda = 0,85 \text{ W/mK}$

- a) Num dia sem sol, a temperatura exterior é de 0°C e há vento que induz um coeficiente de transferência de calor convectivo de $20 \text{ W/m}^2\text{K}$. Sabendo que nessa altura cada cabo liberta 64 W/m , determine a temperatura mínima da placa. Admita que se trata de uma ponte muito longa quando comparado com as restantes dimensões (largura e espessura) e assuma condução monodimensional. Despreze as perdas pelas superfícies laterais da laje face às perdas pelas superfícies superior e inferior.

- b)) Num dia de céu nublado em que a temperatura do ar exterior atinge 0°C , verifica-se que a temperatura em toda a laje é uniforme e igual a 2°C . O coeficiente de transferência de calor convectivo é de $20 \text{ W/m}^2\text{K}$ e num dado momento o sistema deixa de fornecer energia. Determine o tempo que é necessário para que o ponto A da placa atinja 50% da sua temperatura inicial, assumindo que a laje é constituída apenas por betão.
- c) No inverno, num dia de sol, pretende-se determinar os coeficientes de absorção e de emissividade global total da superfície superior da laje tendo em conta que a superfície é cinzenta e difusa. A sua temperatura média no inverno é de 2°C . O coeficiente de absorção hemisférico espectral é dado pelo gráfico seguinte:



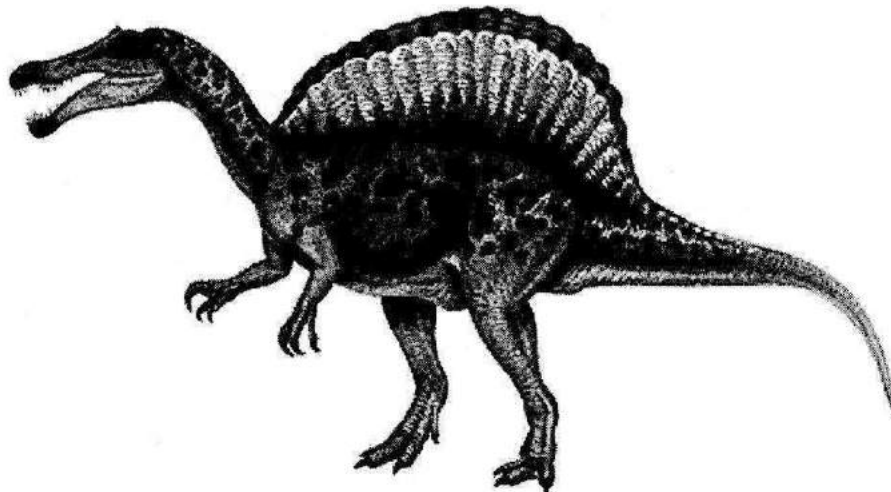
- d) Em funcionamento normal o fluxo de calor libertado é uniforme nas superfícies inferior e superior da placa, resultante da potência libertada pelos cabos. A superfície da placa é cinzenta e difusa com $\alpha = \varepsilon = 0,7$ incidindo-lhe radiação solar com uma intensidade de 244 W/m^2 . O vento incide sobre a ponte de forma tangencial e perpendicular ao eixo dos cabos de aço, com uma velocidade de 30 km/h . Determine a temperatura efectiva da superfície superior da placa quando as temperaturas do ar e do céu são de 2°C e -50°C , respectivamente.
- e) Ao tratar o problema na alínea a) partiu-se do princípio que não existiam trocas de calor por radiação, nem radiação solar incidente. Numa situação real em que estes fenómenos coexistem pretende-se que apresente uma equação, que depois de integrada, permita determinar a distribuição das temperaturas na placa na direcção perpendicular aos cabos. Apresente a equação na sua forma mais simplificada possível.

Nota:

Cada alínea pode ser resolvida de forma independente das restantes.

Cotações: a) 5,0 Val. b) 4,0 Val. c) 3,0 Val. d) 5,0 Val. e) 3,0 Val.

I - Considere um dinossauro da espécie "*Spinossauros*", o qual se julga que era caracterizado pela existência, no dorso, de uma extensão de espinhos ligados por uma membrana, em forma de alheta, com o objetivo de dissipar calor. Considere por simplificação que a alheta teria forma piramidal, com 30 cm de base e 2 m de altura, estendendo-se por 6 m de comprimento (i.e., na direção longitudinal do dinossauro).



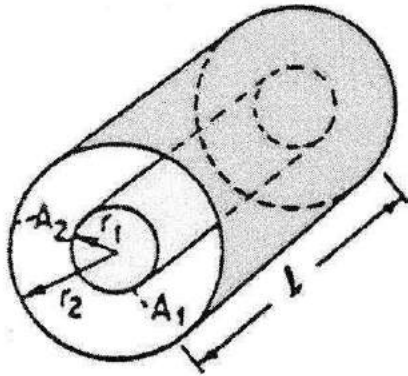
- Estime o coeficiente de convecção na superfície da membrana quando o dinossauro esteja parado. Assuma para o efeito uma temperatura média da superfície 25°C e uma temperatura do meio envolvente de 18°C ;
- Nas mesmas condições da alínea a) estime o coeficiente de trocas radiativas na superfície da membrana. Considere que a superfície desta tem uma emissibilidade de 0,9.
- Usando os dados e os resultados apurados nas alíneas a) e b), estime a temperatura do corpo do dinossauro. Considere que o conjunto espinhos + membrana tem uma condutibilidade térmica homogénea de $50 \text{ W/m}\cdot^{\circ}\text{C}$.
- No caso de o dinossauro estar em corrida a 30 km/h , a potência dissipada pelo conjunto espinhos + membrana seria, para as mesmas temperaturas de corpo e de ambiente, maior ou menor? Porquê?

II - Considere um ovo cozido, que se encontra dentro de uma panela com água com uma temperatura uniforme de 98°C . Num dado instante o ovo é retirado da panela e colocado a arrefecer em contacto com ar calmo a 25°C . Considerando que o ovo cozido tem propriedades físicas que se assumem uniformes ($\lambda = 0,4 \text{ W/m}\cdot\text{K}$, $\alpha = 0,28 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$, $\rho = 920 \text{ kg/m}^3$, $c_p = 3,9 \times 10^3 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$) e que a sua forma pode ser simplificada a uma esfera de diâmetro 5,5 cm:



- a) determine ao fim de quanto tempo o centro do ovo atinge 45°C , assumindo que $\alpha = 5 \text{ W/m}^2\text{K}$
- a) Represente graficamente a distribuição radial de temperatura no ovo nesse instante e calcule um valor que se possa considerar representativo da temperatura média do ovo;
- b) Estime, em valor absoluto e em percentagem, a energia térmica perdida pelo ovo durante o processo de arrefecimento desde o início até esse momento. Faça as considerações que melhor se ajustem ao problema.

III Considere uma peça de uma central térmica solar com a geometria mostrada na figura, onde existe um cilindro interior com raio r_1 de 30 cm, envolto por uma parede cilíndrica com raio de r_2 de 100 cm e espessura desprezável. O conjunto tem um comprimento de 2 m. A superfície do cilindro interior tem uma emissibilidade de 0,2 e está a uma temperatura de 800 K. Já a parede cilíndrica tem a sua superfície exterior perfeitamente isolada, ao passo que a superfície interior tem emissibilidade de 0,4. A peça encontra-se num armazém de grandes dimensões cujas superfícies estão a uma temperatura de 300 K.



- c) Desenhe um esquema de analogia reo-elétrica que represente corretamente o problema;
- d) Calcule a potência perdida por radiação pelo cilindro interior, assumindo que as trocas ocorrem só por radiação. Considere que $F_{1-2}=0,7$.
- e) Como variaria o valor calculado em b) caso se aumentasse a emissibilidade da superfície 2 (superfície interior do cilindro exterior) ?

FIM

Cotações:

1a	1b	1c	1d	2a	2b	2c	3a	3b	3c
2	1,5	3	1,5				2	2	2

1. Pretende-se montar um puxador numa porta dum forno. A parede exterior da porta está a 160°C . Considere o puxador curvo em forma de U com um diâmetro de $6,35\text{ mm}$ e um comprimento de 400 mm soldado à porta. O material do puxador é em aço maciço com uma condutibilidade térmica de 57 W/(mK) . O ar exterior e a superfície envolvente estão a 24°C arrefecendo o puxador com um coeficiente de $12\text{ W/(m}^2\text{K)}$ incluindo convecção e radiação.



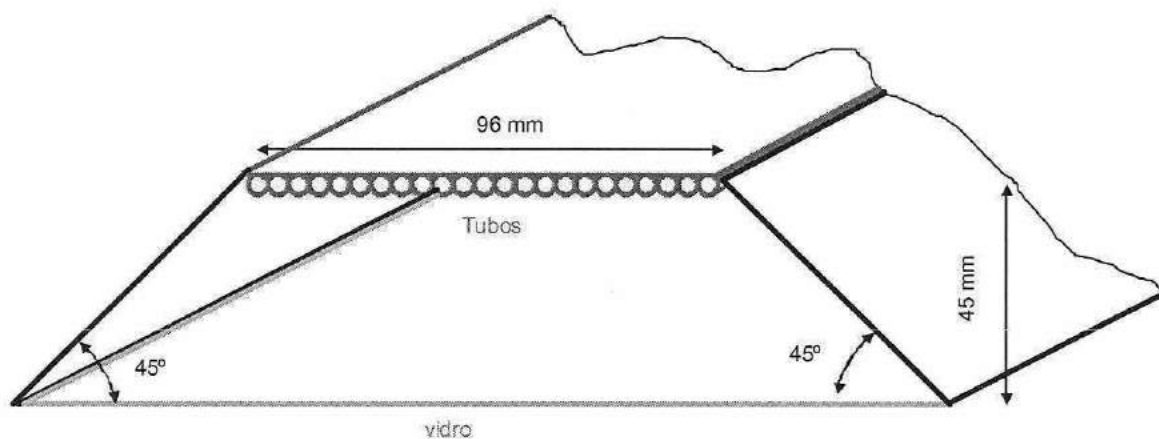
- Calcule a temperatura mínima do puxador (i.e. a temperatura no seu ponto mais frio).
- Calcule a distância mínima a partir da porta que se pode puxar com a mão sem nos queimarmos. Considere 65°C como a temperatura a partir da qual ocorrem queimaduras.
- Diga como poderia melhorar o desenho do puxador de forma a melhorar o seu comportamento funcional do ponto de vista térmico.

2. Considere que uma pessoa pode, para efeitos de estudo térmico, ser aproximada a um cilindro com 170 cm de altura e 40 cm de diâmetro.

- Estime a potência de calor perdida por convecção numa situação em que a pele esteja a 33°C e o ar ambiente (calmo) a 7°C . Considere a pessoa sem roupa e despreze a perda para o chão.
- Estime a nova perda de calor mas agora considerando o efeito de roupa, que introduz uma resistência térmica adicional de $1\text{ (m}^2\cdot^{\circ}\text{C)/W}$.

3. Um receptor de um colector solar linear de Fresnel tem uma seccção de forma trapezoidal como apresentado na figura. Os tubos onde circula a água pressurizada estão colocados na placa superior e apresentam uma emissividade total hemisférica de 0,5 e uma temperatura de 230°C. A placa inferior é uma superfície de vidro. Considere a dimensão perpendicular ao plano da figura muito superior às outras dimensões. Considere ainda que o espaço no interior é evacuado e aproxime a placa dos tubos a uma parede lisa tal como apresentado na figura. A superfície do vidro é difusa e a distribuição espectral do coeficiente transmissão (τ_{vidro}) pode ser aproximado pela seguinte equação:

$$\tau_{\text{vidro}} = \begin{cases} 0 & 0 \leq \lambda \leq 0,3 \\ 0,9 & 0,3 < \lambda \leq 2,5 \\ 0 & \lambda > 2,5 \end{cases}$$



- a) Calcule o coeficiente de transmissão total hemisférico do vidro relativo à radiação emitida pelos tubos. Pode considerar o vidro opaco a esta radiação?
- b) Calcule o factor de forma dos tubos para o vidro.
- c) Calcule a perda de calor pelo vidro por unidade de comprimento da cavidade (W/m) num instante em que não há radiação solar incidente no vidro. Considere todas as superfícies cinzentas e difusas. Assuma uma temperatura do ar exterior e vizinhança de 20°C, coeficiente de convecção exterior de 10 W/(m²K), paredes laterais re-irradiantes e emissividade do vidro de 0,8.

Cotações:

1a)	1b)	1c)	2a)	2b)	3a)	3b)	3c)
3,0	2,0	2,0	3,5	3,0	2,0	1,5	3,0

TRANSFERÊNCIA DE CALOR

RECURSO

2009/02/17

Duração: 02h00m

1. Uma peça metálica ($\lambda = 200 \text{ m.K}$, $\rho = 2900 \text{ kg/m}^3$, $c_p = 900 \text{ J/kg.K}$) com as dimensões indicadas na figura 1, está colocada sobre uma placa mantida a 100°C , por um sistema de aquecimento, atingindo o seu fundo a mesma temperatura ($T_1 = 100^\circ\text{C}$). Sobre a peça, incide ar a 20°C e $1,0 \text{ m/s}$, com a direcção representada na mesma figura.

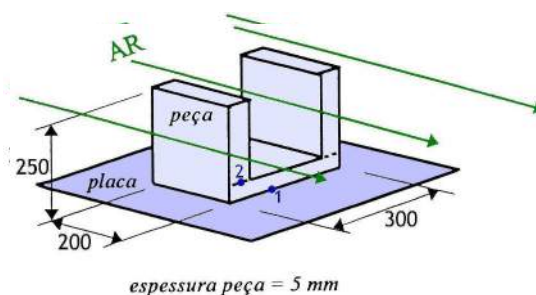


Figura 1

Considere que o coeficiente de radiação $\alpha_{\text{rad}} = 5 \text{ W/m}^2\text{.K}$, representa com precisão suficiente o mecanismo da radiação, e responda às seguintes questões:

- Determine o coeficiente de convecção para a transferência de calor entre a peça e o ar. Use a temperatura do ar (20°C) para leitura das propriedades.
- Supondo que o coeficiente de convecção é em constante em toda a peça, determine a temperatura na face 2 (T_2) da peça (ver figura 1).
Se não resolveu a alínea anterior, considere $\alpha_{\text{conv}} = 9,0 \text{ W/m}^2\text{.K}$.
- Calcule a potência calorífica dissipada através da peça.
- A partir de um dado instante, o sistema de aquecimento é desligado. Considere que nesse instante a temperatura é uniforme em toda a peça, e que esta arrefece uniformemente ao longo do tempo. Sendo o ar o único elemento arrefecedor, calcule o tempo necessário ao arrefecimento da peça.

2. Considere uma pista de patinagem sobre o gelo circular com uma cúpula hemisférica, de 25 m de diâmetro, conforme representado na figura 2a. Todas as superfícies são cinzentas e difusas, com uma emissividade espectral que se representa na figura 2b.

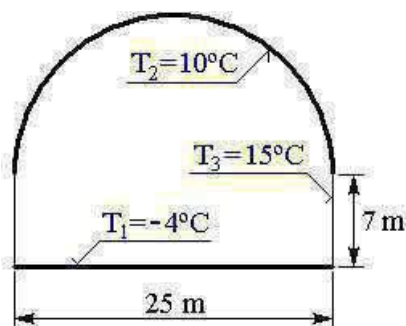


Figura 2a

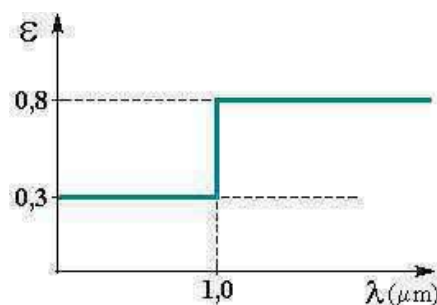


Figura 2b

- Calcule a potência de arrefecimento que é necessário fornecer ao gelo para compensar o aquecimento devido às trocas radiativas com as superfícies vizinhas.

TRANSFERÊNCIA DE CALOR

1ª CHAMADA

2009/01/22

Duração: 02h00m

1. Colocam-se Melões inicialmente a $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ num congelador a $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$, de modo a arrefece-los rapidamente. Suponha que os melões têm 30 cm de diâmetro, $\rho=840\text{ kg/m}^3$, $c_p=3,6\text{ kJ/kg.K}$ e $\lambda=0,52\text{ W/m.K}$, e que o coeficiente superficial de convecção é $8\text{ W/m}^2.K$.
 - a) Determine ao fim de quanto tempo há o perigo de começar a haver congelamento nos melões.
 - b) Qual o calor que terá sido perdido pelos melões até esse momento?
 - c) Na realidade, espera que o congelamento possa começar antes ou depois do tempo que obteve na alínea a)? Justifique.

2. Um colector solar plano (2 m de altura \times $2,5\text{ m}$ de largura) está colocado no telhado de uma moradia (ver figura 2a) cuja inclinação é de $\theta = 30^{\circ}$, igual à do colector solar.

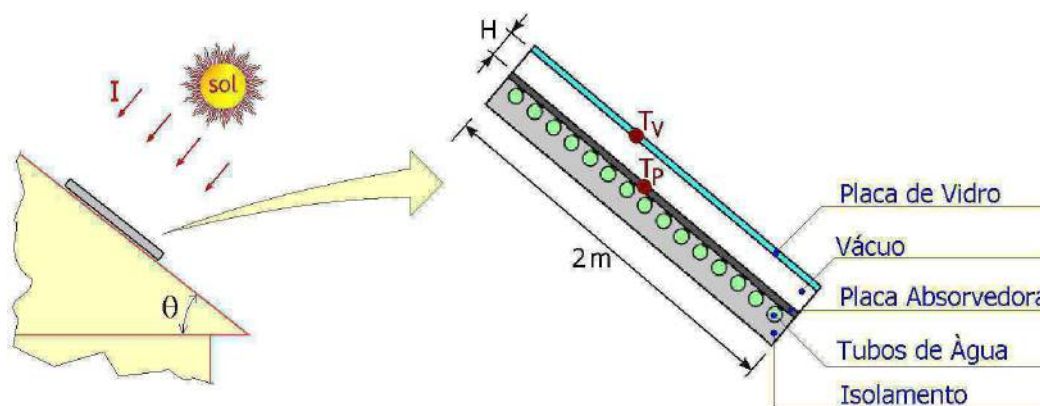


Figura 2a

O colector solar é constituído por uma placa de vidro e uma placa absorvedora, onde estão colocados os tubos de circulação da água, distanciadas de $H = 20\text{ mm}$. No espaço entre as placas foi gerado o vácuo.

O coeficiente de transmissão e a emissividade do vidro são iguais a $0,85$ e $0,70$, respectivamente. A emissividade espectral da placa absorvedora (corpo difuso) está representada na figura 2b.

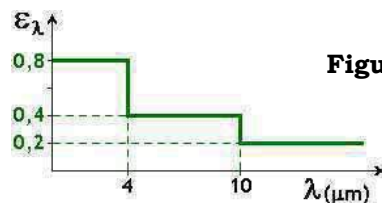


Figura 2b

Sabe-se que, quando a radiação solar incide sobre o colector com uma intensidade $I = 900\text{ W/m}^2$, e as temperaturas do ar atmosférico e do céu são iguais a $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$, respectivamente, a temperatura da placa absorvedora atinge $T_p = 90\text{ }^{\circ}\text{C}$. Nestas condições, responda às seguintes questões:

- a) Calcule o coeficiente de convecção para a transferência de calor entre o vidro e o ar atmosférico. No cálculo, considere que o colector se encontra na horizontal ($\theta = 0^{\circ}$), e use a temperatura do ar ($20\text{ }^{\circ}\text{C}$) para leitura das suas propriedades

- b) Calcule os coeficientes de absorção e de reflexão hemisféricos totais da placa absorvedora.
- c) Calcule a potência calorífica trocada entre as placas de vidro e absorvedora, em função da temperatura do vidro (T_V).
- d) Determine a temperatura da placa de vidro. Para o efeito, nos casos onde é possível ocorrer mais do que uma reflexão, considere apenas a primeira reflexão e despreze as restantes.

3. a) O tubo representado na figura 3 encontra-se envolvido por vapor de água saturado (sendo $T_{\text{sat}} = 100^\circ\text{C}$), e no seu interior circula água. De forma a garantir o máximo coeficiente global de transferência de calor, entre o exterior e o interior, diga qual das três temperaturas de entrada da água aconselharia: 20°C , 50°C ou 80°C . Justifique.



Figura 3

- b) Num permutador de calor em que um dos fluidos condensa cedendo calor ao outro fluido que se evapora:
- b.1) Trace o diagrama representativo da evolução das temperaturas no permutador, e
- b.2) Indique como se calcula a diferença de temperatura média logarítmica para a respectiva transferência de calor.

- c) Partindo da equação de balanço radiativo de uma superfície e da definição de radiosidade, mostre que o balanço radiativo de uma superfície k completamente rodeada por N superfícies cinzentas e difusas é dado por:

$$\dot{Q}_k = A_k \varepsilon_k \sigma \sum_{j=1}^N F_{k-j} (T_j^4 - T_k^4)$$

- d) Considere o convergente e o divergente, representados na figura 4, através dos quais circula o mesmo caudal mássico. Sabendo que as secções "s" também são iguais ($\varnothing_I = \varnothing_{II}$), indique em qual dos casos é maior o coeficiente local de transferência de calor por convecção. Justifique a resposta.

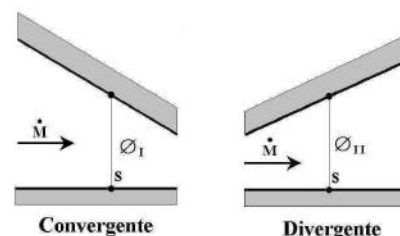


Figura 4

COTAÇÕES:	<u>1ª QUESTÃO</u>	<u>2ª QUESTÃO</u>	<u>3ª QUESTÃO</u>
	a) 3,0 val.	a) 2,0 val.	a) 1,0 val.
	b.) 3,0 val.	b) 2,0 val.	b.1) 1,0 val.
	c) 2,0 val.	c) 1,5 val.	b.2) 1,0 val.
		d) 2,5 val.	c) 1,0 val.
			d) 1,0 val.



Universidade do Porto
Faculdade de Engenharia

FEUP

DEMEGI

Departamento de Engenharia
Mecânica e Gestão Industrial

TRANSFERÊNCIA DE CALOR

1ª CHAMADA

2009/01/22

Duração: 02h00m

1. Uma peça metálica ($\lambda = 200 \text{ W/m.K}$, $\rho = 2900 \text{ kg/m}^3$, $c_p = 900 \text{ J/kg.K}$) com as dimensões indicadas na figura 1, está colocada sobre uma placa mantida a 100°C , por um sistema de aquecimento, atingindo o seu fundo a mesma temperatura ($T_1 = 100^\circ\text{C}$). Sobre a peça, incide ar a 20°C e $1,0 \text{ m/s}$, com a direcção representada na mesma figura.

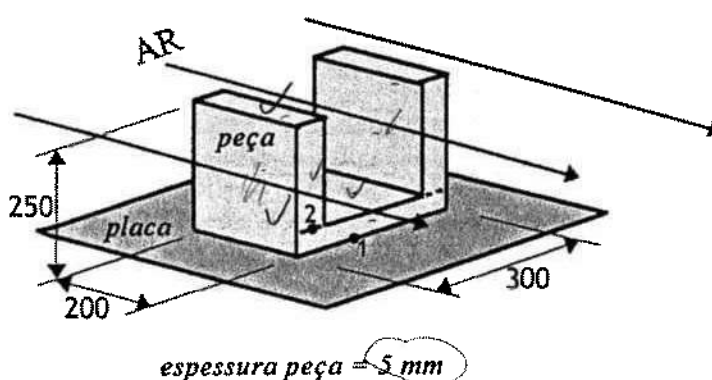


Figura 1

- Determine o coeficiente de convecção para a transferência de calor entre a peça e o ar. Use a temperatura do ar (20°C) para leitura das propriedades.
- Supondo que o coeficiente de convecção é em constante em toda a peça, determine a temperatura na face 2 (T_2) da peça (ver figura 1).
Se não resolveu a alínea anterior, considere $\alpha_{conv} = 9,0 \text{ W/m}^2\text{K}$.
- Considere as simplificações que julgar convenientes e calcule a potência calorífica dissipada através da peça.
- A partir de um dado instante, o sistema de aquecimento é desligado. Considere que nesse instante a temperatura é uniforme em toda a peça, e que esta arrefece uniformemente ao longo do tempo. Sendo o ar o único elemento arrefecedor, calcule o tempo necessário ao arrefecimento da peça.

2. Considere uma pista de patinagem sobre o gelo circular com uma cúpula hemisférica, de 25 m de diâmetro, conforme representado na figura 2a. Todas as superfícies são cinzentas e difusas, com uma emissividade espectral que se representa na figura 2b.

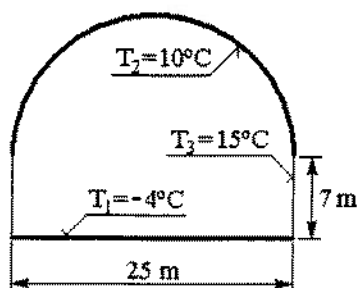


Figura 2a

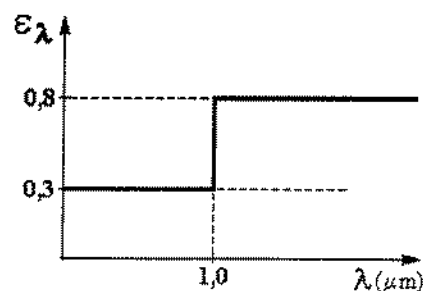


Figura 2b

- a) Calcule todos os factores de forma entre as três superfícies representadas na figura 2a.
- b) Calcule a potência de arrefecimento que é necessário fornecer ao gelo para compensar o aquecimento devido às trocas radiativas com as superfícies vizinhas.

3. a) Uma placa plana encontra-se imersa em água ($T_{\text{água}} = 100^{\circ}\text{C}$) como se ilustra na figura 3a. Sendo a temperatura da placa igual a 120°C , diga em qual das faces da placa (superior ou inferior) é maior o coeficiente de transferência de calor. Justifique.

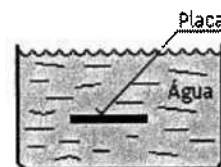


Figura 3a

- b) Seja um permutador feito de dois tubos coaxiais (figura 3b).

Faça uma selecção de critérios para escolher qual é o fluido que vai no tubo interior e o que vai no exterior, justificando um a um:



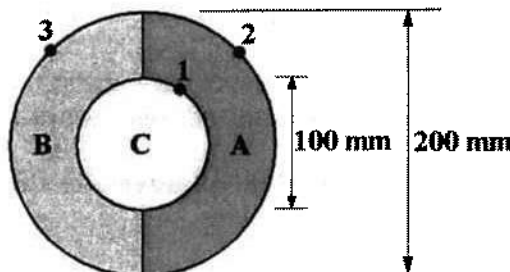
Figura 3b

- b.1) O fluido (') ou ('').
- b.2) O fluido gasoso ou líquido.
- b.3) O fluido a condensar ou a evaporar.
- b.4) Fluxo paralelo ou contracorrente.

COTAÇÕES:	1ª QUESTÃO	2ª QUESTÃO	3ª QUESTÃO
	a) 2,0 val.	a) 2,0 val.	a) 1,0 val.
	b) 3,0 val.	b) 4,0 val.	b.1) 1,0 val.
	c) 2,0 val.		b.2) 1,0 val.
	d) 2,0 val.		b.3) 1,0 val.
			b.4) 1,0 val.

TC - Problema P1: 22 de Outubro de 2008

Prb.P1 - Na figura 1 representa-se o corte transversal de um cabo eléctrico de cobre (**C**), revestido por dois materiais, **A** e **B**. O cabo tem um comprimento de 10 m, um diâmetro de 100 mm e ambos os materiais de revestimento tem uma espessura de 50 mm. No cabo de cobre gera-se calor por efeito de Joule.

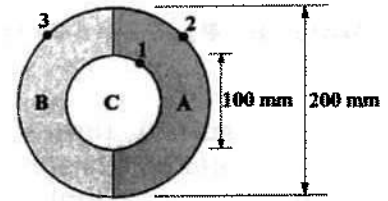


As condutibilidades térmicas do cabo e dos materiais isolantes são: $\lambda_C = 200 \text{ W/m.K}$, $\lambda_A = 2 \text{ W/m.K}$ e $\lambda_B = 0,25 \text{ W/m.K}$. Admita que a resistência de contacto entre os materiais **A** e **B** é infinita.

Sabe-se que o cabo revestido se encontra exposto ao ar ($T = 20^\circ\text{C}$ e $\alpha = 25 \text{ W/m}^2.\text{K}$) e admite-se o regime de condução monodimensional:

- Calcule a resistência térmica através do material de revestimento **A** (R_A) e indique o seu valor em [K/W].
- Calcule a resistência térmica através do material de revestimento **B** (R_B) e indique o seu valor em [K/W].
- Calcule a resistência térmica do ar exterior (R_{ar}), igual em cada um dos lados (**A** e **B**), e indique o seu valor em [K/W].
- Considere nesta alínea e nas seguintes, que $R_A = 0,051 \text{ K/W}$, $R_B = 0,275 \text{ K/W}$ e $R_{ar} = 0,043 \text{ K/W}$. Sabendo que a potência calorífica dissipada através do material **A** é de 1200 W, calcule a potência dissipada através do material **B** e indique o seu valor em [W].
- Considere nesta alínea e nas seguintes, que a potência calorífica dissipada através do material **B** é de 250 W. Determine a potência calorífica libertada por unidade de volume no cabo **C**, em kW/m^3 . Assuma as simplificações que julgar convenientes.
- Considere nesta alínea que a potência calorífica libertada por unidade de volume no cabo **C** é de 50 kW/m^3 . Sabendo que a temperatura na superfície 1 do cabo **C**, é $T_1 = 160^\circ\text{C}$, calcule a temperatura nos pontos interiores do cabo **C**, caracterizados por $r = 25 \text{ mm}$ (no hemisfério virado para **A**), e insira o seu valor em $^\circ\text{C}$.

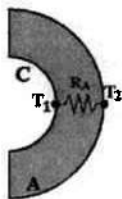
Prb.P1 - Na figura 1 representa-se o corte transversal de um cabo eléctrico de cobre (**C**), revestido por dois materiais, **A** e **B**. O cabo tem um comprimento de 10 m, um diâmetro de 100 mm e ambos os materiais de revestimento tem uma espessura de 50 mm. No cabo de cobre gera-se calor por efeito de Joule.



As condutibilidades térmicas do cabo e dos materiais isolantes são: $\lambda_C = 200 \text{ W/m.K}$, $\lambda_A = 2 \text{ W/m.K}$ e $\lambda_B = 0,25 \text{ W/m.K}$. Admita que a resistência de contacto entre os materiais **A** e **B** é infinita.

Sabe-se que o cabo revestido se encontra exposto ao ar ($T = 20^\circ\text{C}$ e $\alpha = 25 \text{ W/m}^2.\text{K}$) e admite-se o regime de condução monodimensional.

a) Calcule a resistência térmica através do material de revestimento A (R_A) e indique o seu valor em [K/W].

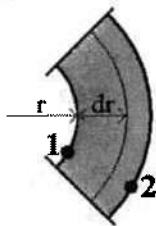


Trata-se de uma resistência de condução cilíndrica, cujo valor R_A é:

$$R_A = \frac{\ln \frac{r_2}{r_1}}{\pi \lambda_A L_A} \rightarrow R_A = \frac{\ln \frac{100}{50}}{\pi \times 2 \times 10}$$

$$R_A = 0,01103 \text{ K/W}$$

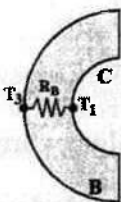
Demonstração (para o revestimento A):



$$dR_{t,cil} = \frac{dr}{\lambda_1 A_t} \rightarrow R_{t,cil} = \int_{r_1}^{r_2} \frac{dr}{2\pi r L \lambda_1} \rightarrow R_{t,cil} = \frac{1}{\pi \lambda_1 L} \int_{r_1}^{r_2} \frac{dr}{r}$$

$$R_{t,cil} = \frac{\ln \frac{r_2}{r_1}}{\pi \lambda_1 L} \text{ ou } R_{t,cil} = \frac{\ln \frac{D_2}{D_1}}{\pi \lambda_1 L} \text{ (K/W)}$$

b) Calcule a resistência térmica através do material de revestimento B (R_B) e indique o seu valor em [K/W].

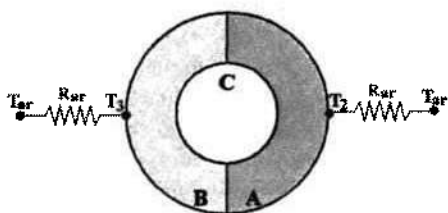


Trata-se também de uma resistência de condução cilíndrica, cujo valor R_B é:

$$R_B = \frac{\ln \frac{r_3}{r_1}}{\pi \lambda_B L_B} \rightarrow R_B = \frac{\ln \frac{100}{50}}{\pi \times 0,25 \times 10}$$

$$R_B = 0,08825 \text{ K/W}$$

c) Calcule a resistência térmica do ar exterior (R_{ar}), igual em cada um dos lados (A e B), e indique o seu valor em [K/W].



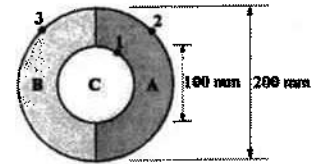
Trata-se de uma resistência de convecção para a TC entre a superfície exterior do revestimento (A ou B) e o ar exterior:

$$R_{ar} = \frac{1}{\alpha_o A} = \frac{1}{\alpha_o \frac{\pi D_{ext} L}{2}}$$

$$R_{ar} = 0,01273 \text{ K/W}$$

$$R_{ar} = \frac{1}{25 \times \frac{\pi \times 0,2 \times 10}{2}}$$

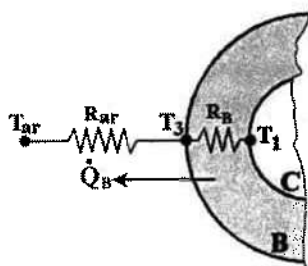
Prb.P1 - Na figura 1 representa-se o corte transversal de um cabo eléctrico de cobre (C), revestido por dois materiais, A e B. O cabo tem um comprimento de 10 m, um diâmetro de 100 mm e ambos os materiais de revestimento tem uma espessura de 50 mm. No cabo de cobre gera-se calor por efeito de Joule.



As condutibilidades térmicas do cabo e dos materiais isolantes são: $\lambda_C = 200 \text{ W/m.K}$, $\lambda_A = 2 \text{ W/m.K}$ e $\lambda_B = 0,25 \text{ W/m.K}$. Admita que a resistência de contacto entre os materiais A e B é infinita.

Sabe-se que o cabo revestido se encontra exposto ao ar ($T = 20^\circ\text{C}$ e $\alpha = 25 \text{ W/m}^2.\text{K}$) e admite-se o regime de condução monodimensional.

d) Considere nesta alínea e nas seguintes, que $R_A = 0,051 \text{ K/W}$, $R_B = 0,275 \text{ K/W}$ e $R_{ar} = 0,043 \text{ K/W}$. Sabendo que a potência calorífica dissipada através do material A é de 1200 W, calcule a potência dissipada através do material B e indique o seu valor em [W].



Potência dissipada através do material B:

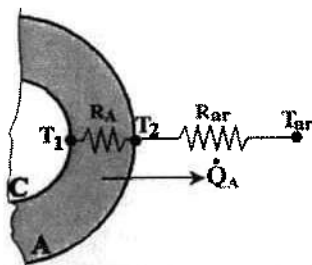
$$\dot{Q}_B = \frac{\Delta T}{R_{eq,B}} = \frac{T_1 - T_{ar}}{R_{eq,B}} \rightarrow \dot{Q}_B = 355 \text{ W}$$

$$\dot{Q}_B = \frac{132,8 - 20}{0,318}$$

Resistência equivalente: $R_{eq} = \sum_{i=1}^n R_i \rightarrow R_{eq,B} = R_B + R_{ar} \rightarrow R_{eq,B} = 0,318 \text{ K/W}$

Cálculo da temperatura na face exterior do cabo de cobre (T_1):

Da potência dissipada através do material A:



$$\dot{Q}_A = \frac{T_1 - T_{ar}}{R_{eq,A}} \rightarrow T_1 = T_{ar} + R_{eq,A} \times \dot{Q}_A$$

$$T_1 = 20 + 0,094 \times 1200 \rightarrow T_1 = 132,8 \text{ }^\circ\text{C}$$

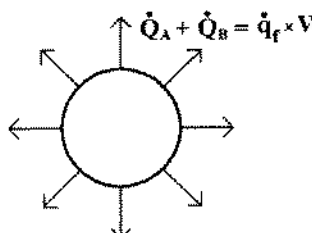
Resistência equivalente:

$$R_{eq,A} = R_A + R_{ar} = 0,051 + 0,043 \rightarrow R_{eq,A} = 0,094 \text{ K/W}$$

Prb.P1 e) Considere nesta alínea e nas seguintes, que a potência calorífica dissipada através do material B é de 250 W. Determine a potência calorífica libertada por unidade de volume no cabo C, em kW/m³. Assuma as simplificações que julgar convenientes.

Simplificação assumida:

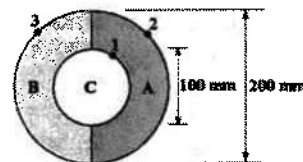
A fonte de calor existente no cabo C está uniformemente distribuída.



$$\dot{Q}_A + \dot{Q}_B = \dot{q}_f \times V \rightarrow \dot{q}_{f,C} = \frac{\dot{Q}_A + \dot{Q}_B}{\frac{\pi D^2}{4} \times L}$$

$$\dot{q}_{f,C} = \frac{1200 + 250}{\frac{\pi \times (0,1)^2}{4} \times 10} \rightarrow \dot{q}_{f,C} = 18,5 \text{ kW/m}^3$$

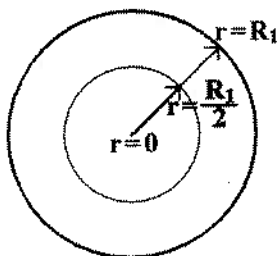
Prb.P1 - Na figura 1 representa-se o corte transversal de um cabo eléctrico de cobre (C), revestido por dois materiais, A e B. O cabo tem um comprimento de 10 m, um diâmetro de 100 mm e ambos os materiais de revestimento tem uma espessura de 50 mm. No cabo de cobre gera-se calor por efeito de Joule.



As condutibilidades térmicas do cabo e dos materiais isolantes são: $\lambda_C = 200 \text{ W/m.K}$, $\lambda_A = 2 \text{ W/m.K}$ e $\lambda_B = 0,25 \text{ W/m.K}$. Admita que a resistência de contacto entre os materiais A e B é infinita.

Sabe-se que o cabo revestido se encontra exposto ao ar ($T = 20^\circ\text{C}$ e $\alpha = 25 \text{ W/m}^2.\text{K}$) e admite-se o regime de condução monodimensional.

f) Considere nesta alínea que a potência calorífica libertada por unidade de volume no cabo C é de 50 kW/m^3 . Sabendo que a temperatura na superfície 1 do cabo C, é $T_1 = 160^\circ\text{C}$, calcule a temperatura nos pontos interiores do cabo C, caracterizados por $r = 25 \text{ mm}$ (no hemisfério virado para A), e insira o seu valor em $^\circ\text{C}$.



Equação da condução monodimensional estacionária, COM fontes de calor:

$$\frac{1}{r} \frac{d}{dr} \left(r \frac{dT}{dr} \right) + \frac{\dot{q}_r}{\lambda_c} = 0$$

$$1^a \text{ integração: } r \frac{dT}{dr} = -\frac{\dot{q}_r}{2\lambda_c} r^2 + C_1 \quad \rightarrow \quad \frac{dT}{dr} = -\frac{\dot{q}_r}{2\lambda_c} r + \frac{C_1}{r}$$

$$2^a \text{ integração: } T(r) = -\frac{\dot{q}_r}{4\lambda_c} r^2 + C_1 \ln r + C_2$$

Condições de fronteira, para cálculo das constantes de integração:

$r = 0$ (máximo): $r \frac{dT}{dr} = 0$

$$-\frac{\dot{q}_r}{2\lambda_c} \times r^2 + C_1 = 0 \quad \rightarrow \quad C_1 = 0$$

$r = R_1 = 50 \text{ mm}$: $T(r = R_1) = T_1 = 160^\circ\text{C}$

$$T(r = R_1) = -\frac{\dot{q}_r}{4\lambda_c} (R_1)^2 + 0 + C_2 = 160^\circ\text{C}$$

$$-\frac{50\,000}{4 \times 200} \times (0,050)^2 + C_2 = 160 \quad \rightarrow \quad C_2 = 160,16^\circ\text{C}$$

Equação da distribuição de temperaturas no interior do cabo de cobre:

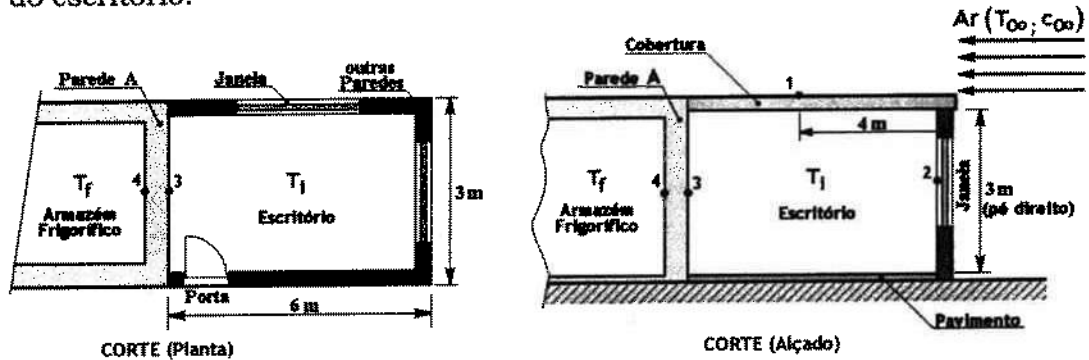
$$T(r) = -\frac{\dot{q}_r}{4\lambda_c} r^2 + C_1 \ln r + C_2 \quad \rightarrow \quad T(r) = -\frac{50\,000}{4 \times 200} r^2 + 160,16$$

Em $r = 25 \text{ mm}$:

$$T(r = 0,025) = -\frac{50\,000}{4 \times 200} \times (0,025)^2 + 160,16 \quad \rightarrow \quad T(r = 0,025) = 160,1^\circ\text{C}$$

TC - Problema P2: 26 de Novembro de 2008

Prb.P2 - O escritório de uma empresa de "frio" com dimensões de $6 \times 3 \times 3$ m tem uma parede meã que o separa de um armazém frigorífico (parede **A**). A restante envolvente do escritório separa o seu ambiente interior, onde a temperatura do ar (calmo) é $T_i = 20^\circ\text{C}$, do ambiente exterior ($T_\infty = 30^\circ\text{C}$). A figura mostra a planta e um alçado lateral, ambos em corte, do escritório.



Na tabela 1 indicam-se as resistências térmicas de condução conhecidas para alguns elementos da envolvente do escritório: paredes, janelas e portas.

Tabela 1	Paredes		Janelas	Porta
	Parede A	Outras		
Área (m^2)	8,5		3,0	2,0
Resistência térmica de condução ($\text{m}^2 \text{K/W}$)	0,12	0,125	0,0036	0,2

A cobertura (tecto) do escritório tem as dimensões indicadas na figura e é constituída por uma placa plana de betão ($\lambda_b = 1,20 \text{ W/mK}$) com 15 cm de espessura. Paralelamente à cobertura, e com a direcção que se mostra na figura, incide o vento com uma velocidade igual a $c_\infty = 18 \text{ km/h}$ ($T_\infty = 30^\circ\text{C}$). No interior do armazém frigorífico a temperatura do ar é $T_f = 0^\circ\text{C}$.

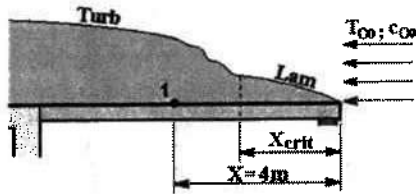
Assuma que os efeitos da radiação no interior e exterior são desprezáveis e responda às seguintes perguntas:

- Calcule o valor local do coeficiente de convecção para a transferência de calor entre o ar exterior e a cobertura, no ponto 1 ($x = 4 \text{ m}$), e indique o seu valor em $\text{W/m}^2\cdot\text{K}$. Use a temperatura do ar exterior (30°C) para leitura das propriedades.
- Calcule o coeficiente de convecção para a transferência de calor entre o ar exterior e a cobertura, e indique o seu valor em $\text{W/m}^2\cdot\text{K}$. Use a temperatura do ar exterior (30°C) para leitura das propriedades.
- Considere, nesta alínea e nas seguintes, que o coeficiente de convecção no exterior (para todas as superfícies: cobertura, paredes, janelas e porta) é de $20 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$. Sabendo que a potência calorífica que entra no escritório através da cobertura é de 178 W , calcule o coeficiente de convecção para a transferência de calor entre a cobertura e o ar interior e indique o seu valor em $\text{W/m}^2\cdot\text{K}$. Use a temperatura do ar interior (20°C) para leitura das propriedades.
- Considere, nesta alínea e nas seguintes, que o coeficiente de convecção no interior do escritório (para todas as superfícies: cobertura, paredes, janelas e porta) é de $5 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$. Calcule a potência calorífica que entra no escritório através das paredes e indique o seu valor em W .
- Calcule a potência calorífica que entra no escritório através das janelas e da porta. Some essas potências e indique o seu valor em W .
- Considere nesta alínea que entra no escritório uma potência calorífica total de $0,5 \text{ kW}$. Desprezando a transferência de calor através do pavimento (que está termicamente isolado), determine a temperatura na face 4 da parede **A**.

Prb.P2 a) Calcule o valor local do coeficiente de convecção para a transferência de calor entre o ar exterior e a cobertura, no ponto 1 ($x = 4\text{m}$), e indique o seu valor em $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$. Use a temperatura do ar exterior (30°C) para leitura das propriedades.

CV Forçada: Placa Plana Horizontal ($6 \times 3\text{m}$):

$$Re_{cr} = \frac{c_\infty x_{cr}}{\nu} = 5 \times 10^5 \rightarrow x_{cr} = \frac{5 \times 10^5 \times \nu}{c_\infty} \rightarrow x_{cr} = \frac{5 \times 10^5 \times 16,04 \times 10^{-6}}{5} \rightarrow x_{cr} = 1,604 \text{ m}$$



Propriedades do ar a 30°C (tabela C1, anexo C):

Propriedades do ar a 30°C :					
ρ (kg/m^3)	c_p ($\text{J}/\text{kg}\cdot\text{K}$)	λ ($\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$)	ν (m^2/s)	μ ($\text{N}\cdot\text{s}/\text{m}^2$)	Pr
1,1656	1005	0,0264	1,6040E-05	1,9E-05	0,712

Número de Reynolds Local ($x = 4 \text{ m}$):

$$Re_x = \frac{c_\infty x}{\nu} = \frac{5 \times 4}{16,04 \times 10^{-6}} = 1\,246\,883 \rightarrow \text{Regime turbulento no local (x=4m)}$$

Regime Turbulento ($T_p = C^{te}$): $Nu_x = 0,0296 Re_x^{4/5} Pr^{1/3}$

$$Nu_x = 0,0296 Re_x^{4/5} Pr^{1/3} = 0,0296 \times (1\,246\,883)^{4/5} \times (0,712)^{1/3} \rightarrow Nu_x = 1989,7$$

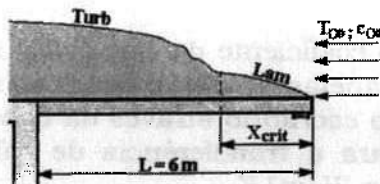
$$\alpha_x = \frac{Nu_x \lambda}{x} = \frac{1989,7 \times 0,0264}{4} \rightarrow \alpha_x = 13,1 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$$

Regime Turbulento ($\dot{q}_p = C^{te}$):

$$Nu_x = 0,0308 Re_x^{4/5} Pr^{1/3} = 0,0308 \times (1\,246\,883)^{4/5} \times (0,712)^{1/3} \rightarrow Nu_x = 2070,3$$

$$\alpha_x = \frac{Nu_x \lambda}{x} = \frac{2070,3 \times 0,0264}{4} \rightarrow \alpha_x = 13,7 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$$

Prb.P2 b) Calcule o coeficiente de convecção para a transferência de calor entre o ar exterior e a cobertura, e indique o seu valor em $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$. Use a temperatura do ar exterior (30°C) para leitura das propriedades.



Propriedades do ar a 30°C (tabela C1, anexo C):

Propriedades do ar a 30°C :					
ρ (kg/m^3)	c_p ($\text{J}/\text{kg}\cdot\text{K}$)	λ ($\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$)	ν (m^2/s)	μ ($\text{N}\cdot\text{s}/\text{m}^2$)	Pr
1,1656	1005	0,0264	1,6040E-05	1,9E-05	0,712

Regime misto (laminar + turbulento) sobre a placa ($T_p = C^{te}$):

$$Re_L = \frac{c_\infty L}{\nu} = \frac{5 \times 6}{16,04 \times 10^{-6}} = 1,870 \times 10^6$$

$$\overline{Nu} = (0,037 Re_L^{4/5} - 871) Pr^{1/3} = [0,037 \times (1\,870\,324)^{4/5} - 871] \times (0,712)^{1/3} \rightarrow \overline{Nu} = 2662,3$$

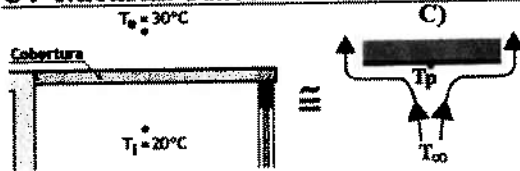
$$\overline{\alpha} = \frac{\overline{Nu} \lambda}{L} = \frac{2662,3 \times 0,0264}{6} \rightarrow \overline{\alpha} = 11,7 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$$

Prb.P2 c) Considere, nesta alínea e nas seguintes, que o coeficiente de convecção no exterior (para todas as superfícies: cobertura, paredes, janelas e porta) é de $20 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Sabendo que a potência calorífica que entra no escritório através da cobertura é de 178 W , calcule o coeficiente de convecção para a transferência de calor entre a cobertura e o ar interior e indique o seu valor em $\text{W/m}^2\text{K}$.

Use a temperatura do ar interior (20°C) para leitura das propriedades.

CV Natural: Placa Plana Horizontal (6x 3m):

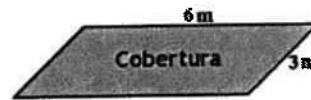


Propriedades do ar a 20°C (tabela C1, anexo C):

Propriedades do ar a 20°C :					
ρ (kg/m ³)	λ (W/m.K)	ν (m ² /s)	μ (N.s/m ²)	β (K ⁻¹)	Pr
1.2045	0.0257	0.00001511	1.8179E-05	3.43E-03	0.713

Comprimento característico:

$$L_{ref} = \frac{A}{P} = \frac{6 \times 3}{2 \times (6 + 3)} = 1 \text{ m}$$



Diferença de Temperaturas: $\Delta T = T_p - T_i$

$$\dot{Q} = \frac{T_e - T_p}{R_{cv,e} + R_{cob}} \rightarrow T_p = T_e - (R_{cv,e} + R_{cob}) \times \dot{Q} \rightarrow T_p = 28,3^\circ\text{C}$$

$$R_{cv,e} = \frac{1}{\alpha_e A_{cob}} = \frac{1}{20 \times 18} = 0,00278 \text{ K/W}$$

$$R_{cob} = \frac{e}{\lambda_b A_{cob}} = \frac{0,15}{1,20 \times 18} = 0,00694 \text{ K/W}$$

$$Ra_{L_{ref}} = \frac{g \beta (T_p - T_i) L_{ref}^3}{\nu^2} \times Pr = \frac{9,8 \times 3,43 \times 10^{-3} \times (28,3 - 20) \times 1^3}{(15,11 \times 10^{-6})^2} \times 0,713 \rightarrow Ra_{L_{ref}} = 8,71 \times 10^8$$

Tab. 14.1 - Coeficientes C e n para Placas Horizontais			
ORIENTAÇÃO DA PLACA	C	n	VALIDADE
A) ou D)	0,54	1/4	$10^4 < Ra_{L_{ref}} < 10^7$
	0,15	1/3	$10^7 < Ra_{L_{ref}} < 10^{11}$
B) ou C)	0,27	1/4	$10^5 < Ra_{L_{ref}} < 10^{10}$

$$\overline{Nu} = C (Ra_{L_{ref}})^n$$

$$C = 0,27; n = 1/4$$

$$\overline{Nu} = 0,27 (8,71 \times 10^8)^{1/4}$$

$$\overline{Nu} = 46,4$$

$$\bar{\alpha} = \frac{\overline{Nu} \lambda}{L_{ref}} = \frac{46,4 \times 0,0257}{1}$$

$$\bar{\alpha}_1 = 1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$$

outra resolução:

$$R_{cv,e} = \frac{1}{\alpha_e A_{cob}} = \frac{1}{20 \times 18} = 0,00278 \text{ K/W}$$

$$R_{cob} = \frac{e}{\lambda_b A_{cob}} = \frac{0,15}{1,20 \times 18} = 0,00694 \text{ K/W}$$

$$R_{cv,i} = \frac{1}{\bar{\alpha}_1 A_{cob}} = \frac{1}{\bar{\alpha}_1 \times 18} \text{ K/W}$$

$$\dot{Q} = \frac{T_e - T_i}{R_{cv,e} + R_{cob} + R_{cv,i}} \rightarrow \dot{Q} = \frac{30 - 20}{0,00278 + 0,00694 + \frac{1}{\bar{\alpha}_1 \times 18}} = 178$$

$$\bar{\alpha}_1 = 1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$$

TRANSFERÊNCIA DE CALOR

EXAME ESPECIAL

2008/09/29

Duração: 02h00m

1. O dispositivo que se esquematiza na figura 1, é utilizado no aquecimento de discos com diâmetros iguais a $D_C = 40$ cm e espessuras de 2 cm (e_C), representados naquela figura pelo disco (C). O dispositivo está instalado num espaço onde foi gerado o vácuo, e onde todas as superfícies do espaço se podem considerar corpos negros a 200°C .

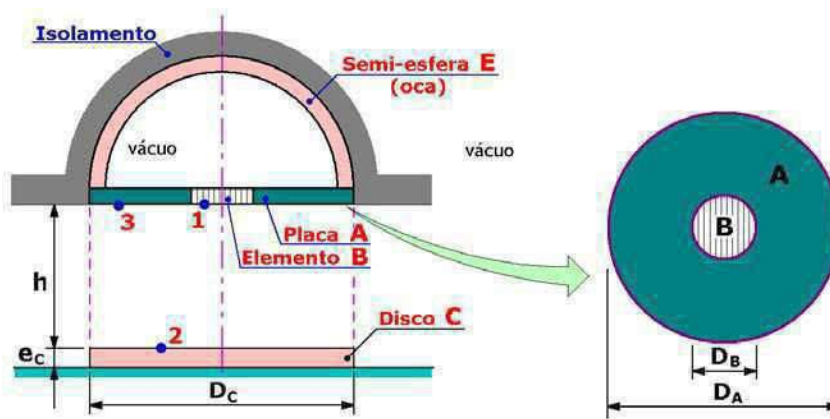


Figura 1

O aquecimento insere-se num processo de tratamento térmico dos discos, e o dispositivo é composto por:

- ✓ Uma semi-esfera oca metálica (E) com 40 cm de diâmetro exterior e uma espessura igual a 2 cm, que está termicamente isolada do lado exterior. Na semi-esfera é gerado o calor necessário ao aquecimento dos discos, e no seu interior (oco) foi criado o vácuo.
- ✓ Uma placa refractária (adiabática) com a forma de uma coroa circular (A), cujos diâmetros são iguais a 40 cm (D_A) e 12 cm (D_B). A placa está inserida na base da semi-esfera, como se mostra na figura 1, e a sua superfície exterior atinge a temperatura de 200°C (T_3) podendo considerar-se um corpo negro e essa temperatura.
- ✓ Um elemento aquecedor (B) com diâmetro igual a 12 cm (D_B) e uma emissividade $\varepsilon = \alpha = 0,9$, o qual está centrado com (A) e (C).

O disco (C), de emissividade $\varepsilon = \alpha = 0,5$, é colocado à distância $h = 12$ cm de (A).

- a) Determine os factores de forma entre o elemento aquecedor e o disco (F_{1-2}), e entre o disco e a placa refractária (F_{2-3}).
- b) Durante o processo de aquecimento, é gerada, na semi-esfera oca (A), uma quantidade de calor uniformemente distribuída de $0,23 \text{ MW/m}^3$, donde resulta que a superfície exterior do elemento aquecedor (B) atinge uma temperatura igual $T_1 = 900^\circ\text{C}$. Calcule:
 - b.1) A potência radiactiva que atinge o elemento (B) (proveniente da semi-esfera).
 - b.2) A temperatura (T_2) do disco (C).

2. Uma peça metálica ($\lambda = 200 \text{ W/m.K}$, $\rho = 2900 \text{ kg/m}^3$, $c_p = 900 \text{ J/kg.K}$) com as dimensões indicadas na figura, está colocada sobre uma placa mantida a 100°C , por um sistema de aquecimento, atingindo o seu fundo a mesma temperatura ($T_1 = 100^\circ\text{C}$). Sobre a peça, incide ar a 20°C e $1,0 \text{ m/s}$, com a direção representada na figura 2.

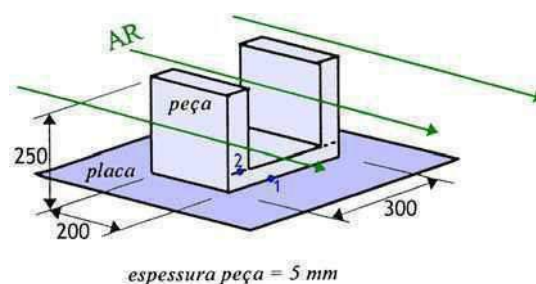


Figura 2

Despreze o mecanismo de radiação, para responder às seguintes questões:

- Determine o coeficiente de convecção para a transferência de calor entre a peça e o ar. Use a temperatura de incidência do ar (20°C) para leitura das propriedades.
- Supondo que o coeficiente de convecção é em constante em toda a peça, determine a temperatura na face 2 (T_2) da peça (ver figura 2).
Nota: Se não resolveu a alínea a), considere $\alpha = 9,0 \text{ W/m}^2\text{K}$.
- Calcule a potência calorífica dissipada através da peça.
- A partir de um dado instante, o sistema de aquecimento é desligado. Considere que nesse instante a temperatura é uniforme em toda a peça, e que esta arrefece uniformemente ao longo do tempo. Sendo o ar o único elemento arrefecedor, calcule o tempo necessário ao arrefecimento da peça.

3. a) O tubo representado na figura 3 encontra-se envolvido por vapor de água saturado (sendo $T_{\text{sat}} = 100^\circ\text{C}$), e no seu interior circula água. De forma a garantir o máximo coeficiente global de transferência de calor, entre o exterior e o interior, diga qual das três temperaturas de entrada da água aconselharia: 20°C , 50°C ou 80°C . Justifique.

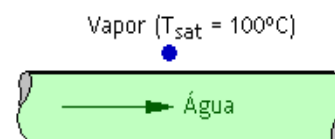


Figura 3

- b) Uma placa plana encontra-se imersa em água ($T_{\text{água}} = 100^\circ\text{C}$) como se ilustra na figura 4. Sendo a temperatura da placa igual a 120°C , diga em qual das faces da placa (superior ou inferior) é maior o coeficiente de transferência de calor. Justifique.

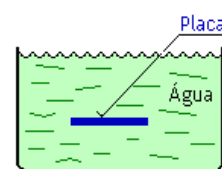


Figura 4

- Justifique porque razão numa noite de céu limpo se dá a formação de gotas de água em superfícies expostas ao ar ambiente exterior.
- Num permutador de calor em que um dos fluidos condensa:
 - Trace o diagrama representativo da evolução das temperaturas no permutador, e
 - Compare as eficiências para fluxos paralelos e fluxos opostos. Justifique.

COTAÇÕES:	1ª QUESTÃO	2ª QUESTÃO	3ª QUESTÃO
	a) 2,0 val.	a) 2,0 val.	a) 1,0 val.
	b.1) 2,0 val.	b) 2,0 val.	b) 1,0 val.
	b.2) 3,0 val.	c) 2,0 val.	c) 1,0 val.
		d) 2,0 val	d.1) 1,0 val.
			d.2) 1,0 val.

TRANSFERÊNCIA DE CALOR

1ª CHAMADA

2008/01/15

Duração: 02h00m

1. Um tubo de cobre tem 2,0 m de comprimento (L), um diâmetro interior de 20 mm (D_i), e 2 mm de espessura.

No seu interior, escoam-se água quente com um caudal de 0,125 kg/s. As temperaturas de entrada e de saída da água são iguais a 65°C e 55°C, respectivamente.

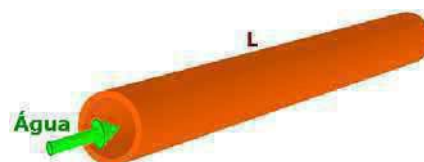


Figura 1

O tubo é parte integrante de um feixe de tubos de um permutador de calor carcaça-tubos (tipo 1-1) de fluxos opostos. No exterior dos tubos circula ar que entra no permutador de calor a 20°C. Sabendo que a eficiência do permutador de calor é de 55% e que a potência calorífica transferida é de 205 kW, determine:

- Determine o coeficiente de transferência de calor por convecção no interior do tubo. Use a temperatura da água para leitura das propriedades.
- A área de transferência do permutador de calor.
- A temperatura do ar à saída do permutador de calor.
Se não resolveu a alínea anterior, considere como alternativa que $UA = 7650 \text{ W/K}$.
- Considere que o permutador de calor não é adiabático e que a água quente circula no interior dos tubos:
 - Justifique a não aplicação da equação de balanço $\dot{M}' c_p' \Delta T' = \dot{M}'' c_p'' \Delta T''$.
 - Explique porque é que $(\Delta T')_{\text{adicional}} \neq (\Delta T'')_{\text{adicional}}$.

2. Pretende-se construir no interior de um grande armazém uma câmara frigorífica (ver figura 2) com dimensões interiores de 5×3×2,5 m. As paredes e tecto serão constituídas, do exterior para o interior, por 11 cm de tijolo (**T**) ($\lambda_T = 0,7 \text{ W/m.K}$), isolamento (**I**) ($\lambda_I = 0,04 \text{ W/m.K}$) e 2 mm de aço (**A**) ($\lambda_A = 15,0 \text{ W/m.K}$).

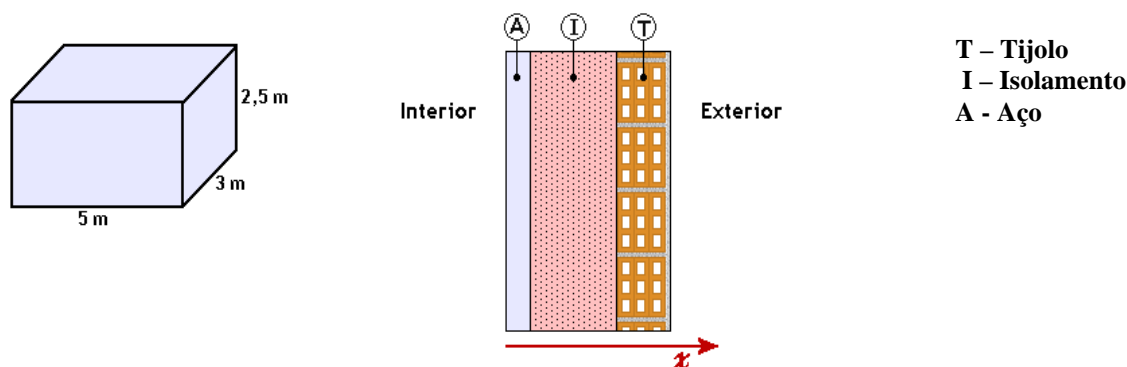


Figura 2

Considerando condições de fronteira de $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$ no interior da câmara e de $23\text{ }^{\circ}\text{C}$ no exterior da câmara, e desprezando as perdas pela base, determine:

- A espessura mínima de isolamento necessária para que a entrada de calor para a câmara não ultrapasse os 2000 W. Considere coeficientes de transferência superficiais (convecção + radiação) de $10\text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ na superfície exterior e de $5\text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ na superfície interior.
- Nas condições da alínea anterior, calcule as temperaturas das superfícies interior e exterior, e encontre uma expressão para $T(x)$ ao longo da secção da parede.
- Formule um sistema de equações que lhe permitisse resolver o problema da alínea a), sem serem dados de início os coeficientes de transferência de calor nas superfícies exteriores. Despreze o efeito radiativo na superfície interior, e considere $\varepsilon = 0,7$ nas superfícies exteriores. Assuma que as superfícies do armazém se comportam como superfícies negras a 23°C .

3. a) A sublimação de uma bola de naftalina num armário pode ser estudada pelo arrefecimento de uma esfera ao ar. Preencha o quadro ao lado.

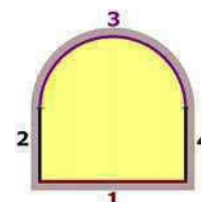
	Critérios para a semelhança			
	mesma geometria	mesmo Reynolds	mesmo Grashof	mesma condição limite
sublimação de naftalina				

- b) A equação geral da energia na ausência de fontes de calor mas com dissipação, pode escrever-se para um fluido em escoamento numa tubagem:

$$\text{grad}^* T^* - \frac{1}{\text{Re Pr}} \nabla^{*2} T^* - \frac{1}{\text{Re Pr}_{\text{turb}}} \left(\frac{\eta_{\text{turb}}}{\eta} \text{grad}^* T^* \right) = \frac{\text{Ec}}{\text{Re}} \dot{e}_r^*$$

Com \dot{e}_r^* energia mássica específica de dissipação. Responda às seguintes questões:

- Causas da dissipação.
 - Como se liberta o calor da dissipação.
- O forno anexo pode ser tratado como sendo igual a três superfícies. Explique.
- Explique até que ponto se pode dizer que uma superfície re-radiante se comporta na prática como uma superfície negra.



COTAÇÕES:

1ª QUESTÃO

2ª QUESTÃO

3ª QUESTÃO

- 2,0 val.
- 2,5 val.
- 1,5 val.
- 1) 1,0 val.
- 1) 1,0 val.

- 2,5 val.
- 2,0 val.
- 2,5 val.

- 1,0 val.
- 1) 1,0 val.
- 2) 1,0 val.
- 1,0 val.
- 1,0 val.

TRANSFERÊNCIA DE CALOR

EXAME ESPECIAL

2007/12/05

PRÁTICA (COM consulta)

Duração: 02h00m

1. Um recipiente para aquecimento de água por energia solar está representado de forma simplificada na figura 1. O recipiente está isolado exteriormente e tem uma tampa de vidro ($\varepsilon = 0,7$).

A água está coberta por uma tampa metálica fina altamente condutora, com $\alpha = \varepsilon = 0,9$, suposta à mesma temperatura da água ($T_P = 90^\circ\text{C}$). No espaço entre a placa e a tampa é criado o vácuo perfeito.

O comportamento do vidro à radiação pode expressar-se pelos gráficos da figura 1.1.

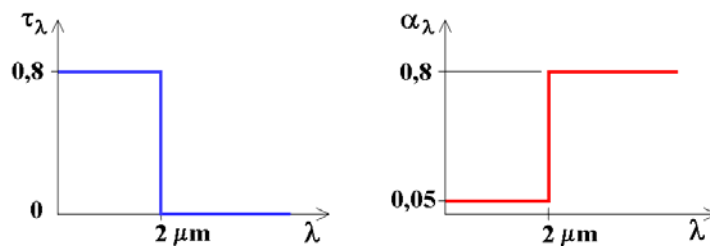


Figura 1.1

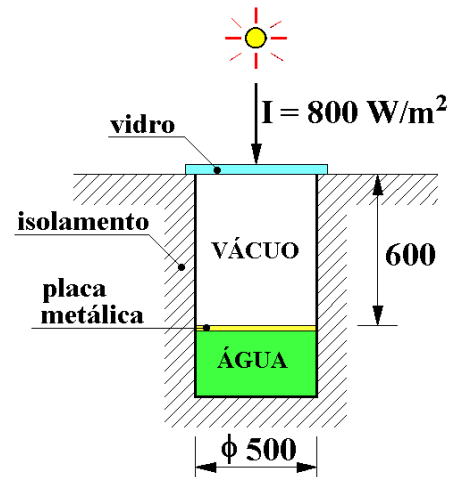


Figura 1

Considerando que o vidro está com uma temperatura uniforme de $T_V = 40^\circ\text{C}$ e tem uma espessura desprezável:

- Represente o esquema de resistências de radiação que represente as trocas radiativas no interior do recipiente (placa – vidro), excluindo a radiação solar.
 - Calcule o valor da potência radiativa trocada entre a placa e o vidro.
 - Represente graficamente o coeficiente de reflexão espectral do vidro, e calcule o seu valor total hemisférico.
2. Durante o tratamento térmico de peças de aço com a forma, dimensões e propriedades indicadas na figura 2:

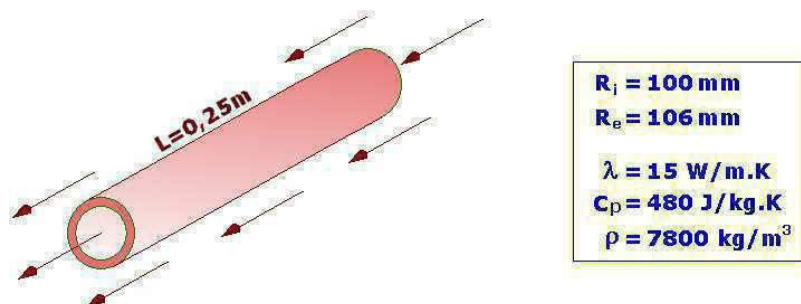


Figura 2

TRANSFERÊNCIA DE CALOR

RECURSO

2008/02/13

Duração: 02h00m

1. Um “grill” circular (ver figura 1) é composto por um disco com 24 cm de diâmetro, que se cobre totalmente com carvão, e por uma grelha circular, onde se colocam os bifés a grelhar, situada acima do disco (em posição concêntrica com este) a uma distância $h = 15$ cm.

Os bifés a grelhar (um de cada vez) têm a forma circular com 24 cm de diâmetro e uma espessura de 2 cm. No instante em que cada bife é colocado sobre a grelha, a sua temperatura é $T_2 = 5^\circ\text{C}$ ($\epsilon_2 = 0,70$).

Durante o processo o carvão é mantido a $T_1 = 900^\circ\text{C}$ e, para esta temperatura, a sua emissividade total hemisférica é igual a 0,92.

A temperatura do ar ambiente local é de 20°C , e todas as superfícies envolventes do “grill” podem ser consideradas corpos negros à mesma temperatura.

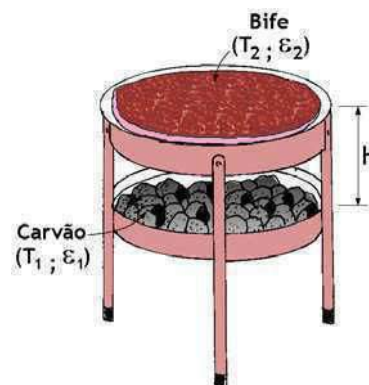


Figura 1

- a) Determine o factor de forma para as trocas de energia radiante entre os bifés e o carvão (F_{2-1}).
- b) Utilize a analogia reo-eléctrica para responder às seguintes questões:
- b.1) Represente as trocas de calor que ocorrem ao grelhar os bifés, no instante em que eles são colocados na grelha.
- b.2) Calcule a potência calorífica recebida por cada bife, nesse instante, proveniente do carvão.
- c) Diga como poderia intensificar a transferência de calor por radiação entre o carvão e cada um dos bifés colocado sobre a grelha.
- d) Os bifés são retirados do “grill” quando a sua temperatura é uniforme e igual a 70°C , sendo expostos ao ar ambiente durante meia-hora, após o que são consumidos. Sabendo que o coeficiente de convecção para a transferência de calor entre o bife e o ar é de $5 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$, determine a sua temperatura nesse instante.
- Considere para cada bife: $\lambda = 0,5 \text{ W/m}\cdot\text{K}$, $\rho = 500 \text{ kg/m}^3$ e $c_p = 3,10 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$.

2. Uma componente de um motor tem na sua cobertura uma superfície horizontal de 40×30 cm (ver figura 2.1) cuja emissividade é 0,8. Por especificação de projecto, ela deve dissipar para a vizinhança a 30°C (ar calmo e superfícies envolventes), uma potência de 500 W sem ultrapassar uma temperatura de 210°C .

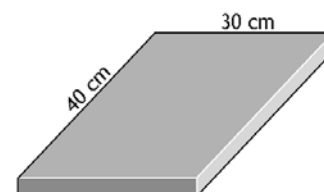


Figura 2.1

- a) Verifique qual a potência máxima que a superfície consegue dissipar.

b) A dissipação pela superfície é suficiente ou será necessário equacionar medidas adicionais para cumprir com os requisitos de projecto? Nesse caso, que opções poderão ser consideradas?

c) No caso de se decidir por resolver o problema recorrendo a alhetas circulares de cobre ($\lambda=386$ W/m.K) com 10 cm de comprimento e 2 cm de diâmetro, qual o número mínimo de alhetas que será necessário implantar na superfície?

Despreze as perdas pelo topo das alhetas e as trocas radiativas, e assuma um α combinado de 40 W/m².K para a superfície vertical das alhetas.

d) Quais as temperaturas superficiais a meio da alheta e no seu topo?

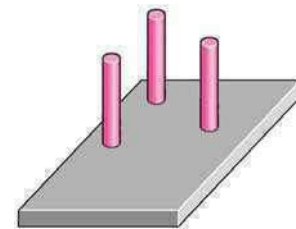


Figura 2.2

3. a) Num permutador de calor líquido / gás há razões “térmicas” e “razões outras” que sugerem a escolha da opção líquido no interior dos tubos. Aponte:

a.1) Uma razão térmica / energética.

a.2) Outros tipos de razões.

b) O sistema de frio de um frigorífico, tem dois permutadores de calor. Suponha que está tudo a funcionar em regime permanente. Seguindo o modelo típico de representação esquemática, trace no mesmo referencial, os diagramas de temperatura do condensador e do evaporador.

c) A condensação é um problema significativo na habitação com consequências na qualidade do ar. Se detectasse sinais de condensação numa parede de sua casa, que medidas adoptaria: (1) isolar melhor a parede pelo exterior; (2) elevar a temperatura interior da parede (ou do ar); (3) aumentar a velocidade do ar junto à parede.

d) Justifique as razões (2) e (3) da alínea anterior.

COTAÇÕES:	<u>1ª QUESTÃO</u>	<u>2ª QUESTÃO</u>	<u>3ª QUESTÃO</u>
	a) 1,5 val.	a) 2,0 val.	a.1) 1,0 val.
	b.1) 1,5 val.	b) 1,5 val.	a.2) 1,0 val.
	b.2) 2,0 val.	c) 3,0 val.	b) 1,0 val.
	c) 1,0 val.	d) 1,0 val.	c) 1,0 val.
	d) 1,5 val.		d) 1,0 val.

1º Problema do Recurso de TC: 13 de Fevereiro de 2008

Rec.1 - - Um "grill" circular (ver figura 1) é composto por um disco com 24 cm de diâmetro, que se cobre totalmente com carvão, e por uma grelha circular, onde se colocam os bifés a grelhar, situada acima do disco (em posição concêntrica com este) a uma distância $h = 15$ cm.

Os bifés a grelhar (um de cada vez) têm a forma circular com 24 cm de diâmetro e uma espessura de 2 cm. No instante em que cada bife é colocado sobre a grelha, a sua temperatura é $T_2 = 5^\circ\text{C}$ ($\varepsilon_2 = 0,70$).

Durante o processo o carvão é mantido a $T_1 = 900^\circ\text{C}$ e, para esta temperatura, a sua emissividade total hemisférica é igual a 0,92.

A temperatura do ar ambiente local é de 20°C , e todas as superfícies envolventes do "grill" podem ser consideradas corpos negros à mesma temperatura.

- a) Determine o factor de forma para as trocas de energia radiante entre os bifés e o carvão (F_{2-1}).
- b) Utilize a analogia reo-eléctrica para responder às seguintes questões:
 - b.1) Represente as trocas de calor que ocorrem ao grelhar os bifés, no instante em que eles são colocados na grelha.
 - b.2) Calcule a potência calorífica recebida por cada bife, nesse instante, proveniente do carvão.
- c) Diga como poderia intensificar a transferência de calor por radiação entre o carvão e cada um dos bifés colocado sobre a grelha.
- d) Os bifés são retirados do "grill" quando a sua temperatura é uniforme e igual a 70°C , sendo expostos ao ar ambiente durante meia-hora, após o que são consumidos. Sabendo que o coeficiente de convecção para a transferência de calor entre o bife e o ar é de $5 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$, determine a sua temperatura nesse instante.
Considere para cada bife: $\lambda = 0,5 \text{ W/m}\cdot\text{K}$, $\rho = 500 \text{ kg/m}^3$ e $c_p = 3,10 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$.

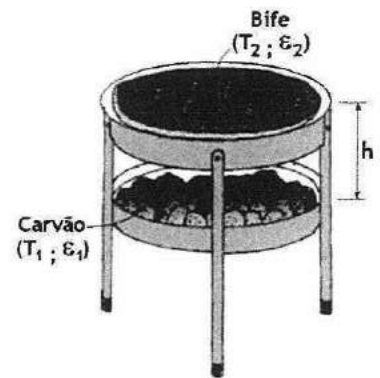
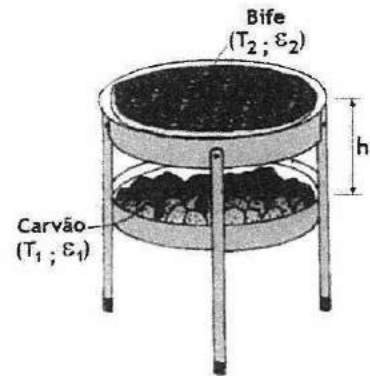


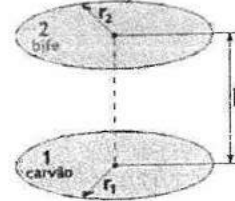
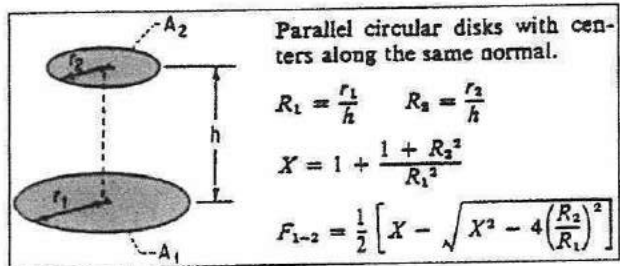
Figura 1

Rec.1 - Um "grill" circular (ver figura 1) é composto por um disco com 24 cm de diâmetro, que se cobre totalmente com carvão, e por uma grelha circular, onde se colocam os bifês a grelhar, situada acima do disco (em posição concêntrica com este) a uma distância $h = 15$ cm.



a) Determine o factor de forma para as trocas de energia radiante entre cada bife e o carvão (F_{2-1}).

Tabela E1, do anexo E:



$$R_1 = \frac{r_1}{h} = \frac{12}{15} = 0,8$$

$$R_2 = \frac{r_2}{h} = \frac{12}{15} = 0,8$$

$$X = 1 + \frac{1 + R_2^2}{R_1^2} = 1 + \frac{1 + (0,8)^2}{(0,8)^2} = 3,5625$$

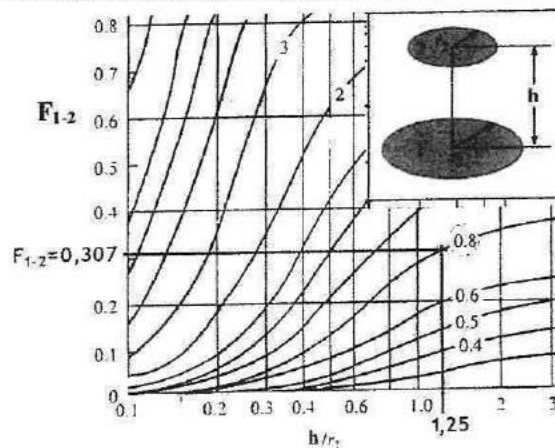
$$F_{1-2} = \frac{1}{2} \left[X - \sqrt{X^2 - 4 \left(\frac{R_2}{R_1} \right)^2} \right] = \frac{1}{2} \left[3,5625 - \sqrt{(3,5625)^2 - 4 \left(\frac{0,8}{0,8} \right)^2} \right] \Rightarrow F_{1-2} = 0,30719$$

Pelo teorema da reciprocidade: $A_2 F_{2-1} = A_1 F_{1-2}$, e como $A_2 = A_1 \Rightarrow F_{2-1} = F_{1-2} = 0,30719$

Graficamente:

$$\frac{h}{r_1} = \frac{15}{12} = 1,25$$

$$\frac{r_2}{h} = \frac{12}{15} = 0,8$$



Nota:

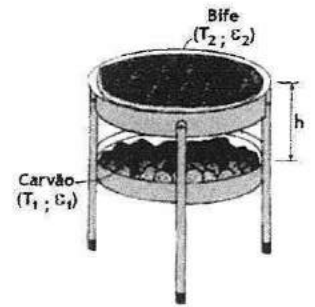
Factor de forma entre o carvão (1) e as outras superfícies (3):

$$F_{1-3} = 1 - F_{1-2} = 1 - 0,30719 = 0,69281$$

Factor de forma entre o bife (2) e as outras superfícies (3):

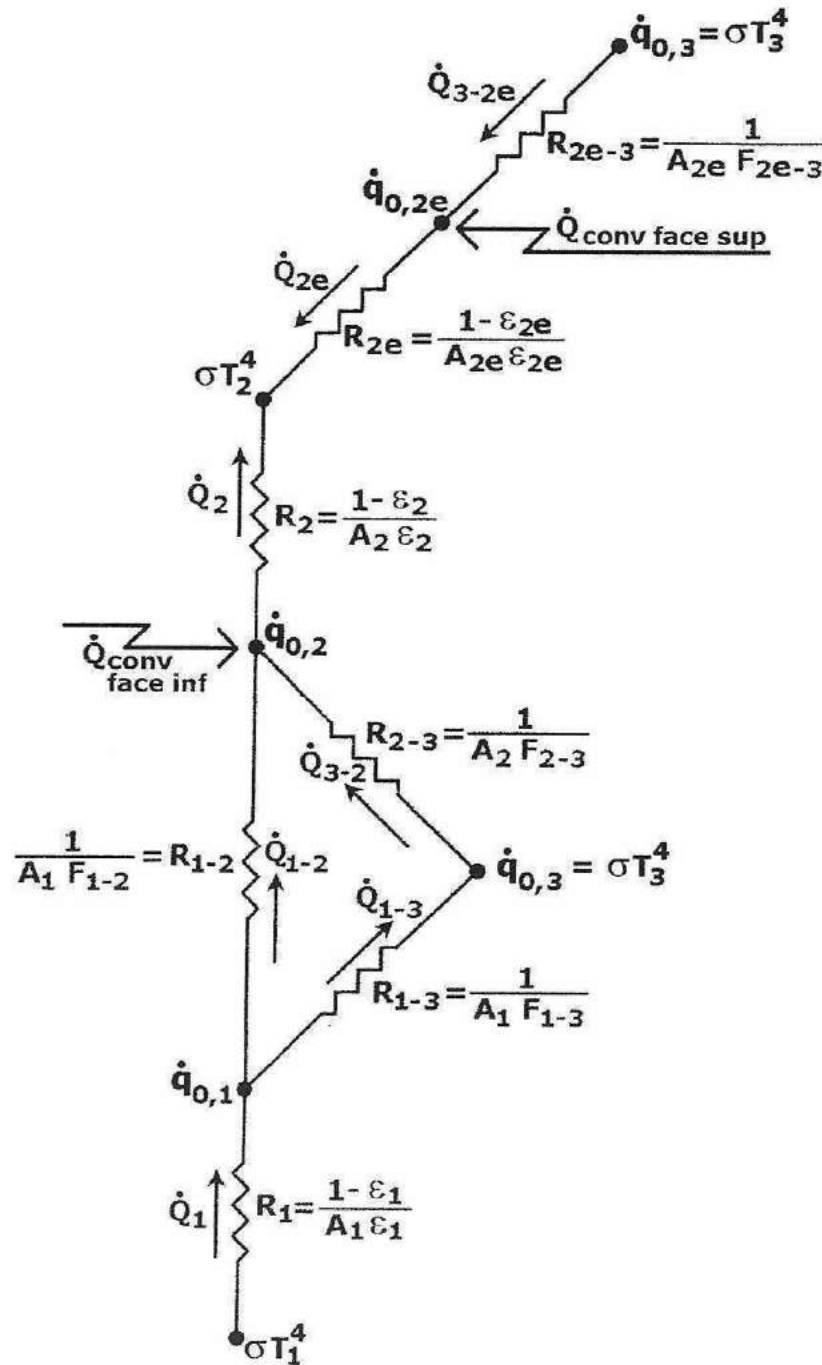
$$F_{2-3} = 1 - F_{2-1} = 1 - 0,30719 = 0,69281$$

Rec.1 - Os bifes a grelhar (um de cada vez) têm a forma circular com 24 cm de diâmetro e uma espessura de 2 cm. No instante em que cada bife é colocado sobre a grelha, a sua temperatura é $T_2 = 5^\circ\text{C}$ ($\epsilon_2 = 0,70$). Durante o processo o carvão é mantido a $T_1 = 900^\circ\text{C}$ e, para esta temperatura, a sua emissividade total hemisférica é igual a 0,92. A temperatura do ar ambiente local é de 20°C , e todas as superfícies envolventes do “grill” podem ser consideradas corpos negros à mesma temperatura.

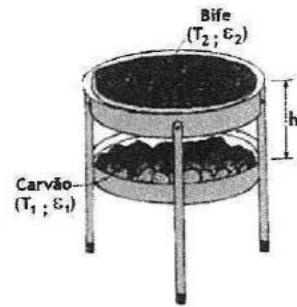


b) Utilize a analogia reo-eléctrica para responder às seguintes questões:

b.1) Represente as trocas de calor que ocorrem ao grelhar os bifes, no instante em que eles são colocados na grelha.



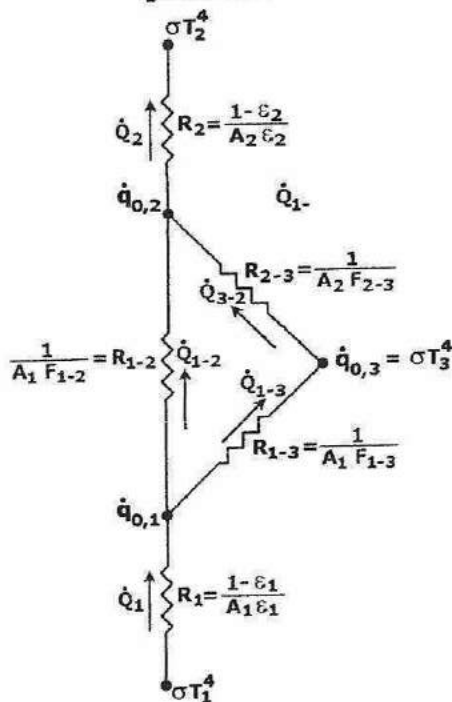
Rec.1 - Os bifés a grelhar (um de cada vez) têm a forma circular com 24 cm de diâmetro e uma espessura de 2 cm. No instante em que cada bife é colocado sobre a grelha, a sua temperatura é $T_2 = 5^\circ\text{C}$ ($\epsilon_2 = 0,70$).



Durante o processo o carvão é mantido a $T_1 = 900^\circ\text{C}$ e, para esta temperatura, a sua emissividade total hemisférica é igual a 0,92.

A temperatura do ar ambiente local é de 20°C , e todas as superfícies envolventes do "grill" podem ser consideradas corpos negros à mesma temperatura.

b.2) Calcule a potência calorífica recebida por cada bife, nesse instante, proveniente do carvão.



$$A_1 = A_2 = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{\pi (0,24)^2}{4} = 0,04524 \text{ m}^2$$

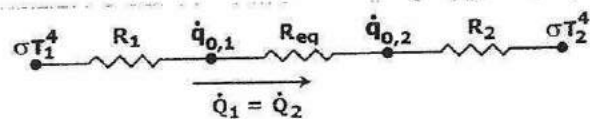
$$R_1 = \frac{1 - \epsilon_1}{A_1 \epsilon_1} = \frac{1 - 0,92}{\frac{\pi (0,24)^2}{4} \times 0,92} = 1,922161149 \text{ m}^{-2}$$

$$R_{1-2} = \frac{1}{A_1 F_{1-2}} = \frac{1}{\frac{\pi (0,24)^2}{4} \times 0,30719} = 71,9581398 \text{ m}^{-2}$$

$$R_{1-3} = \frac{1}{A_1 F_{1-3}} = \frac{1}{\frac{\pi (0,24)^2}{4} \times 0,69281} = 31,90610341 \text{ m}^{-2}$$

$$R_{2-3} = \frac{1}{A_2 F_{2-3}} = \frac{1}{\frac{\pi (0,24)^2}{4} \times 0,69281} = 31,90610341 \text{ m}^{-2}$$

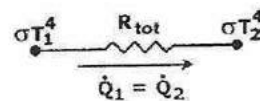
$$R_2 = \frac{1 - \epsilon_2}{A_2 \epsilon_2} = \frac{1 - 0,70}{\frac{\pi (0,24)^2}{4} \times 0,70} = 9,473508516 \text{ m}^{-2}$$



Simplificação do esquema:

$$R_{eq} = \left[\frac{1}{R_{1-2}} + \frac{1}{R_{1-3} + R_{2-3}} \right]^{-1} = \left[\frac{1}{71,9581398} + \frac{1}{31,90610341 + 31,90610341} \right]^{-1} = 33,82040198 \text{ m}^{-2}$$

Simplificação do esquema:



$$R_{tot} = R_1 + R_{eq} + R_2 = 1,922161149 + 33,82040198 + 9,473508516 = 45,21607164 \text{ m}^{-2}$$

Potência calorífica recebida por cada bife:

$$\dot{Q}_1 = \dot{Q}_2 = \frac{\sigma (T_1^4 - T_2^4)}{R_{tot}}$$

$$\dot{Q}_1 = \dot{Q}_2 = \frac{5,729 \times 10^{-8} \times (1173,15^4 - 278,15^4)}{45,21607164}$$

→

$$\dot{Q}_1 = \dot{Q}_2 = 2392 \text{ W}$$

Rec.2 -- a) Verifique qual a potência máxima que a superfície consegue dissipar.

Propriedades do Ar:

$$T_{\text{filme}} = \frac{T_p + T_{\text{ar}}}{2} = \frac{210 + 30}{2} = 120^\circ \text{C}$$

$$\lambda = 0,0328 \text{ W/m.K}$$

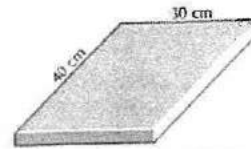
$$\beta = 0,860 \times 10^{-3} \text{ K}^{-1}$$

$$\nu = 25,23 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$\text{Pr} = 0,7$$

Comprimento de referência

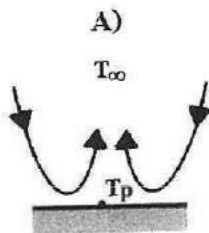
$$L_{\text{ref}} = \frac{A}{P} = \frac{0,4 \times 0,3}{2 \times 0,4 + 2 \times 0,3} = 8,57 \times 10^{-2}$$



Número de Rayleigh: $Ra_{L_{\text{ref}}} = \frac{g \beta (T_p - T_{\text{ar}}) L_{\text{ref}}^3}{\nu^2} \times \text{Pr} = 1,05 \times 10^6$

$$Ra_{L_{\text{ref}}} = \frac{9,8 \times 0,860 \times 10^{-3} \times (210 - 30) \times (8,57 \times 10^{-2})^3}{(25,23 \times 10^{-6})^2} \times 0,7$$

Placa Horizontal Arrefecida (por cima)



Coefficientes C e n

ORIENTAÇÃO DA PLACA	C	n	VALIDADE
A) ou D)	0,54	1/4	$10^4 < Ra_{L_{\text{ref}}} < 10^7$
	0,15	1/3	$10^7 < Ra_{L_{\text{ref}}} < 10^{11}$
B) ou C)	0,27	1/4	$10^5 < Ra_{L_{\text{ref}}} < 10^{10}$

C = 0,54
n = 1/4

Número de Nusselt: $\overline{Nu} = C (Ra_{L_{\text{ref}}})^n \Rightarrow \overline{Nu} = 0,54 \times (1,05 \times 10^6)^{1/4} \Rightarrow \overline{Nu} = 17,3$

Coefficiente de Convecção: $\alpha_{\text{cv}} = \frac{\overline{Nu} \lambda}{L_{\text{ref}}} \Rightarrow \alpha_{\text{cv}} = \frac{17,3 \times 0,0328}{8,57 \times 10^{-2}} \Rightarrow \alpha_{\text{cv}} = 6,6 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$

Potência máxima que a superfície consegue dissipar:

$$\dot{Q}_{\text{Máx}} = \dot{Q}_{\text{cv}} + \dot{Q}_{\text{rad}} \Rightarrow \dot{Q}_{\text{Máx}} = 142 + 253 \Rightarrow$$

$\dot{Q}_{\text{Máx}} = 395 \text{ W}$

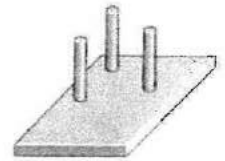
Rec.2 -- b) A dissipação pela superfície é suficiente ou será necessário equacionar medidas adicionais para cumprir com os requisitos de projecto? Nesse caso, que opções poderão ser consideradas?

$\dot{Q}_{\text{Máx}} = 395 \text{ W} < \dot{Q}_{\text{Proj}} = 500 \text{ W} \Rightarrow$ A dissipação não é suficiente

Opções:

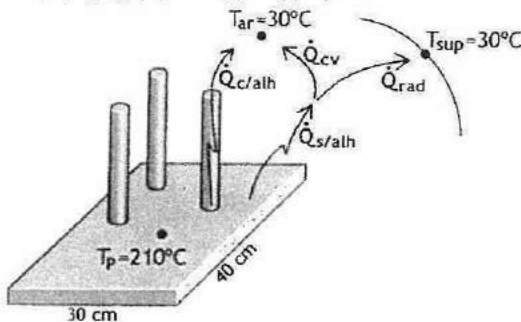
1. Convecção forçada \rightarrow Uso de Ventilador
2. Arrefecimento por líquido (arrefecimento + intenso) \rightarrow Água, óleo, ...
3. Usar **Alhetas** para intensificar a TC

Rec.2 - c) No caso de se decidir por resolver o problema recorrendo a alhetas circulares de cobre ($\lambda = 386 \text{ W/m.K}$) com 10 cm de comprimento e 2 cm de diâmetro, qual o número mínimo de alhetas que será necessário implantar na superfície?



Despreze as perdas pelo topo das alhetas e as trocas radiativas, e assuma um α combinado de $40 \text{ W/m}^2.\text{K}$ para a superfície vertical das alhetas.

Modos de TC em presença:



$$\dot{Q}_{\text{Proj}} = \dot{Q}_{\text{c/alh}} + \dot{Q}_{\text{s/alh}} = 500 \text{ W}$$

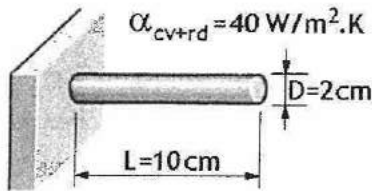
Para as alhetas de secção constante com perdas pelo topo desprezáveis (opção adoptada):

$$\dot{Q}_{\text{c/alh}} = N \text{ Alh} \times \theta_o \times \underbrace{\sqrt{\alpha P \lambda S}}_{\dot{Q}_{1\text{alh}}} \times \text{tg h (mL)}$$

$$\dot{Q}_{\text{s/alh}} = \dot{Q}_{\text{cv}} + \dot{Q}_{\text{rad}}$$

Cálculo da potência calorífica dissipada através das alhetas: $\dot{Q}_{\text{c/alh}} = N \text{ Alh} \times \dot{Q}_{1\text{alh}}$

Para uma alheta:



$$\theta_o = T_p - T_{\text{ar}} = 210 - 30 = 180^\circ\text{C}$$

$$\lambda = 386 \text{ W/m.K}$$

$$\alpha = 40 \text{ W/m}^2.\text{K}$$

$$P = \pi D = \pi \times 0,02 \text{ m}$$

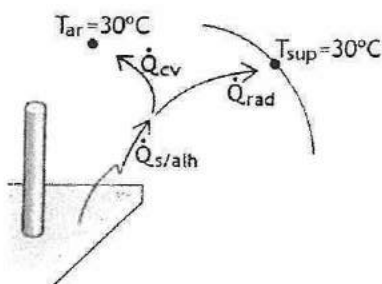
$$S = \frac{\pi D}{4} = \frac{\pi \times (0,02)^2}{4} \text{ m}^2$$

$$m = \sqrt{\frac{\alpha P}{\lambda S}} = 4,553 \text{ m}^{-1}$$

Alheta com perdas pelo topo desprezáveis: $\dot{Q}_{1\text{alh}} = \theta_o \times \sqrt{\alpha P \lambda S} \times \text{tg h (mL)} = 42,4 \text{ W}$

Para todas as alhetas: $\dot{Q}_{\text{c/alh}} = N \text{ Alh} \times \dot{Q}_{1\text{alh}} = (42,4 \times N \text{ Alh}) \text{ W}$

Cálculo da potência calorífica dissipada pela área da placa sem alhetas:



$$\dot{Q}_{\text{s/alh}} = \dot{Q}_{\text{cv}} + \dot{Q}_{\text{rad}}$$

$$\dot{Q}_{\text{cv}} = \alpha_{\text{cv}} A_{\text{alh}} (T_p - T_{\text{ar}}) \text{ e } \dot{Q}_{\text{rad}} = \epsilon_P \sigma A_{\text{alh}} (T_p^4 - T_{\text{sup}}^4)$$

$$\dot{Q}_{\text{s/alh}} = A_{\text{alh}} \left[\alpha_{\text{cv}} (T_p - T_{\text{ar}}) + \epsilon_P \sigma (T_p^4 - T_{\text{sup}}^4) \right]$$

$$A_{\text{alh}} = A_p - \frac{\pi D^2}{4} \times N \text{ Alh}$$

$$\dot{Q}_{\text{s/alh}} = \left[(0,4 \times 0,3) - \frac{\pi \times 0,02^2}{4} \times N \text{ Alh} \right] \times \left\{ 6,6 \times (210 - 30) + 0,8 \times 5,729 \times 10^{-8} \times \left[(483,15)^4 - (303,15)^4 \right] \right\}$$

$$\dot{Q}_{\text{s/alh}} = (395,805 - 1,0362 \times N \text{ Alh}) \text{ W}$$

Rec.2 - - Cálculo do número de alhetas:

$$\dot{Q}_{Proj} = \dot{Q}_{c/alh} + \dot{Q}_{s/alh} = 500 \text{ W}$$

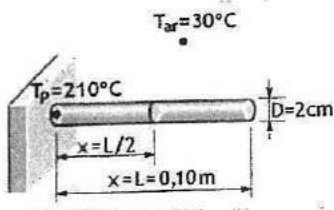
$$42,4 \times N_{Alh} + 395,805 - 1,0362 \times N_{Alh} = 500$$

→

$N_{Alh} = 3$ alhetas

Rec.2 - - d) Quais as temperaturas superficiais a meio da alheta e no seu topo?

Alhetas com perdas pelo topo desprezáveis



Distribuição de temperaturas na alheta:

$$\theta_{(x)} = T_x - T_{ar}$$

$$\theta_{(x)} = \theta_o \frac{\text{Cosh}[m(L-x)]}{\text{Cosh}(mL)}$$

$$m = \sqrt{\frac{\alpha P}{\lambda S}} = 4,553 \text{ m}^{-1}$$

$$\theta_o = T_p - T_{ar} = 180^\circ\text{C}$$

No topo, em $x = L$:

$$\theta_{(x=L)} = 180 \times \frac{\text{Cosh}(0)}{\text{Cosh}(4,553 \times 0,10)} = 162,8^\circ\text{C} = T_{x=L} - T_{ar}$$

→

$T_{x=L} = 192,8^\circ\text{C}$

No meio, em $x = L/2$:

$$\theta_{(x=L)} = 180 \times \frac{\text{Cosh}[4,553(0,10 - 0,05)]}{\text{Cosh}(4,553 \times 0,10)} = 167,1^\circ\text{C} = T_{x=L/2} - T_{ar}$$

→

$T_{x=L/2} = 197,1^\circ\text{C}$

TRANSFERÊNCIA DE CALOR

RECURSO

2007/02/13

PRÁTICA (COM consulta)

Duração: 02h00m

1. Um camião usado no transporte de produtos de pastelaria, está estacionado junto à fachada sul do único edifício existente nas redondezas, em posição perpendicularmente a ele, quer no plano vertical do lugar, quer no plano horizontal. Na figura 1, mostra-se o plano vertical.

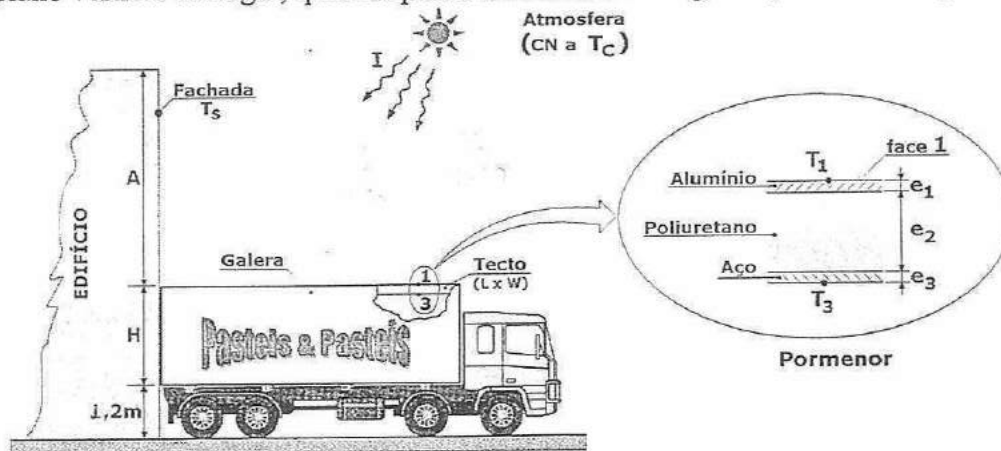


Figura 1

A galera (ver figura 1) do camião tem um comprimento $L = 7$ m, uma largura $W = 3,5$ m e uma altura $H = 3$ m. O seu tecto é composto (ver pormenor na figura 1) por um painel exterior de alumínio ($e_1 = 5$ mm; $\lambda_1 = 200$ W/m.K), uma camada de isolante de espuma de poliuretano ($e_2 = 50$ mm; $\lambda_2 = 0,026$ W/m.K) e um painel interior de aço inox ($e_3 = 5$ mm; $\lambda_3 = 40$ W/m.K).

A face exterior de alumínio (face 1 – ver pormenor da figura 1) do tecto da galera, está pintada com uma cor que lhe confere um comportamento difuso com as características representadas na figura 2. No interior da galera, o ar encontra-se a uma temperatura média de 2°C (ar refrigerado) e o coeficiente de convecção médio, para as trocas de calor com as superfícies interiores, é igual a $\alpha_{\text{int}} = 9,5$ W/m².K.

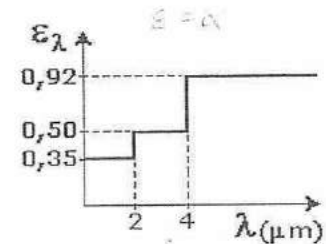


Figura 2

No exterior, a temperatura do ar (calmo) é igual a $T_{\text{ext}} = 20^\circ\text{C}$, e o coeficiente de convecção para a transferência de calor entre o tecto da galera e o ar é igual a $\alpha_{\text{ext}} = 5$ W/m².K. A radiação solar ($I = 800$ W/m²) incide no tecto da galera com uma inclinação de 50° , relativamente à horizontal do lugar.

A fachada do edifício é uma superfície termicamente isolada (adiabática) com 11,2 m de altura (total) e uma largura igual à da galera (3,5 m). Admitindo que o sol é um corpo negro a 5800 K, e que a temperatura da atmosfera é igual a $T_c = 9^\circ\text{C}$, determine:

- O factor de forma para as trocas de energia radiactiva entre a fachada sul do edifício e o tecto da galera (F_{s-1}).
- Admitido que a radiação solar reflectida pela fachada é desprezável, calcule a potência de radiação solar absorvida e reflectida no tecto da galera.
- Nas condições da alínea anterior, determine a carga térmica que entra na galera proveniente do tecto.
Se não resolveu a alínea a), considere que $F_{s-1} = 0,15$.

d) Qual deve ser a variação espectral do coeficiente de reflexão da fachada para se verifique a condição admitida na alínea b)? Faça a sua representação gráfica, e justifique a solução que apresentar.

2. Considere um sistema de abastecimento de água à superfície, como se apresenta na figura 3. O tubo de aço horizontal eleva-se dois metros acima do solo, tem um diâmetro interior de 2" (50,8mm), uma espessura de 2 mm, e um comprimento de 30 m. A água sai do solo com uma temperatura de 90°C, uma velocidade de 0,3 m/s e a sua temperatura não deve variar mais do que 2°C, entre a entrada e a saída do tubo.

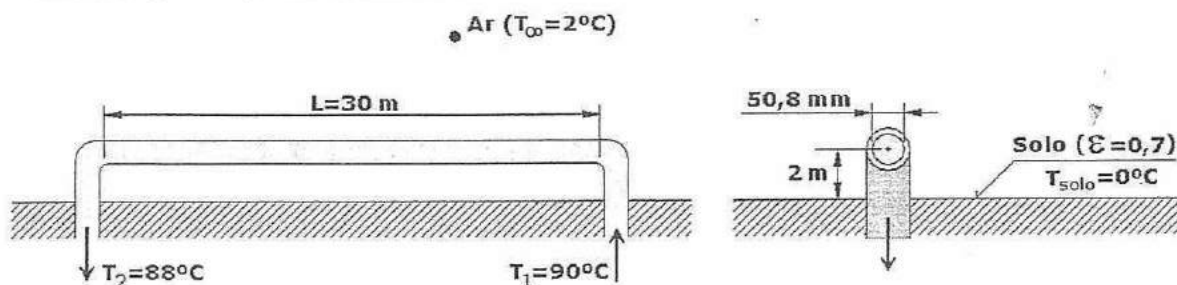


Figura 3

A temperatura superficial do solo é 2°C abaixo da temperatura ambiente, que é de 2°C. Na altura da análise, o vento incide perpendicularmente ao tubo com uma velocidade de 1,5 m/s. Admita que a temperatura do céu também é igual a 2°C, e:

- Determine o coeficiente de transferência calor existente no interior do tubo. Para leitura das propriedades da água, use a sua temperatura média.
- Dimensione a espessura do isolamento a aplicar no tubo, para se obter o efeito desejado ($\Delta T_{\text{água}} \leq 2^{\circ}\text{C}$), e tendo em conta que se despreza a contribuição da radiação.
- Calcule a percentagem de calor que se transfere por radiação, relativamente ao total, entre o tubo (com isolamento) e o meio exterior, admitindo que não há alteração do coeficiente de transferência de calor, nem da temperatura da superfície, calculado na alínea anterior.

Nota: Se não resolveu a alínea b) admita que a espessura do isolamento é de 2,5 mm, que $\alpha_{\text{ext}}=15 \text{ W/m}^2\text{K}$ e que $T_{p_{\text{ext}}}=45^{\circ}\text{C}$.

Propriedades físicas:

Aço:	Isolamento:	Solo:
$\lambda = 54 \text{ W/m.K}$	$\lambda = 0,043 \text{ W/m.K}$	$\varepsilon = 0,7$
$\rho = 7833 \text{ kg/m}^3$	$\rho = 16 \text{ kg/m}^3$	
$c_p = 0,465 \text{ kJ/kg K}$	$c_p = 0,84 \text{ kJ/kg K}$	
$\varepsilon = 0,54$	$\varepsilon = 0,96$	

COTAÇÕES:

1º PROBLEMA

2º PROBLEMA

a) 2,0 val.

b) 2,0 val.

a) 2,0 val.

b) 3,0 val.

c) 2,0 val.

d) 2,0 val.

c) 2,0 val.



Universidade do Porto
Faculdade de Engenharia
FEUP

DEMEGI

Departamento de Engenharia
Mecânica e Gestão Industrial

TRANSFERÊNCIA DE CALOR

1ª CHAMADA

2007/01/19

PRÁTICA (COM consulta)

Duração: 01h30m

1. O colector solar parabólico representado esquematicamente nas figuras 1.a) e b), tem 6 m de comprimento e foi instalado num local onde a radiação solar média incidente é $I = 800 \text{ W/m}^2$. Como se pode observar nessas figuras, o colector solar é constituído por;

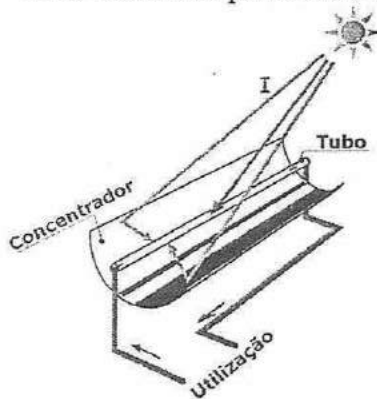
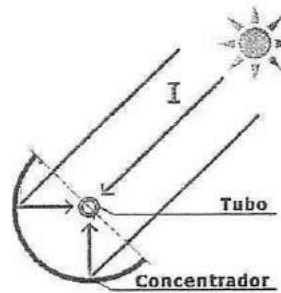


Figura 1.a)



Pormenor (corte)

Figura 1.b)

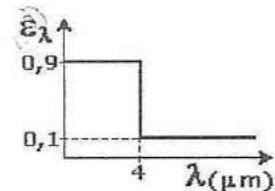
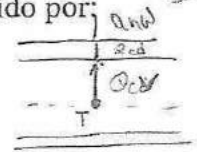


Figura 1.c)

O colector é constituído:

- por um concentrador ($\rho_c = 0,9$ e Diâmetro = 1,2 m) que, como o nome sugere, concentra no tubo 90% da radiação solar por ele reflectida.
- um tubo receptor de cobre ($\rho = 8800 \text{ kg/m}^3$, $c_p = 0,42 \text{ kJ/kg.K}$, $\lambda = 320 \text{ W/m.K}$) com um diâmetro interior de 50 mm e uma espessura de 3 mm. O tubo está pintado com uma cor "escura fosca" que confere à sua superfície exterior um comportamento difuso com as características representadas na figura 1.c).

No interior do tubo circulam $0,03 \text{ kg/s}$ de água (coeficiente de convecção no interior: $\alpha_i = 57 \text{ W/m}^2.K$) com uma temperatura média de 60°C . No exterior do tubo, o vento incide transversalmente com uma velocidade de 18 km/h e uma temperatura de 30°C (valores médios).

Considere que o sol é um corpo negro a 5800 K , e que os raios solares (inclusive os que são reflectidos) incidem perpendicularmente ao colector, como se mostra na figura 1.b). Considere ainda, que todas as superfícies exteriores ao tubo, incluindo o concentrador, estão a uma temperatura idêntica à do ar, e determine:

- ✓ a) O coeficiente para a transferência de calor por convecção no exterior do tubo. Para o cálculo, considere as propriedades do ar à sua temperatura. $\alpha_{cv \text{ tubo-ext}}$
- ✓ b) A potência de radiação solar que atinge o tubo receptor.
- ✓ c) O coeficiente de reflexão hemisférico total da superfície exterior do tubo.
- ✓ d) A variação da temperatura da água entre a entrada e a saída do tubo receptor. Se não resolveu a alínea a), considere que $\alpha_{ext} = 35 \text{ W/m}^2.K$.

2. Uma experiência típica em laboratório consiste em avaliar o coeficiente de convecção natural em torno de esferas. Para o efeito aquecem-se três esferas, de duralumínio, com diâmetros de 5, 10 e 25 mm, a uma temperatura uniforme de 250°C.

Após o aquecimento, as esferas são colocadas numa sala com ar calmo a 25°C para arrefecerem e, durante o arrefecimento, é avaliada a variação de temperatura nas suas superfícies, ao longo do tempo.

As propriedades físicas das esferas e do espaço envolvente encontram-se na tabela anexa. As paredes do espaço em causa encontram-se com uma temperatura que é 2°C inferior à do ar.

- a) Para cada uma das esferas, estime os limites (máximos e mínimos) do número de Rayleigh que poderá encontrar ao longo da experiência.
- b) Numa 1ª fase são estimados os intervalos de tempo entre leituras das temperaturas das superfícies das esferas, para isso é efectuado um cálculo simplificativo do processo. Nesse cálculo, admite-se que a temperatura da superfície das esferas é constante e igual à média observada durante a experiência e, ainda, se despreza o efeito da radiação.
- b.1) Determine o coeficiente de transferência de calor entre a esfera e o ar envolvente, para uma temperatura média (da superfície da esfera) de 130°C.
- b.2) Estime o tempo de arrefecimento para cada esfera e comente os resultados obtidos.
- c) Tendo em conta os fenómenos de transferência envolvidos no processo, estabeleça o conjunto de condições de fronteira, assim como as expressões diferenciais que podem traduzir a experiência realizada para o caso da esfera de 10 mm.
- * d) Estime a temperatura de equilíbrio do sistema em regime permanente para o caso da alínea anterior.

Propriedades físicas:

Esferas:	Espaço envolvente:
$\lambda = 164 \text{ W/m}\cdot\text{°C}$; $\varepsilon = 0,54$ $\rho = 2787 \text{ kg/m}^3$ $c_p = 0,82 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$	$\varepsilon = 0,63$ $T_p = 2^\circ\text{C} < T_{ar}$

COTAÇÕES:

1º PROBLEMA

2º PROBLEMA

a) 2,0 val.

b) 1,5 val.

a) 1,0 val.

b.1) 1,5 val.

c) 2,0 val.

d) 2,0 val.

c) 1,5 val.

b.2) 1,0 val.

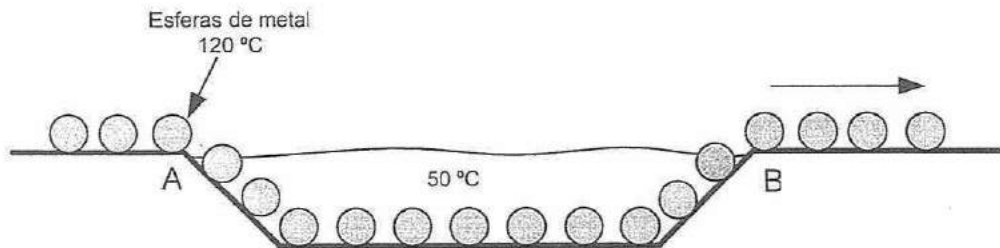
d) 2,5 val.



Transferência de Calor
EXAME

7 / Fevereiro / 2006

1. Numa unidade industrial, esferas de metal com 5 cm de diâmetro ($2r_0$) ($\lambda = 110 \text{ W/m}\cdot^\circ\text{C}$, $\rho = 8520 \text{ kg/m}^3$, $c_p = 3850 \text{ J/kg}\cdot^\circ\text{C}$) inicialmente a 120°C , são mergulhadas, apoiadas pontualmente sobre um tapete, durante 2 minutos, num banho de água que se encontra a 50°C , a uma taxa de 100 bolas por minuto. Sabendo que o coeficiente de transferência de calor por convecção é igual a $500 \text{ W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$, determine:



- A temperatura das esferas de metal, para $r=r_0/2$, à saída do banho (ponto B).
- A taxa de remoção de calor da água supondo que a temperatura do banho permanece constante e igual a 50°C . O volume total de água é de 200 litros.
- Se o tapete tiver o dobro da velocidade de a) durante quanto tempo deverão as esferas estar mergulhadas no banho para atingir as condições da alínea a).
- Mostre graficamente a evolução do coeficiente de transferência de calor por convecção em função da variação do diâmetro das esferas.
- O processo corresponde, na prática, ao de um permutador de calor.
 - Calcule a temperatura média logarítmica.
 - Represente graficamente a evolução das temperaturas.
 - Como classifica a disposição dos fluxos?



Cotação			
1a	2,5	2a	2,0
b	1,5	b	2,5
c	2,0	c	i 1,0
d	1,5	ii	1,0
e	i 1,5	d	2,5
	ii 1,0		
	ii 1,0		

2. Considere um colector solar (1,5 m de altura x 3 m de largura) (Fig.2) com uma inclinação de 20° relativamente à horizontal, orientado a Sul, que permite transferir para a água aquecida nos tubos 50 % da radiação incidente. A distância entre o vidro de cobertura e a superfície colectora é de 3 cm, e a parte inferior do colector é muito bem isolada.

A superfície colectora e o vidro de cobertura têm temperaturas médias constantes de 80°C e 32°C , respectivamente. A emissividade do vidro (difuso) está representada no gráfico (Fig.3) e a da superfície colectora (cinzenta e difusa) é 0,8.

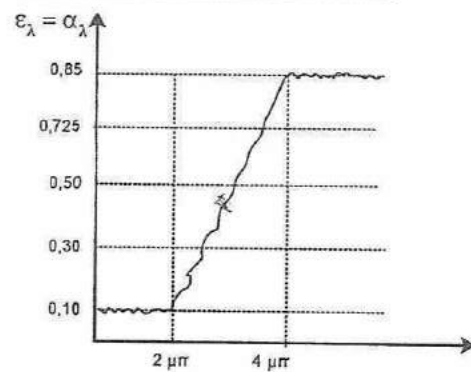
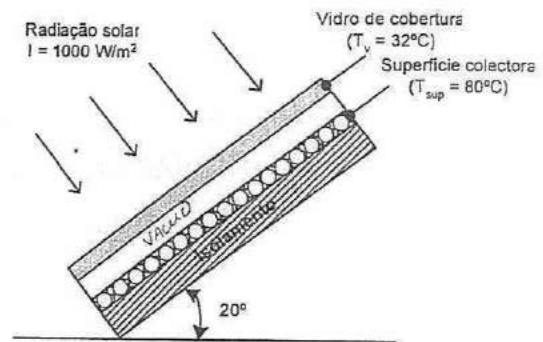


Fig.2 e Fig.3

- Determine a emissividade e a absorção hemisféricas totais do vidro.
- Admitindo que existe vácuo ente os dois painéis (vidro/colector) e que o coeficiente de transmissão do vidro é 0,70 para a radiação solar estime o valor do fluxo de calor perdido entre o painel e o vidro.
- Face ao resultado acima, colocou-se a questão de procurar melhorar o rendimento do colector, reduzindo aquele fluxo de perdas ou modificando algo na sua construção (i), ou da sua operação (ii). Comente as medidas consideradas, justificando-as:
 - usar um outro tipo (que tipo?) de superfície colectora;
 - procurar trabalhar com a superfície colectora a temperatura mais baixa.
- Admitindo que houve um acidente e passou a existir ar no espaço entre a superfície colectora e o vidro determine o coeficiente de convecção naquela cavidade.

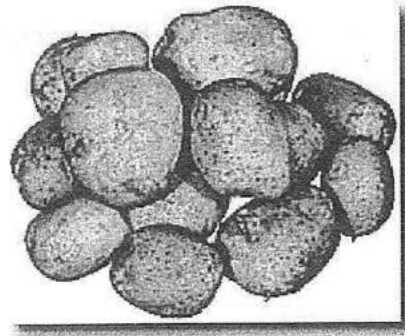


Transferência de Calor
(2005 – 2006)
Exame Época Normal
11 / Janeiro / 2006

IMPORTANTE: Justifique convenientemente todas as respostas. Indique sempre todas as hipóteses e considerações que fizer na resolução das questões, pois caso contrário será impossível avaliar as respostas.

Problema 1

Uma batata (esférica) com 8 cm de diâmetro, que se encontra a uma temperatura uniforme e igual à ambiente (25°C), para ser cozida é introduzida num forno a 170°C . Mantém-se dentro do forno até que a sonda colocada no centro da batata meça uma temperatura de 70°C . Nesse momento, a batata é retirada do forno e



embrulhada num conjunto de toalhas que garantem que não existe perdas de calor para o exterior. Sabendo que o coeficiente de transferência e calor no forno é de $25 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, determine:

- a) qual é o tempo que a batata permanece no forno até atingir as condições desejadas? $T_i = 25^{\circ}$ $T_f = 70^{\circ}$ $T_{\text{air}} = 170^{\circ}\text{C}$ $\alpha = 25$
- b) qual será a nova temperatura de equilíbrio da batata depois de tapada pelas toalhas isolantes?
- c) diga qual pode ser o mecanismo ou modo de transferência que assegura aquele coeficiente de transferência dentro do forno justificando também a exclusão dos demais.

Propriedades da batata:

$\rho = 1100 \text{ kg}/\text{m}^3$

$\lambda = 0,6 \text{ W}/(\text{m}^{\circ}\text{C})$

$c = 3900 \text{ J}/(\text{kg}^{\circ}\text{C})$

$a = 1,4 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$

Problema 2

Considere um tubo metálico longo, horizontal, de 7,5 cm de diâmetro, pelo qual circula um óleo que entra no tubo a 150°C e sai a 130°C . A velocidade média do óleo no tubo é de $0,5 \text{ m}/\text{s}$. O tubo está num local em que o ar se encontra calmo e a sua temperatura é de 22°C .

- a) Qual é o coeficiente médio de transferência de calor por convecção no interior do tubo?
- b) Sabendo que no exterior o coeficiente médio de transferência de calor (combinado), que inclui o de convecção e de radiação, é de $25 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, estime a temperatura média das paredes do tubo.
- c) Calcule o valor do coeficiente médio de transferência de calor por radiação no exterior do tubo.
- d) Suponha que lhe é pedido para determinar o comprimento do tubo com base na temperatura média logarítmica. Justifique a importância da utilização deste conceito na resolução do problema.

Propriedades do Óleo:

$$\rho = 800 \text{ Kg}/\text{m}^3$$

$$c_p = 2800 \text{ J}/(\text{kgK})$$

$$\lambda = 120 \text{ W}/(\text{mK})$$

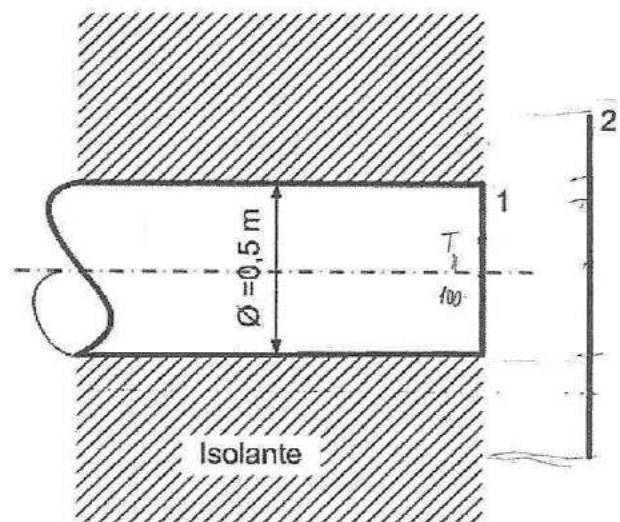
$$\mu = 0,10 \text{ kg}/(\text{ms})$$

$$Pr_n = \frac{\eta c_p}{\lambda}$$

$$\beta = \frac{1}{\rho} \left(\frac{d\rho}{dT} \right)$$

Problema 3

Considere um depósito de oxigénio líquido usado como propulsor de um satélite colocado na órbita terrestre. A temperatura da superfície deste depósito é de 100 K . Pretende-se proteger este depósito da radiação solar incidente ($1250 \text{ W}/\text{m}^2$). Para o efeito, o fundo exposto do depósito é protegido por uma placa metálica fina cuja área é de 20% superior à do fundo do depósito, de modo a que toda a radiação emitida por este atinja essa placa ($\varepsilon_1 = 0,1$; $\varepsilon_2 = 0,05$).



Ambas as superfícies têm um comportamento cinzento e as temperaturas efectivas do vazio e das superfícies exteriores do isolamento são de 0 °K .

- a) Calcule a temperatura de equilíbrio da placa.
- b) Calcule o fluxo de calor recebido pelo fundo do depósito.
- c) Comente as seguintes opções cujo objectivo é isolar o fundo do reservatório. Colocava uma tinta reflectora ($\rho = 1,0$) no painel 2 no lado: i) exposto ao sol; ii) virado para o depósito. *pag. 58*

1. A figura 1a) mostra o esquema simplificado do arrefecimento de uma habitação.

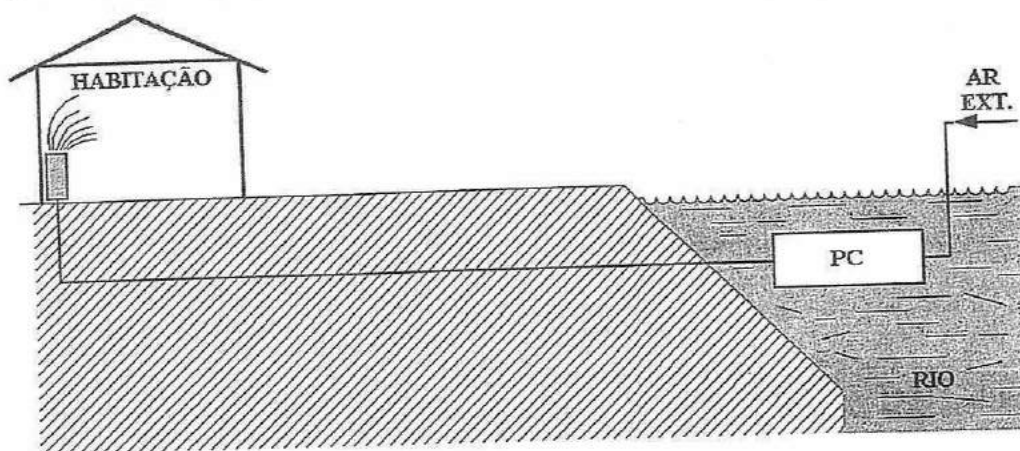


Figura 1a)

O ar exterior (AR EXT.), a uma temperatura média de 27°C e à razão de $1,2 \text{ kg/s}$, é arrefecido até 21°C num permutador de calor (PC) carcaça-tubos imerso num rio, antes de ser introduzido no interior de uma habitação.

No local, a temperatura da água do rio é de 15°C e a corrente tem uma velocidade média de 2 m/s .

O permutador é constituído por 40 tubos (5 linhas de tubos) de cobre ($\lambda = 300 \text{ W/m.K}$) com um diâmetro interior de 25 mm e uma espessura de 2 mm .

Os tubos estão dispostos como se mostra na figura 1b).

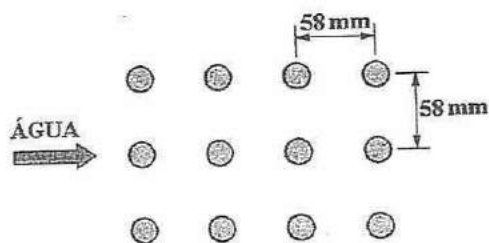
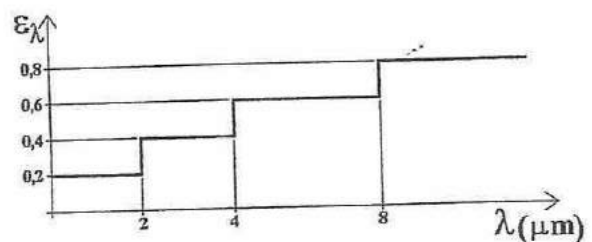
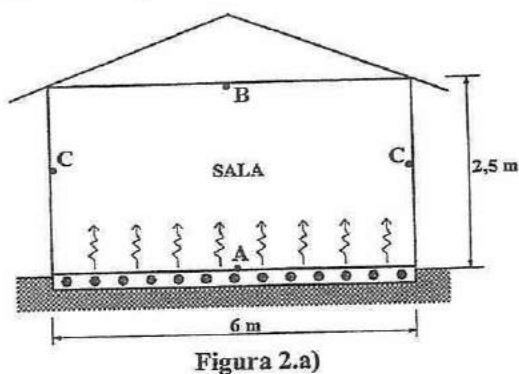


Figura 1b)

- Determine o coeficiente de convecção no interior e no exterior dos tubos.
- Verifique a vantagem da circulação da água do rio, relativamente a uma situação de reservatório de água parada. Faça as hipóteses simplificativas que considerar necessárias para justificar os resultados.
- Após um determinado período de funcionamento, surgiram incrustações no lado exterior dos tubos cuja resistência térmica média é igual a $0,0012 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$.
 - Nestas circunstâncias, calcule a percentagem de perda de transferência de calor resultante das incrustações.
 - Comente a variação da percentagem de perda de transferência de calor relativamente ao valor calculado na alínea anterior, se por hipótese remota, as incrustações (com igual resistência térmica) ocorressem no lado interior dos tubos. Despreze a influência da área de transferência de calor.

- d) Determine a área de transferência de calor do permutador, e calcule a sua eficiência térmica.
- e) Dada a necessidade de dar uma nova utilização ao edifício baixando a temperatura de 3°C (na saída do permutador), verifique qual a área de permutador que seria necessário adicionar em série (despreze as perdas de conexão).
- f) Verifique qual o resultado se em vez de usar aquela área adicional em série, a usar "em paralelo".
Se não resolveu a alínea anterior, use um segundo permutador igual ao primeiro.

2. A sala de uma habitação ($6 \times 4 \times 2,5\text{m}$) é aquecida nos períodos frios, através de um pavimento radiante (A), ilustrado na figura 2.a), cuja potência é de 2 kW , sendo 60% transferida por convecção para o ar.



As paredes (C) ($\epsilon = 0,85$) e o tecto (B) ($\epsilon = 0,85$) estão ambas à mesma temperatura e podem ser consideradas superfícies cinzentas e difusas. A superfície (A), do pavimento, também cinzenta e difusa, atinge um temperatura de 27°C e a sua emissividade espectral está representada na figura 2.b).

- a) Determine a emissividade total hemisférica da superfície (A).
- b) Considerando apenas as trocas de calor por radiação.
- b.1) Determine a temperatura das superfícies (B) ou (C).
Se não resolveu a alínea anterior, considere que $\epsilon_A = 0,8$.
- b.2) Represente graficamente a variação espectral do coeficiente de reflexão da superfície (A) e determine o seu valor total hemisférico.
Se não resolveu a alínea anterior, considere que a temperatura é igual a 20°C .
- b.3) Apresente os fundamentos das opções tomadas em b.2).
- c) Na situação da alínea b), e considerando apenas as trocas de calor por convecção entre o pavimento e o ar, determine a temperatura do ar no interior da sala.
- d) Suponha que por efeitos da radiação solar incidente na cobertura da habitação, a temperatura do tecto (B) é 2°C superior à temperatura das paredes (C), mantendo-se as restantes condições. Recalcule a temperatura destas duas superfícies (B e C), considerando apenas as trocas de calor radiactivas.

COTAÇÕES:

1º PROBLEMA:

2º PROBLEMA:

a) 2,0 val.

d) 2,0 val..

a) 1,5 val.

c) 1,5 val.

b) 1,5 val.

e) 1,5 val.

b.1) 1,5 val.

d) 2,0 val

c.1) 1,5 val.

f) 1,5 val.

b.2) 1,5 val.

c.2) 1,0 val.

b.3) 1,0 val.

TRANSFERÊNCIA DE CALOR

RECURSO

2004/02/10

Duração: 02h00m

1. As paredes exteriores (A e B) representadas na figura 1, separam o ambiente no interior de uma sala ($T_i = 20^\circ\text{C}$, $\alpha_i = 5 \text{ W/m}^2\text{K}$) do exterior, onde o ar se desloca paralelamente à parede A, com uma velocidade de 36 km/h e com uma temperatura de 9°C . As restantes paredes, o pavimento e o tecto, separam a sala de outros espaços interiores cujas temperaturas são de 20°C .

A parede A tem uma espessura de 20 cm ($\lambda_A = 1,1 \text{ W/mK}$) e a espessura do vidro da janela é de 8 mm ($\lambda_V = 0,8 \text{ W/mK}$). Sobre a janela está colocado um sombreador metálico ($\lambda_S = 200 \text{ W/mK}$) na posição e com as dimensões (6 m x 1,2 m x 0,2 m) indicadas na figura 1.

- a) Utilizando as hipóteses simplificativas que julgar convenientes, calcule o coeficiente de convecção para a transferência de calor entre o ar exterior e a parede A.

Use a temperatura do ar para obter as propriedades necessárias nos cálculos.

- b) Admita que as trocas de calor por radiação no interior e exterior não são significativas, e determine a temperatura na face interior do vidro da janela (T_3). Se não resolveu a alínea anterior, considere que $\alpha = 25 \text{ W/m}^2\text{K}$.

- c) Considere a necessidade de contabilizar as trocas de calor por radiação no interior.

Considere ainda que as paredes têm uma emissividade de 0,8, que o vidro da janela ($\epsilon = 0,5$) tem um comportamento opaco à radiação em altos comprimentos de onda, e que a temperatura do vidro não se altera (se não resolveu a alínea anterior, considere que é igual a 11°C). Calcule:

- c.1) O fluxo de calor que atravessa a parede A.

- c.2) Sabendo que a potência de aquecimento necessária na sala para compensar as perdas térmicas da sala para o exterior é de 1,2 kW, determine a temperatura no extremo do sombreador (T_5).

Considere que o coeficiente de convecção (sombreador-ar exterior) é $\alpha = 25 \text{ W/m}^2\text{K}$.

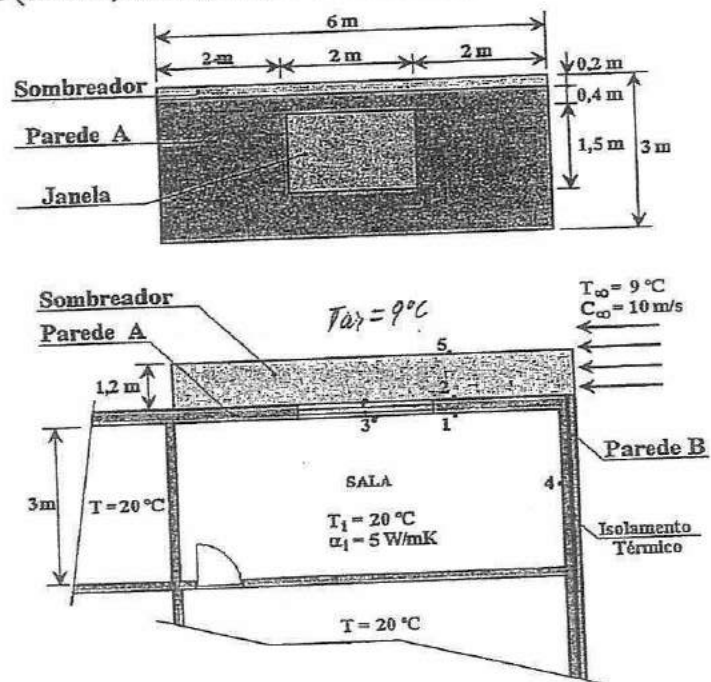


Figura 1

2. No final de uma viagem, o condutor de um veículo estaciona-o na garagem, na posição que se representa na figura 2, fechando de seguida a porta.

O tejadilho ($\epsilon = 0,8$) do veículo pode considerar-se uma superfície horizontal de espessura desprezável, e com uma temperatura de 40°C . No interior da garagem, as temperaturas do ar e do tecto ($\epsilon = 0,7$) são iguais a 20°C e 24°C , respectivamente.

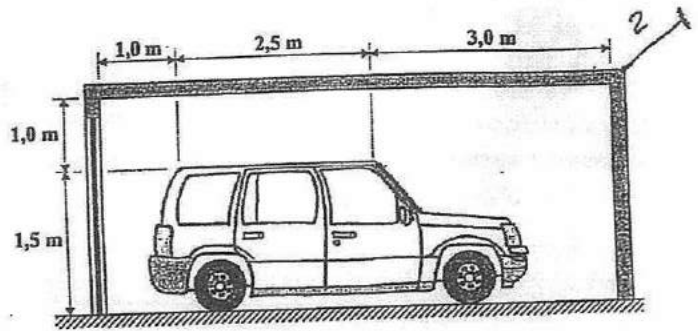


Figura 2

As restantes superfícies estão à temperatura de 22°C , têm uma emissividade de $0,5$ e deve admitir-se que são adiabáticas.

Considerando, para simplificar os cálculos, que a largura da garagem é igual à largura do tejadilho (2m), determine:

- O coeficiente de convecção entre o tejadilho e o ar interior. Use a temperatura do ar para obter as propriedades necessárias nos cálculos.
 - O factor de forma entre o tejadilho e o tecto da garagem.
 - O fluxo de calor (convecção + radiação) proveniente do interior do veículo, necessário para que a temperatura do tejadilho não se altere.
- Se não resolveu as alíneas anteriores considere que $\alpha = 5,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ e $F_{\text{tejadilho-tecto}} = 0,65$.

3. Seja um permutador feito de dois tubos coaxiais (ver figura 3).

Faça uma selecção de critérios para escolher qual é o fluido que vai no tubo interior e o que vai no exterior, justificando um a um:

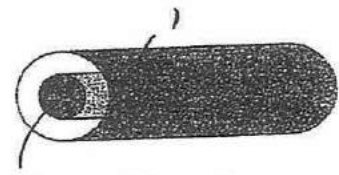


Figura 3

- O fluido (') ou ('').
- O fluido mais perigoso (tóxico) ou o menos perigoso.
- O fluido gasoso ou líquido.
- O fluido a condensar ou a evaporar.
- Fluxo paralelo ou contracorrente.

COTAÇÕES: 1º PROBLEMA: 2º PROBLEMA: 3º PROBLEMA:

a) 3,0 val.

b) 2,0 val.

c.1) 2,0 val.

c.2) 2,0 val.

a) 3,0 val..

~~b) 2,0 val.~~

c) 2,0 val.

3.a) 1,0 val.

3.b) 0,5 val.

3.c) 1,0 val.

3.d) 1,0 val.

3.e) 0,5 val.

1. O escritório de uma empresa de "frio" tem uma parede meã que o separa de uma câmara frigorífica (parede A - ver figura 1.a), cuja constituição se representa na figura 1.b).

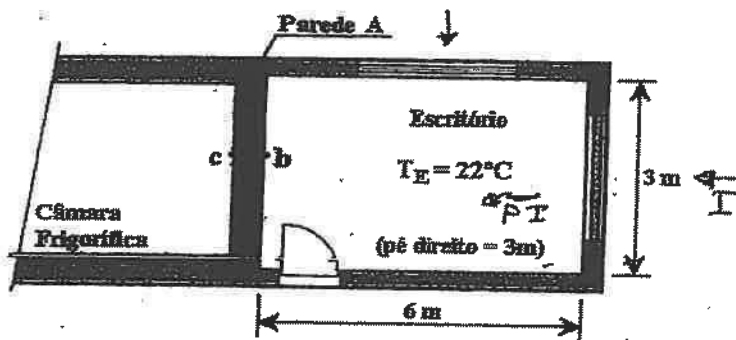


Fig. 1.a)

Constituição da Parede A

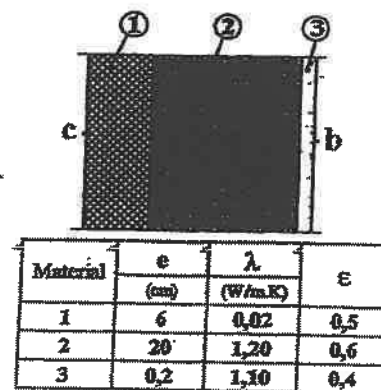


Fig. 1.b)

Sendo a temperatura do ar (calmo) no interior do escritório igual a $T_E = 22^\circ\text{C}$, as restantes superfícies da envolvente do escritório (vidros, porta, pavimento e tecto) são supostas ter uma temperatura (22°C) e radiação ($\epsilon = 0,8$) uniformes, podendo considerar-se que têm um comportamento adiabático. Nestas condições, o fluxo de calor recebido por convecção pela parede A é de 50 W.

- a) Calcule a temperatura da parede A:

✓ a.1) Na face h (T_h), considerando que apenas há transferência de calor do ar para a parede por convecção.

✓ a.2) Na face c (T_c), mantendo a temperatura atrás calculada e considerando que também ocorre transferência de calor por radiação, do escritório para a face h .

Se não resolveu a alínea anterior, considere que $T_h = 20^\circ\text{C}$.

b) Suponha, agora, que a temperatura do tecto do escritório é 23°C . Admitindo que esta superfície continua a ser adiabática, e considerando também a radiação, recalcule a temperatura na face h (T_h), da parede A. Admita também que a temperatura na face c se mantém constante e igual ao valor calculado na alínea anterior.

- c) Considerando o caso a.2), calcule:

c.1) A potência de aquecimento necessária no escritório para compensar as térmicas do escritório para a câmara frigorífica.

✓ c.2) O coeficiente de convecção equivalente junto à parede h .

$$\alpha = \epsilon \cdot F_{0-1}$$

$$Q = m \cdot c_p (T_b - T_c)$$

$$Q_{total} = Q_{cv} + Q_{rad}$$

12/02/02

TRANSFERÊNCIA DE CALOR

RECURSO

2002/02/12

Duração: 02h00m

1. Considere o dispositivo de aquecimento de um banho de água termoestabilizado, utilizado na calibração de sensores de medida de temperatura, cujo recipiente tem as dimensões indicadas na figura 1. A temperatura da água é controlada por um termostato de mercúrio de "alta" precisão.

O elemento aquecedor é uma resistência eléctrica constituída por um cilindro de cobre ($\varnothing = 8 \text{ mm}$; $L = 600 \text{ mm}$) instalada no interior de um tubo de aço inox de diâmetro interior igual a 200 mm e uma espessura de 2 mm. Um material cerâmico preenche o espaço entre o tubo e o cobre, como se mostra do pormenor da figura 1.

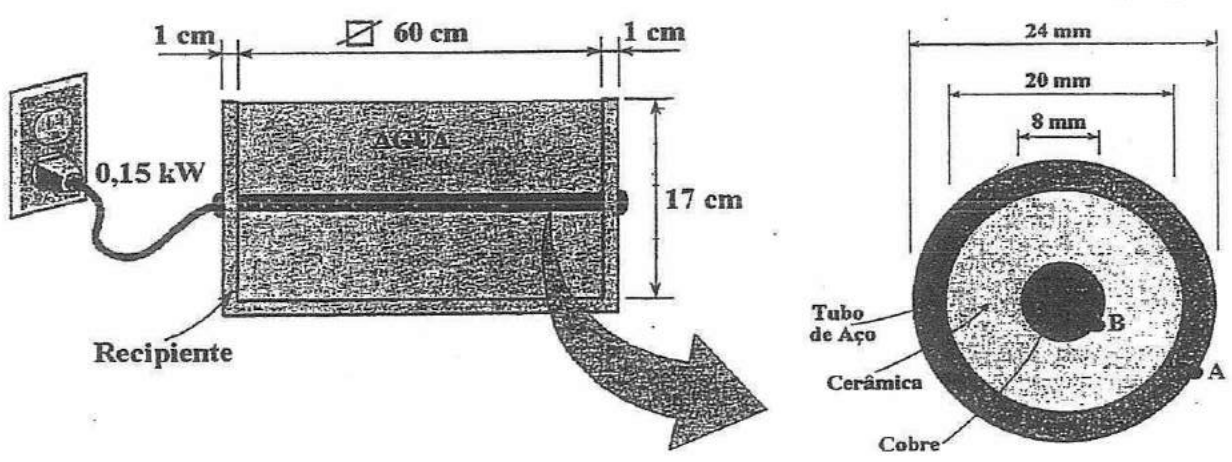


Figura 1

O ensaio de calibração dos sensores inicia-se quando o termómetro de mercúrio indica uma temperatura estável de 45°C para a água. Sabendo que é de 150W a potência debitada pela resistência eléctrica, determine:

- a) A temperatura na superfície exterior (A) do tubo.
 - b) A temperatura na interface (B) cobre-cerâmica.
- (Senão resolveu a alínea anterior considere que $T_A = 50^\circ\text{C}$).
- c) A equação de distribuição de temperaturas na resistência de cobre.
 - d) A temperatura no tubo de aço 0,5 minutos após o final do ensaio de calibração em que a resistência eléctrica foi desligada. Considere que a temperatura da água se mantém constante ao longo de todo o processo.

Propriedades Térmicas			
Elemento	λ	ρ	C_p
	(W/m.K)	(kg/m ³)	(J/kg.K)
Aço	40	480	7850
Cerâmica	1,15	1900	960
Cobre	350	8500	300

2. Um camião cisterna utilizado no transporte de leite ($T = 2^\circ\text{C}$), circula com uma velocidade de 60 km/h num local onde a temperatura do ar junto ao camião é de $T_{\text{ar}} = 32^\circ\text{C}$. A cisterna tem um comprimento de 5 m e um diâmetro exterior de $1,8 \text{ m}$.

Sobre a superfície horizontal da cisterna incide a radiação solar com uma intensidade média igual a 18 kW .

Toda a superfície exterior da cisterna pode ser considerada uma superfície cinzenta e difusa com uma emissividade $\varepsilon = 0,7$.

Admita que não são significativos os efeitos dos topos da cisterna, da cabine e dos rodados do camião. Nestas condições:

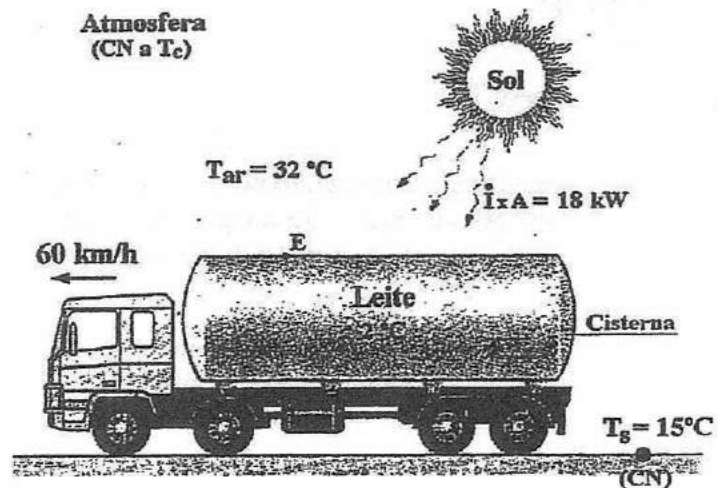


Figura 2

- a) Calcule o coeficiente de convecção para a transferência de calor entre a superfície horizontal da cisterna e o ar.
(Considere para o ar: $\lambda = 0,0264 \text{ W/mK}$; $\nu = 16,226 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$; $Pr = 0,7118$).
- b) Admitindo que as temperaturas da atmosfera e do solo são ambas iguais a 15°C , determine a temperatura na superfície exterior da cisterna (T_E).
(Se não resolveu a alínea anterior, considere $\alpha = 40 \text{ W/m}^2\text{K}$).
- c) Numa situação mais realista, a temperatura da atmosfera ($T_C = 8^\circ\text{C}$) é diferente da do solo ($T_S = 15^\circ\text{C}$). Mantendo-se todas as restantes condições, estabeleça o sistema de equações que lhe permitiria determinar de novo a temperatura na superfície exterior da cisterna (T_E).
3. a) Trace os diagramas de temperatura para um permutador que tivesse, em regime permanente, um fluido condensando-se a ceder calor a um fluido evaporando-se, e diga como se calcula a diferença de temperatura média logarítmica para a respectiva transferência de calor. Justifique as opções que tomar para responder a esta questão.
- b) Considere o convergente e o divergente representados na figura 3, através dos quais circula o mesmo caudal mássico. Sabendo que as secções "s" também são iguais ($\varnothing_1 = \varnothing_{II}$), indique em qual dos casos é maior o coeficiente local de transferência de calor por convecção. Justifique a resposta.

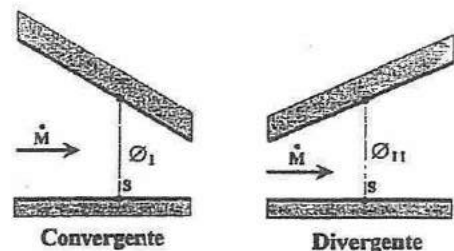


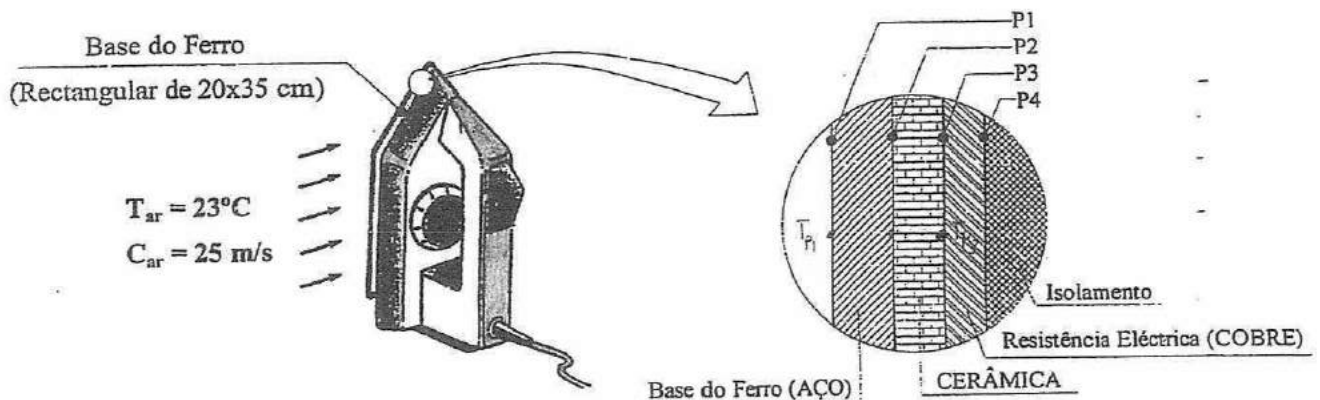
Figura 3

COTAÇÕES:	1º PROBLEMA	2º PROBLEMA	3º PROBLEMA
	a) 2,0 val.	a) 3,0 val.	a) 2,0val.
	b) 2,0 val.	b) 2,0 val.	b) 2,0 val.
	c) 2,0 val.	c) 3,0 val.	
	d) 2,0 val.		

1. Considere um ferro eléctrico de 500 W com uma base de aço maciça de 7 mm de espessura, e que pode ser considerada rectangular com 20 cm (largura) x 35 cm (altura).

A resistência eléctrica é uma placa de cobre com 5 mm de espessura, onde o calor é gerado uniformemente por efeito de Joule, quando a placa é atravessada por uma corrente eléctrica de 220 V. Uma das faces da placa de cobre está isolada, enquanto que a outra está em contacto com uma placa de cerâmica de 6 mm de espessura (ver pormenor na figura abaixo).

As placas de cerâmica e de cobre têm a mesma largura e a mesma altura, ambas iguais às da base do ferro.



Material	e	ρ	C_p	a	$\epsilon = \alpha$
	(mm)	(kg/m ³)	(J/kg.K)	(m ² /s)	
AÇO	7	4000	800	$1,0 \times 10^{-5}$	0,70
CERÂMICA	6	2000	950	$5,0 \times 10^{-7}$	-
COBRE (Liga)	5	8800	475	$1,2 \times 10^{-5}$	-

Admita que o isolamento colocado junto à resistência eléctrica pode ser considerado perfeito, donde resulta que toda a potência é dissipada para o ar exterior através da base (despreze o efeito dos topos da base).

O ferro é movimentado de tal forma que o ar ($T_{ar} = 23^\circ\text{C}$) da sala onde se encontra o ferro, se desloca paralelamente à superfície exterior da base, com uma velocidade de 25 m/s.

a) Sabendo que o ferro está ligado, e desprezando o mecanismo da radiação, calcule a temperatura da superfície exterior da base do ferro (ponto P1).

b) Calcule a temperatura na interface cerâmica-cobre (ponto P3).

Se não resolveu a alínea anterior, considere que a temperatura no ponto P1 é igual a 200°C .

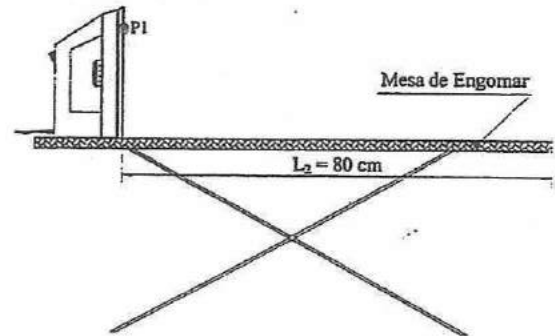
c) Determine a distribuição de temperatura no cobre, e calcule a sua temperatura máxima e mínima.

- d) Admitindo que a base de aço só transfere calor com o ar exterior (por convecção), calcule o tempo necessário para que ela atinja uma temperatura $10\text{ }^\circ\text{C}$ acima da temperatura do ar da sala, a partir do momento em que o ferro é desligado.

2. Considere que o ferro eléctrico do problema anterior está ligado:

- a) Na situação do problema 1 alínea a), existem na realidade também trocas de calor por radiação com outras superfícies. Considerando que todas as outras superfícies externas ao ferro estão a 298 K , calcule a nova temperatura da superfície exterior da base do ferro (ponto P1).

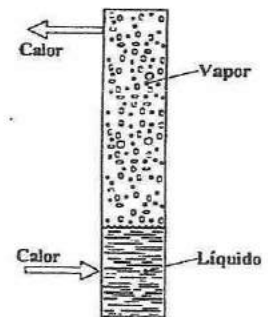
- b) Considere agora que no mesmo local da alínea anterior, o ferro está pousado verticalmente sobre uma mesa de engomar (considerada isolada na face inferior), de largura igual à do ferro (20 cm).



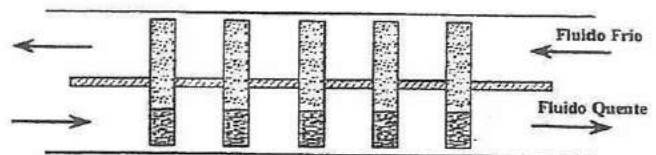
Desprezando o efeito da convecção, e admitindo que a temperatura na superfície exterior da base do ferro (ponto P1) é igual a $162,5\text{ }^\circ\text{C}$, calcule:

- b.1) O balanço radiativo da base de ferro.
b.2) A temperatura da mesa de engomar.

3. a) A figura representa um tubo de calor. Trata-se de um tubo metálico oco, fechado nos topos, no interior do qual existe líquido numa extremidade e vapor na outra. Para a pressão reinante no interior do tubo, atinge-se a condição de saturação ao fornecer calor ao líquido. A mesma quantidade de calor é retirada na extremidade com vapor. Porque razão se consegue um coeficiente global de transferência de calor muito elevado?



- b) Considere que se coloca um conjunto de tubos de calor para transferir calor de uma corrente quente para uma corrente fria, como mostra a figura. Quais as vantagens, em termos de potência calorífica transferida, desta solução em relação à transferência de calor através de uma parede metálica (que separa os fluidos)? Justifique.



Q_t + tubos existem, maior área Q, por Q = Q · A

COTAÇÕES:	1º PROBLEMA	2º PROBLEMA	3º PROBLEMA
	a) 3,0 val.	a) 2,0 val.	a) 1,5val.
	b) 2,0 val.	b.1) 2,0 val.	b) 1,5 val.
	c) 3,0 val.	b.2) 2,0 val.	
	d) 3,0 val.		



TRANSFERÊNCIA DE CALOR

Universidade do Porto
Faculdade de Engenharia
FEUP

7^o Ano
2^a Chamada

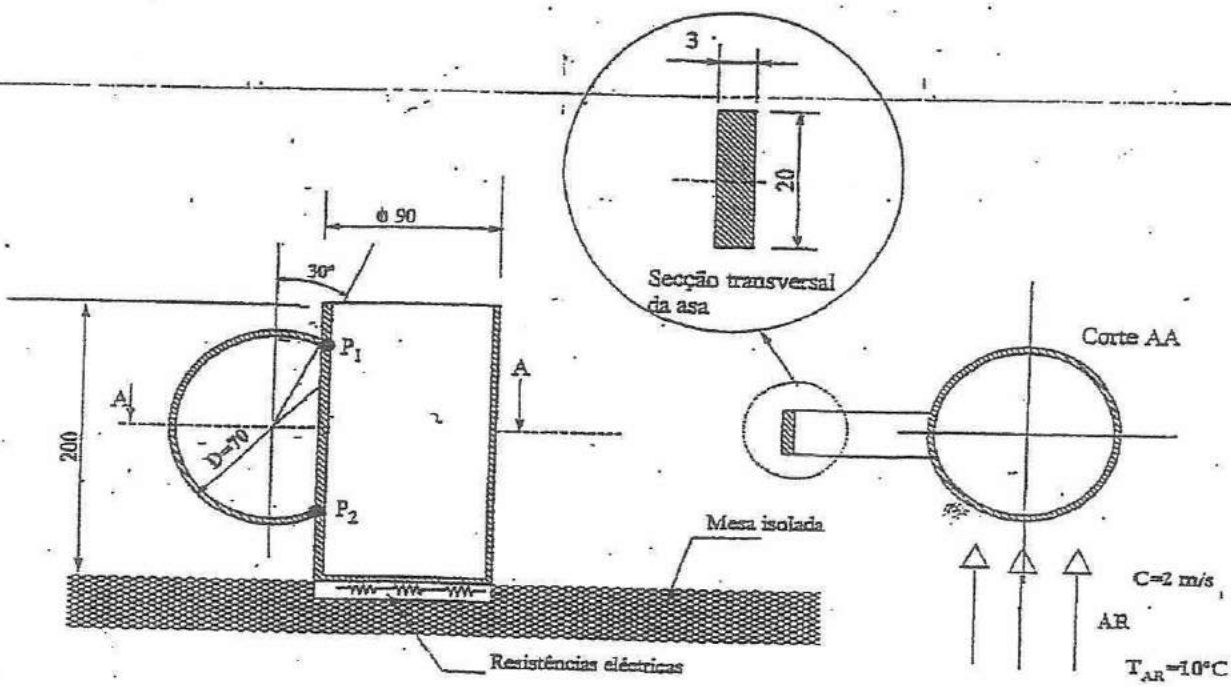
Ex. 2 ✓

Duração: 2 horas

DEMEGI -SFC

25 de Janeiro de 2002

Problema - 1



Material	ρ [kg/m ³]	C_p [J/kgK]	λ [W/mK]
Aço Inox	7822	444	37,7

A figura representa uma chaleira em aço inox de espessura uniforme e igual a 3 mm, completamente cheia de água. Para manter a temperatura da água uniforme e igual a 80 °C é fornecido calor através de um disco eléctrico. Paralelamente à mesa escoa-se ar de acordo com as condições representadas na figura.

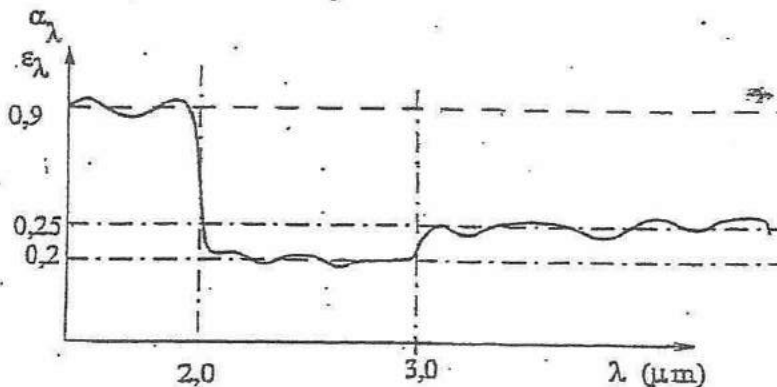
- (4 v) Sabendo que o coeficiente médio de convecção na zona da asa é de 20 W/m²K e desprezando os mecanismos de radiação, determine a temperatura mínima atingida na asa, assim como a sua localização. Admita que a temperatura dos pontos P₁ e P₂ é igual à da água.
- (3 v) Nas condições de equilíbrio, determine a potência a fornecer pelo disco à chaleira sabendo que a energia libertada pela superfície livre da água corresponde a 10% da energia total libertada pelo sistema. Despreze o efeito da asa, os mecanismos de radiação e a variação de massa sofrida pela água. Considere a superfície interior da chaleira à temperatura da água.

- c) (2 v) Diga, de uma forma clara e sem resolver numericamente, como poderia efectuar o cálculo do coeficiente médio de convecção na asa.
- d) (3 v) Num dado instante é retirada toda a água da chaleira. A chaleira é então colocada sobre a mesa e afastada do disco. A sua temperatura nesse instante é uniforme e igual a 80°C . Se o coeficiente de transferência de calor global no interior da chaleira é 30% inferior ao do exterior, determine o tempo necessário para que a chaleira, em média, atinja 80% da temperatura final. Admita que o coeficiente global de transferência de calor exterior é de $20\text{ W/m}^2\text{K}$ e considere o ar no interior da chaleira à mesma temperatura do ar exterior (10°C).

Problema - 2

Considere a figura do problema 1, assim como as respectivas condições de equilíbrio. O tampo da mesa está perfeitamente isolado na face inferior e tem uma temperatura de 20°C ($\epsilon = \alpha = 0,8$). As suas dimensões são muito grandes quando comparadas com as da chaleira. A envolvente do conjunto está a uma temperatura uniforme de 10°C .

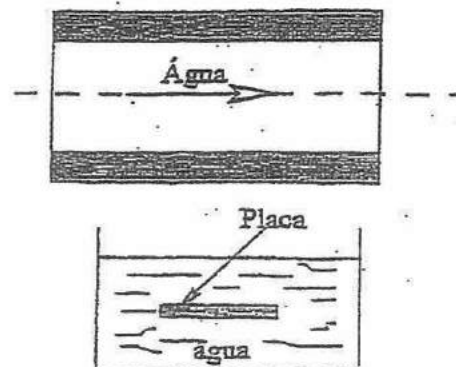
- a) (3 v) Determine a quantidade de energia perdida por radiação pela face lateral da chaleira, sabendo que o factor de forma entre a chaleira e a mesa é de 0,45. Admita que a chaleira tem $\epsilon = \alpha = 0,25$.
- b) (2 v) Sabendo que a emissividade (e o coeficiente de absorção) espectral do material da chaleira varia de acordo com o gráfico abaixo, calcule o erro cometido na alínea anterior ao considerar $\alpha = \epsilon$.



Problema - 3

- a) (1,5 v) No interior de um tubo horizontal envolvido por vapor de água saturado circula água. Qual das seguintes temperaturas de entrada da água conduziria a um maior coeficiente global de transferência de calor: 20°C , 50°C ou 80°C . Justifique, considerando o mesmo caudal de água e regime de condensação em todos os casos.
- b) (1,5 v) Uma placa plana horizontal está imersa num recipiente com água. A placa é aquecida e mantida a 130°C , enquanto a água está a 100°C . Em qual das faces (superior ou inferior) da placa é maior o coeficiente de transferência de calor? Justifique.

Vapor de água $1\text{atm}/100^\circ\text{C}$



1. Um dispositivo composto por uma base em ferro fundido e um disco de aço com um diâmetro de 20 cm e uma espessura de 15 mm, é utilizado para o aquecimento de água colocada no interior de um tacho de alumínio, cujas dimensões estão indicadas na figura 1.

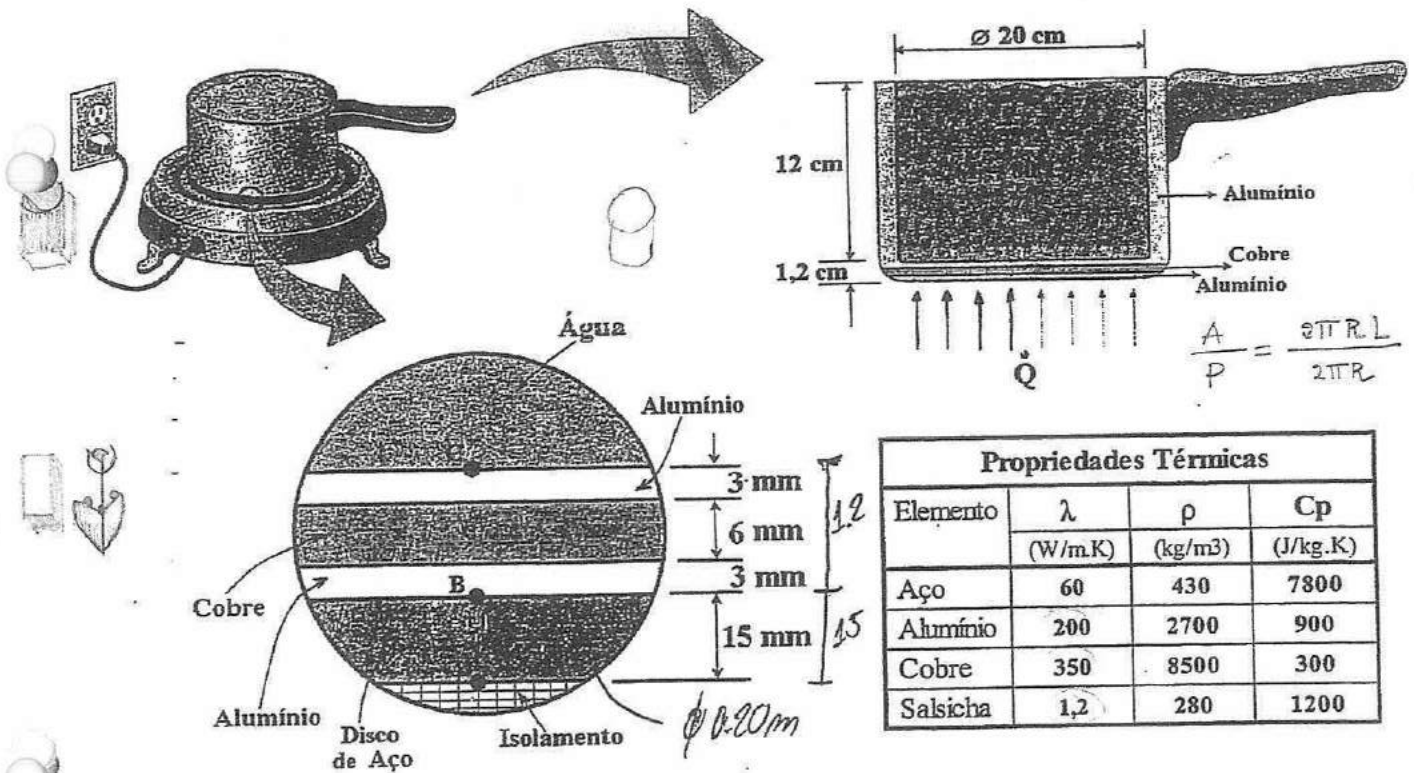


Figura 1

Quando o disco de aço é percorrido por uma corrente eléctrica gera-se (no seu interior) uma quantidade de calor uniforme por unidade de volume igual a $0,21 \text{ MW/m}^3$. A faces do disco estão em contacto com a base do tacho (face B) e com o isolamento (face A), como se ilustra no pormenor na figura 1. Neste pormenor, mostra ainda a constituição da base do tacho.

Considere que são desprezáveis as perdas de calor pela superfície lateral do tacho e os efeitos da transferência de massa que ocorre na superfície livre da água.

Admitindo que, em regime permanente, a temperatura média da água permanece constante e igual a 80°C , determine:

- O coeficiente de convecção para a transferência de calor entre o fundo do tacho e a água. Considere que toda a potência calorífica gerada no disco de aço é transferida para a água
- A temperatura da interface B (Aço-Alumínio).
- A equação de distribuição de temperaturas no disco de aço e calcule a sua temperatura máxima.

d) A dada altura, uma salsicha com diâmetro de 2 cm, um comprimento de 15 cm, e com uma temperatura uniforme de 15°C, é mergulhada na água contida no tacho para ser cozinhada ($\alpha = 16 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$), como se mostra na figura 2.

Admitindo que a temperatura da água não se altera, determine o tempo necessário para que a temperatura no centro da salsicha, considerada como um corpo homogêneo, atinja o valor ideal para a sua confecção, que é de 60°C.

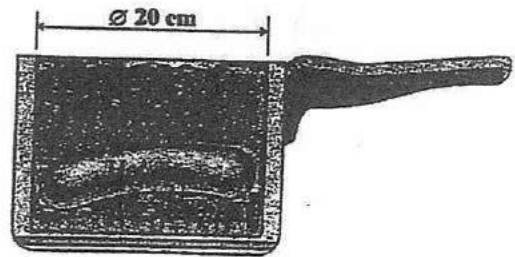


Figura 2

2. Considere agora que o cozinheiro depois de retirar a água e a salsicha do tacho, o pousou (vazio) sobre o disco que continua ligado à corrente eléctrica. Nesta situação, as faces internas (C e D) do tacho (ver figura 3), têm um comportamento cinzento e difuso para as trocas de calor por radiação, e uma emissividade igual a $\epsilon_C = 0,6$ e $\epsilon_D = 0,4$.

O ar no interior do espaço e as superfícies envolventes (que têm um área muito superior à das restantes superfícies), estão a 20°C.

Admitindo que não são significativas as trocas de calor por convecção no interior do tacho, e que, no exterior da superfície lateral, o coeficiente de convecção é igual a $17 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$:

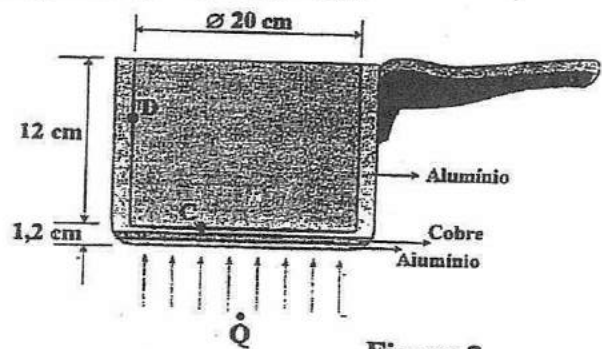


Figura 3

a) Calcule a fracção de energia que sai da superfície lateral (D) e atinge a própria superfície (F_{D-D}).

b) Determine a temperatura em ambas as superfícies C e D, admitindo, para simplificação, que a superfície lateral (D) se pode considerar adiabática.

c) Na verdade, a superfície lateral não se pode considerar adiabática. Nesta situação, e mantendo-se todas as outras condições, estabeleça o sistema de equações que lhe permitiria determinar a temperatura em ambas as face (C e D). Não é necessário resolver o sistema de equações.

3. a) Considere um espaço com a envolvente adiabática onde existe um radiador que debita uma potência constante de 2000W. Represente simplificadamente num diagrama a evolução ao longo do tempo:

a.1) Da temperatura do ar no interior do espaço.

a.2) Das potências transferidas para o ar por convecção e radiação.

b) Os números de Nusselt e de Biot são calculados com as expressões: $Nu = \frac{\alpha L}{\lambda}$; $Bi = \frac{\alpha L}{\lambda}$
Explique as diferenças dando o significado físico do Nu e do Bi.

COTAÇÕES:	1º PROBLEMA	2º PROBLEMA	3º PROBLEMA
	a) 3,0 val.	a) 2,5 val.	a.1) 1,0val.
	b) 1,5 val.	b) 2,5 val.	a.2) 1,5 val.
	c) 2,0 val.	c) 2,5 val.	b) 1,5 val.
	d) 2,0 val.		



TRANSFERÊNCIA DE CALOR

4º Ano

1ª Chamada

Universidade do Porto
Faculdade de Engenharia

FEUP

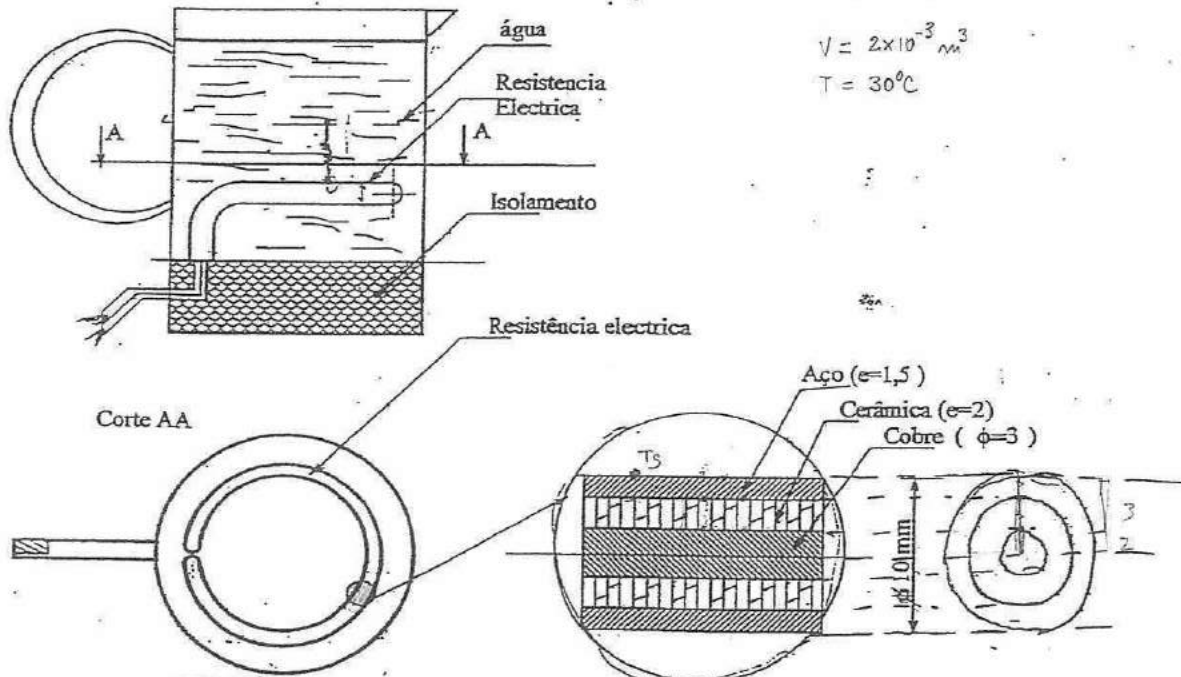
Duração: 2 horas

1ª Chamada

DEMEGI -SFC

11 de Janeiro de 2002

Problema - 1 A figura representa uma cafeteira eléctrica utilizada para manter $2 \times 10^{-3} \text{ m}^3$ água quente a uma temperatura uniforme de $30 \text{ }^\circ\text{C}$. A resistência eléctrica, cujo perímetro é de 30 cm , é constituída por um núcleo de cobre ($\phi=3 \text{ mm}$) e por uma camada de um material cerâmico (espessura= 2 mm) que é revestido com aço ($\phi_{ext}=10 \text{ mm}$), tal com se apresenta na figura. Para que a água se mantenha à temperatura desejada a resistência é percorrida por uma corrente eléctrica de $1,85 \text{ A}$, dissipando uma potência de 172 W .



Material	ρ [kg/m ³]	C_p [J/kgK]	λ [W/mK]
Cobre	8800	420	52,0
Cerâmica	2645	960	1,0
Aço	7854	434	60,6

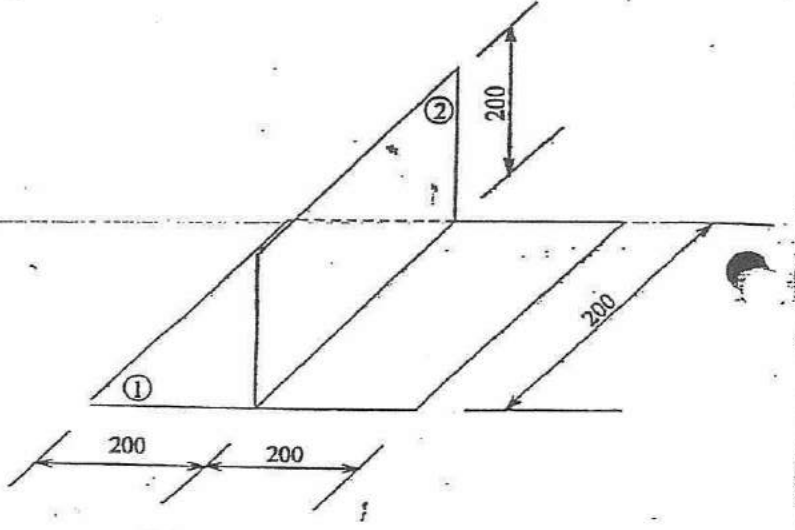
- a) (4 v) Sabendo que o sistema está em regime permanente, determine a temperatura da superfície exterior da resistência que está em contacto com a água.
- b) (2 v) Determine a temperatura da interface aço/cerâmica.
- c) (2 v) Obtenha a distribuição da temperatura no núcleo de cobre da resistência em função do raio, desprezando as perdas pelos topos.

d) (3 v) Num dado instante a cafeteira é desligada. Sabendo que no exterior o ar tem uma temperatura de 5 °C e as perdas da cafeteira para o exterior são de 15 W/K, determine o tempo necessário para que a diferença de temperaturas entre a água e o ar seja de 5 °C. Admita que as paredes e a própria resistência da cafeteira não influenciam termicamente o processo.

Q [W]

Problema - 2

A figura representa duas placas planas. A placa (1) é mantida a 500 K, e tem $\epsilon_1 = \alpha_1 = 0,8$. A placa (2) tem $\epsilon_2 = \alpha_2 = 0,4$. As superfícies exteriores, com uma área muito superior, podem considerar-se como um corpo negro à temperatura de 300 K. Admita que se atingiu o equilíbrio térmico.

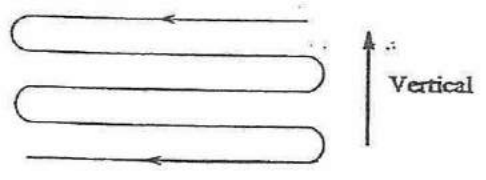


- a) (4 v) Calcule a temperatura da placa (2) suposta uniforme, e considere apenas trocas de calor por radiação térmica.
- b) (1 v) Se existir convecção nas superfícies, em que medida se alterará a resolução de a)? Explique sem efectuar cálculos.

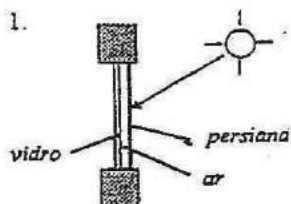
Problema - 3

a) (1 v) Os condensadores são permutadores de calor muito frequentes na prática, nomeadamente em equipamentos frigoríficos. Num condensador de um frigorífico é transferido calor de um fluido que entra a 30 °C para o ar ambiente a 20 °C. Calcule a diferença de temperatura média para a transferência de calor, explicitando as hipóteses que considerar.

b) (2 v) Diga qual o arranjo dos fluxos (escoamentos) para um condensador em que o fluido interior circula num tubo horizontal enrolado em serpentina (ver figura), e o fluido exterior se encontra clamo (ar ambiente).



c) (1 v) Ocorrendo a condensação no interior do tubo, indique e defina o parâmetro que condiciona o padrão de escoamento no tubo.



A figura representa uma janela de uma sala sombreada com uma persiana opaca (totalmente fechada). A persiana é construída num material cujas características radiativas são:

$$\epsilon = \alpha = 0,2 \text{ para } \lambda < 3 \mu\text{m};$$

$$\epsilon = \alpha = 0,6 \text{ para } \lambda > 3 \mu\text{m}.$$

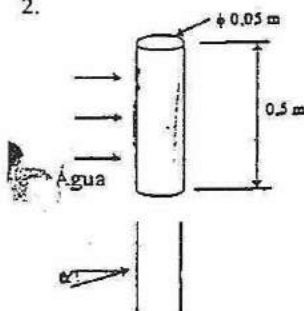
O sol incide na face exterior da persiana com uma intensidade de 800 W/m^2 (perpendicular à superfície). O ar e as superfícies exteriores encontram-se à temperatura de 30°C , enquanto o ar e as superfícies interiores se encontram a 25°C . O coeficiente de convecção do ar exterior é de $20 \text{ W/m}^2\text{K}$, enquanto o interior é de $2 \text{ W/m}^2\text{K}$.

No espaço de ar entre a persiana e o vidro existe uma camada de 2 cm de ar, na qual se pode admitir que existe condução ($\lambda = 0,025 \text{ W/mK}$).

A emissividade do vidro para radiação infra-vermelha é de $0,8$. Considerando a persiana e o vidro muito finos (a temperatura uniforme):

- Calcule o fluxo de calor que entra através do envidraçado para o interior. Escreva as equações necessárias e não efectue a resolução do sistema.
- Se a persiana for colocada no interior (em relação ao vidro), quais as alterações nas equações de a)? Considere $\tau_{\text{vidro}} = 0,8$ e $\alpha_{\text{vidro}} = 0,1$ para a radiação solar.
- Em que situação (a ou b) será maior o fluxo de calor? Justifique.

2.

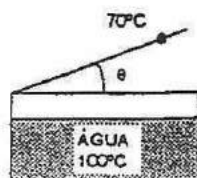


Uma resistência tubular encontra-se mergulhada num escoamento de água com a velocidade média de 1 m/s e à temperatura de 20°C . A potência libertada pela resistência é de 2000 W .

- Calcule a temperatura média da parede do tubo.
- Se a resistência se avariar (desligar), ao fim de quanto tempo será a temperatura da superfície do tubo igual a 25°C ?
- Se o escoamento tiver uma direcção diferente - ângulo α da figura ao lado maior que 0° - o arrefecimento verificado em b) será mais rápido ou mais lento? Justifique com base em considerações físicas.

DADOS: $\lambda = 50 \text{ W/mK}$; $\rho = 7800 \text{ kg/m}^3$; $c_p = 200 \text{ J/kgK}$.

3.



Num recipiente com água é provocada a sua ebulição (à pressão atmosférica) por aquecimento do fundo do recipiente.

- Uma parte do vapor produzido volta a condensar, por contacto com a tampa do recipiente, a uma menor temperatura. Para que posição da tampa (ângulo θ) é maior o caudal condensado? Justifique, considerando constante a temperatura da tampa e considerando a existência de vapor na vizinhança de toda a superfície interior da tampa.
- Sendo a temperatura do fundo do recipiente de 120°C , diga, justificando, para que tipo de acabamento da sua superfície será superior o coeficiente de transferência de calor: superfície polida ou superfície rugosa.



Universidade do Porto
Faculdade de Engenharia

FEUP

DEMEGI - SFC

TRANSFERÊNCIA DE CALOR

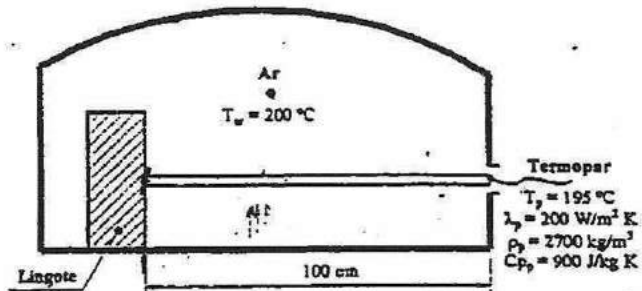
Recurso

2001/02/09

Duração: 02h30m

1. O sistema representado na figura 1, é utilizado para medir a temperatura de um lingote colocado num forno a $200\text{ }^{\circ}\text{C}$. Consiste em introduzir no forno uma vara metálica com um comprimento de $1,0\text{ m}$ e um diâmetro de 45 mm , até que uma das suas extremidades encoste ao lingote, enquanto que na outra se coloca um termopar para medida da temperatura.

Após a introdução da vara no forno e decorrido o tempo necessário para a estabilização (atinge-se o regime permanente), o termopar assinala uma temperatura de $195\text{ }^{\circ}\text{C}$.



- a) O ar no interior do forno circula a uma velocidade de 2 m/s , perpendicularmente ao eixo da vara metálica. Nestas condições, calcule o coeficiente de convecção entre o ar e a vara.
- b) Calcule a temperatura a que se encontra o lingote, suposta uniforme. Despreze o mecanismo da radiação.
Se não resolveu a alínea a), considere $\alpha = 20\text{ W/m}^2\text{ K}$.
- c) Se fosse usada uma vara com uma condutibilidade térmica maior, a temperatura medida seria maior ou menor? Justifique, considerando a mesma temperatura para o lingote e o ar.
- d) Após a medição, retira-se a vara do forno e esta arrefece em contacto com o ar (calmo) à temperatura de $20\text{ }^{\circ}\text{C}$. O coeficiente de convecção é de $5\text{ W/m}^2\text{ K}$ (constante). Considerando a vara a uma temperatura inicial uniforme de $150\text{ }^{\circ}\text{C}$, calcule o tempo necessário ao arrefecimento da superfície da mesma até $30\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- e) Na situação da alínea d) o coeficiente de convecção para o ar varia realmente ao longo do tempo. Considerando essa variação, escreva a equação diferencial que permitiria obter a variação temporal da vara. Não a integre.
2. Um forno eléctrico é constituído por duas zonas de aquecimento (Z1 e Z2) e é usado para o tratamento térmico de revestimento de ambas as faces de uma chapa metálica delgada (2), posicionada a meia altura entre os aquecedores (1); como se mostra na figura 2.



Universidade do Porto
Faculdade de Engenharia

FEUP

DEMEGI - SFC

TRANSFERÊNCIA DE CALOR

2ª Chamada

2001/01/26

Duração: 02h30m

1. Um "chip" (3x15x40 mm) de silício usado em microelectrónica, está montado num substrato dieléctrico (15x15x40 mm), tal como se representa na figura 1.

Durante o funcionamento, em regime permanente, gera-se no "chip" uma quantidade de calor uniformemente distribuída igual a $0,45 \text{ MW/m}^3$.

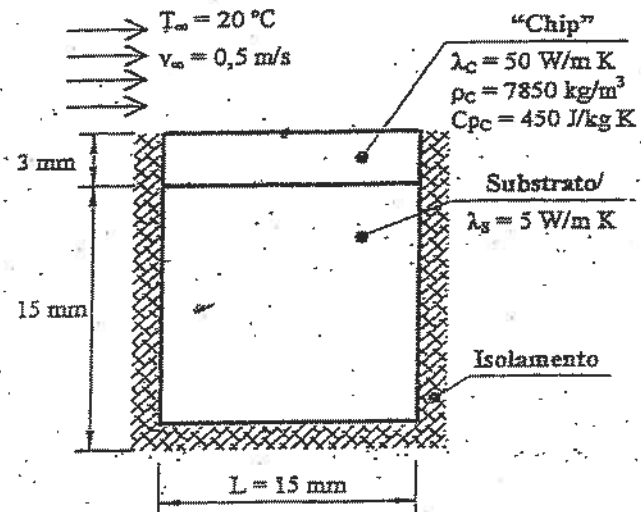


Figura 1

a) Sabendo que na superfície exterior do "chip" circula ar a 20 °C e a uma velocidade de $0,5 \text{ m/s}$, calcule o coeficiente de convecção entre o "chip" e o ar.

b) Escreva a equação diferencial que permite obter a distribuição de temperaturas no "chip".

c) Usando as condições de fronteira pertinentes, calcule a temperatura máxima e mínima no "chip". Se não resolveu a alínea a) considere $\alpha = 23 \text{ W/m}^2 \text{ K}$.

d) Qual a temperatura na base do substrato? Justifique.

e) A partir da situação anterior o "chip" avaria e é retirado do substrato, arrefecendo por contacto com o ar nas duas faces (como se mostra na figura 2), nas mesmas condições de escoamento.

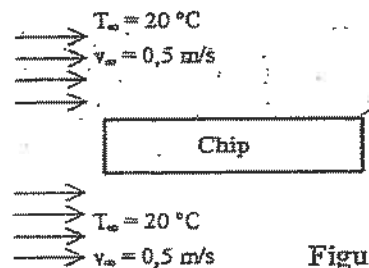


Figura 2

Qual o tempo necessário para que se atinja uma temperatura no "chip" igual a metade da sua temperatura inicial.

2. Consideremos a cavidade com três superfícies representada na figura 3. A placa aquecedora (1) é um disco negro com 300 mm de diâmetro, e recebe um fluxo de calor de 2 kW .

A placa superior (2) também é um disco. Está posicionado coaxialmente com (1) e tem o mesmo diâmetro. A sua temperatura é de 220 °C , podendo ser considerada uma superfície cinzenta e difusa com $\epsilon = 0,8$.

A superfície lateral (3) também pode ser considerada cinzenta e difusa e está perfeitamente isolada. Sabendo que existe vácuo no interior da cavidade, calcule:

- O factor de forma entre a placa aquecedora (1) e a superfície lateral (3).
- A temperatura da placa aquecedora (1) e a temperatura da superfície lateral (3).

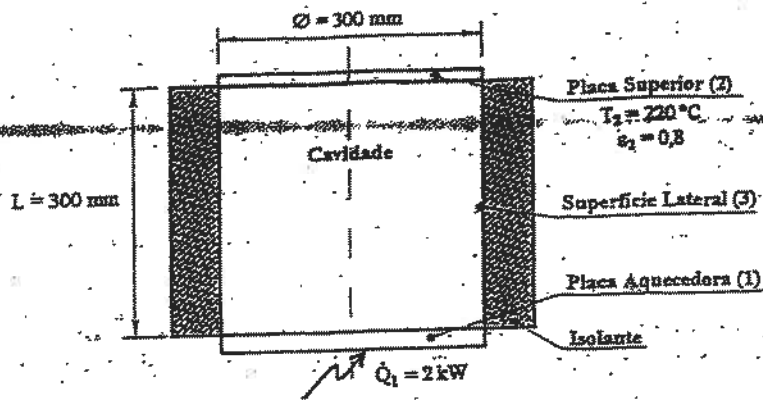


Figura 3

- Uma técnica para arrefecimento de um módulo com vários "chips" consiste na sua imersão num banho de fluocarboneto líquido, como se mostra na figura 4. O vapor de fluocarboneto condensa na superfície externa de uma serpentina de cobre situada acima do líquido. No interior da serpentina circula água arrefecida.

a) Calcule a diferença de temperatura média para a transferência de calor entre o fluocarboneto e a água que circula na serpentina.

b) No sentido de incrementar a transferência de calor do módulo de "chips" para o fluocarboneto líquido, será preferível colocar o módulo na vertical, como na figura 4, ou na horizontal? Justifique.

c) Com vista a aumentar a capacidade de arrefecimento da serpentina, será preferível colocar a serpentina na posição vertical (A) ou horizontal (B) - ver a figura 5? Justifique.

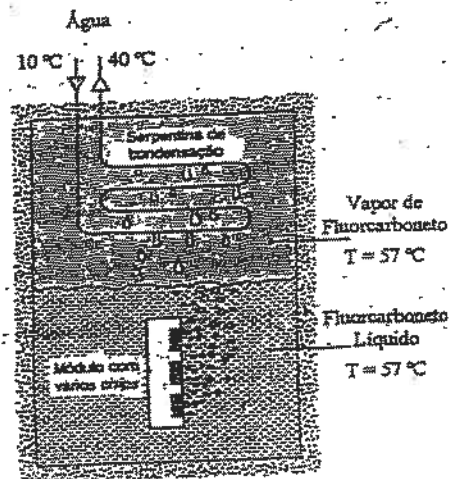


Figura 4

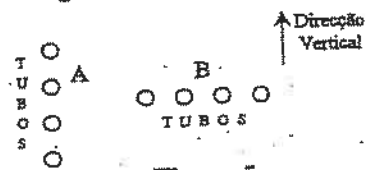


Figura 5

COTAÇÕES:

1º PROBLEMA:

- 3,0 val.
- 3,0 val.
- 1,5 val.
- 1,0 val.
- 1,5 val.

2º PROBLEMA:

- 2,0 val.
- 4,0 val.

3º PROBLEMA:

- 1,0 val.
- 1,5 val.
- 1,5 val.



1. Um transistor de base rectangular (30×50 mm) e espessura $e = 5$ mm; está montado num meio isolante como se representa na figura 1.

Quando está a funcionar em regime permanente, a sua temperatura mínima é igual a 60°C .

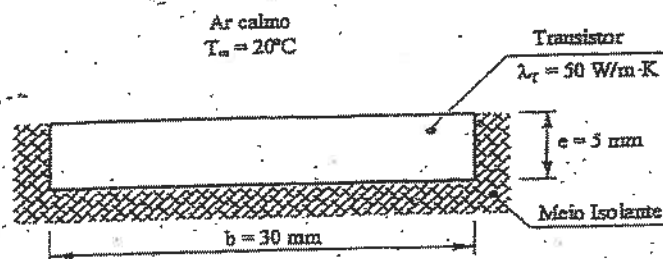


Figura 1

- a) Calcule o coeficiente de convecção para as trocas de calor entre o transistor e o ar calmo a $T_\infty = 20^\circ\text{C}$.

- b) Calcule a potência calorífica dissipada para o ar.

Nota: Se não resolveu a alínea a), considere $\alpha = 20 \text{ W/m}^2 \text{ K}$.

- c) Diga onde se verificará a temperatura máxima no transistor, justificando.

- d) Tendo por objectivo a redução da temperatura do transistor, instalaram-se duas placas ($\lambda_p = 50 \text{ W/m K}$) de altura e espessura indicadas na figura 2, e com a largura do transistor.

Suponha que o coeficiente de convecção é igual ao calculado na alínea a) e uniforme nas placas, e que a temperatura na superfície de contacto placas/transistor é igual à definida anteriormente.

Qual é a potência dissipada pelo conjunto placas/transistor?

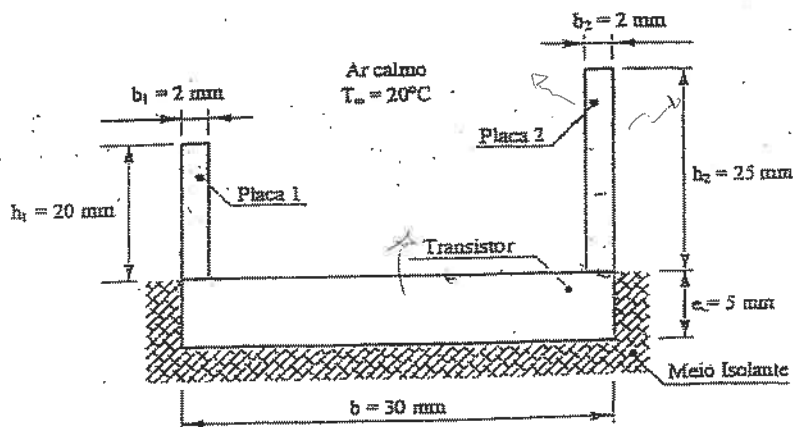


Figura 2

- e) A partir de um dado, instante cessa o funcionamento do transistor. Para a configuração com placas (alínea d), escreva a equação diferencial que permitiria obter a distribuição temporal de temperaturas no conjunto. Não integre a equação.

TRANSFERÊNCIA DE CALOR

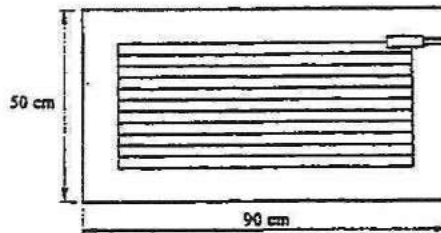
EXAME - ÉPOCA DE DEZEMBRO

2000/12/14

Duração: 02H00

1. A figura representa um sistema desembaciador usado nos vidros traseiros de automóveis, que consiste em ligar à superfície interior do vidro uma resistência eléctrica que ao ser percorrida por uma corrente estabelece um fluxo de calor uniforme (na superfície interna).

Considere um vidro vertical de 4mm de espessura, banhado exteriormente por um escoamento de ar tangencial ao vidro, de cima para baixo. Admita que a velocidade do escoamento (infinito) é de 20 km/h e que as temperaturas interior e exterior são, respectivamente, de 20°C e 5°C. Sendo o coeficiente de convecção interior de 3 W/m² K:



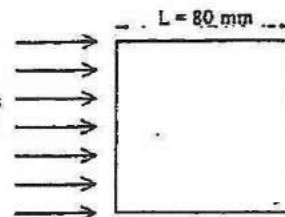
$$\begin{aligned} \lambda_{\text{vidro}} &= 1,0 \text{ W/mK} \\ \epsilon_{\text{vidro}} &= 0,8 \\ \alpha_{\text{vidro}} &= 0,1 \end{aligned}$$

- Calcule a potência eléctrica por unidade de área do sistema, se a temperatura da face interior do vidro, necessária para impedir o embaciamento, for de 12°C. Despreze o mecanismo da radiação.
- Qual a intensidade da radiação solar incidente na superfície exterior do vidro, de modo a que se consiga obter o mesmo efeito que com o sistema desligado? Considere trocas de calor por radiação apenas na face exterior.
- Verifique o valor do coeficiente de convecção interior.

2. O tratamento térmico de um prisma quadrangular (altura igual a 200 mm) completa-se com a exposição deste a um escoamento transversal de ar a 20°C, e com uma velocidade de 10 m/s. No início, a temperatura do prisma é uniforme e igual a 100°C.

Sabendo que o prisma é de aço com as seguintes características: $\rho = 7833 \text{ kg/m}^3$, $c_p = 465 \text{ J/kg K}$ e $\lambda = 54 \text{ W/m K}$, calcule:

$$\begin{aligned} v &= 10 \text{ m/s} \\ T_{\infty} &= 20^\circ\text{C} \end{aligned}$$



- O coeficiente de transferência de calor por convecção entre o ar e o prisma.
- O tempo de exposição necessário para que toda a peça arrefeça até aos 30°C. Despreze o mecanismo da radiação.

DEMEGI

TRANSFERÊNCIA DE CALOR

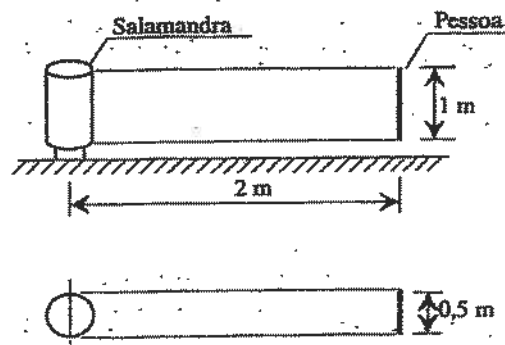
EXAME

2000/02/12

Duração: 02H00M

1. Um forno de micro-ondas permite o aquecimento através da geração de calor no interior dos alimentos nele colocados. Suponha que um bife pode ser considerado como uma placa com 2 cm de espessura, com uma área superficial igual a 15 cm x 10 cm, e com $\lambda = 2 \text{ W/m.K}$, $\rho = 220 \text{ kg/m}^3$ e $c_p = 1000 \text{ J/kg.K}$.
- a) Sendo o bife colocado no forno e este ligado, ao fim de um certo tempo atinge-se o regime de equilíbrio térmico no bife. Nessa condições, a temperatura da superfície do bife é de 90°C , sendo a temperatura do ar no interior do forno igual a 30°C . Considerando que o bife troca calor apenas pela face superior, calcule o coeficiente de convecção entre o bife e o ar (calmo).
- b) Sabendo que o calor gerado no interior do bife, por unidade de volume, é uniforme, calcule o seu valor.
Nota: Se não resolveu a alínea a), use $\alpha = 9 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{K}$.
- c) Admitindo que o bife é colocado no forno à temperatura inicial de 5°C , calcule o tempo necessário para que ele atinja a temperatura superficial de 75°C . Considere que a temperatura do ar no interior do forno é constante e igual a 30°C . Considere ainda que o coeficiente de convecção também é constante e com valor igual ao calculado na alínea a). Se não resolveu as alíneas anteriores, use $\alpha = 9 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{K}$ e $q_r = 25 \text{ kW/m}^3$.
- d) Na realidade, variando a temperatura do bife varia também o coeficiente de convecção. Nestas condições, escreva a equação diferencial que lhe permitiria resolver o problema do aquecimento definido em c).
2. Uma "salamandra", ou um calorífero, é muito usado no aquecimento ambiente de um edifício. Nas condições normais de funcionamento, a temperatura média da sua superfície exterior atinge 80°C , e pode ser considerada uma superfície cinzenta e difusa com uma emissividade de 0,9.
- a) Sendo a "salamandra" colocada numa sala em que todas as superfícies têm a temperatura de 20°C , calcule a potência calorífica que ela liberta por radiação.

- b) Suponha que uma pessoa entra na sala e se posiciona na posição indicada na figura. Considerando que ela pode ser considerada como uma placa plana, nas condições assinaladas na figura, calcule o factor de forma para a troca de radiação térmica entre a "salamandra" e a pessoa.



- c) Calcule o balanço radiativo da pessoa, considerando que a sua temperatura superficial é igual a $27\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $\epsilon_{\text{pessoa}} = 0,7$. Se não resolveu b) tome $F_{\text{salamandra-pessoa}} = 0,03$.

3. O tubo da figura contém água e é aquecido por um fluido quente na zona inferior, provocando a ebulição da água contida no fundo. A zona superior transfere calor para um fluido frio, havendo condensação do vapor.



- a) Represente numa figura a película de condensado na parede interior do tubo. Diga em que pontos do tubo é maior o coeficiente de transferência de calor para o fluido frio.
- b) O conjunto representado pode ser considerado como um permutador de calor (entre os fluidos quente e frio). Escreva a resistência térmica global deste permutador em função dos parâmetros que achar relevantes.

COTAÇÕES: 1º PROBLEMA: 2º PROBLEMA: 3º PROBLEMA:

a) 3 val.

a) 4 val.

a) 1,5 val.

b) 3 val.

b) 2 val.

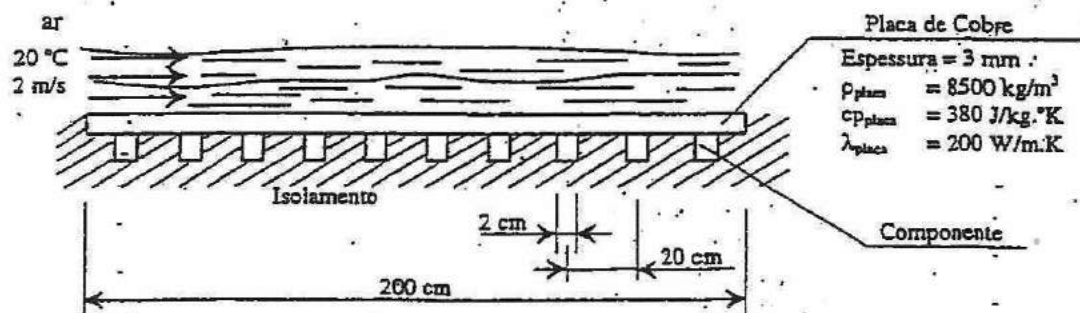
b) 1,5 val.

c) 2 val.

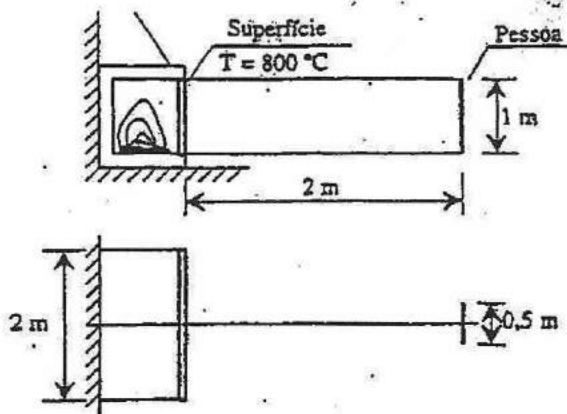
c) 3 val.

d) 1 val.

1. Numa placa de cobre com 2x2 m estão montados 10 componentes eléctricos com a mesma profundidade da placa, dissipando 25 W cada um quando estão em funcionamento. O calor gerado é removido por uma corrente de ar com as condições indicadas na figura.

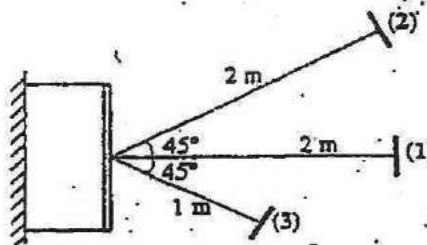


- Calcule o coeficiente de convecção entre a placa e o ar, fazendo as hipóteses simplificativas que achar convenientes.
 - Calcule a temperatura de equilíbrio da placa de cobre, suposta uniforme.
Nota: Se não resolveu a alínea a), use $\alpha = 4 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$.
 - Em condições mais realistas, pode contabilizar-se a variação (monodimensional) da temperatura da placa entre componentes. Nestas condições calcule a distribuição da temperatura entre dois componentes.
 - A partir da situação de equilíbrio os componentes são desligados. Admitindo a temperatura da placa uniforme, calcule o seu valor ao fim de 10 minutos.
2. A figura representa uma lareira usada para o aquecimento ambiente de um edifício. Nas condições de funcionamento normais, a lareira pode ser considerada como uma placa plana à temperatura de 800 °C. Uma pessoa pode ser considerada como uma placa plana, nas condições assinaladas na figura.
- Calcule o factor de forma entre a lareira e a pessoa.

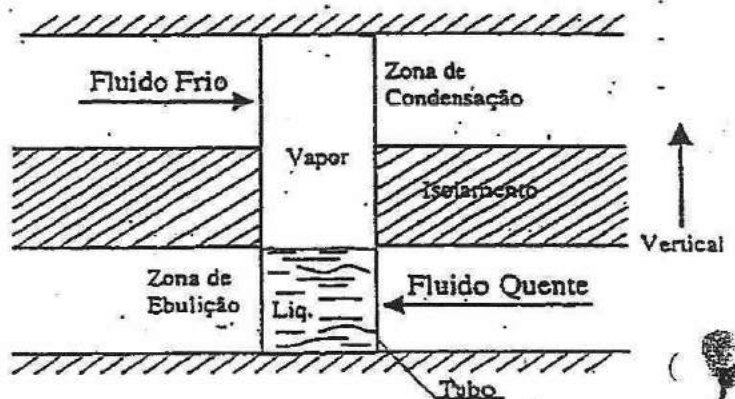


b) Considerando a pessoa à temperatura superficial de 27 °C e que todas as restantes superfícies do espaço interior estão à temperatura de 20 °C, calcule o balanço radiativo da pessoa. Considere $\epsilon_{pessoa} = 0,7$ e $\epsilon_{lucerna} = 0,9$. Se não resolveu a) tome $F_{lucerna-pessoa} = 0,02$.

c) Supondo que a pessoa se desloca relativamente à posição inicial (1), compare o balanço radiativo das posições (2) e (3) com (1). Faça uma análise qualitativa sem efectuar cálculos.



3. O tubo da figura contém água e é aquecido por um fluido quente na zona inferior, provocando a ebulição da água contida no fundo. A zona superior transfere calor para um fluido frio, havendo condensação do vapor.



a) Represente numa figura a película de condensado na parede interior do tubo. Diga em que zona do tubo é maior o coeficiente de transferência de calor para o fluido frio.

b) O conjunto representado pode ser considerado como um permutador de calor (entre os fluidos quente e frio). Escreva a resistência térmica global deste permutador em função dos parâmetros que achar relevantes.

COTAÇÕES: 1º PROBLEMA: 2º PROBLEMA: 3º PROBLEMA:

- a) 2 val.
- b) 2 val.
- c) 3 val.
- d) 2 val.

- a) 3 val.
- b) 4 val.
- c) 1 val.

- a) 1,5 val.
- b) 1,5 val.

TRANSFERÊNCIA DE CALOR

1ª Chamada

2000/01/05

Duração: 02H00

1. Uma garrafa de cerveja é retirada de um frigorífico à temperatura de 5°C (uniforme) e colocada num ambiente a 30°C.

- a) Durante a exposição ao ar ambiente (a 30°C), a garrafa pode considerar-se com uma temperatura superficial de 10°C (média ao longo do tempo). Nestas condições, calcule o coeficiente de convecção médio entre o ar (calmo) e a garrafa. Considere a garrafa como um cilindro vertical com $\varnothing = 80$ mm e $L=200$ mm (superfície lateral).



$$\begin{aligned} \rho_{\text{cerv}} &= 1000 \text{ kg/m}^3 \\ c_{p_{\text{cerv}}} &= 4100 \text{ J/kg.K} \\ \rho_{\text{garrafa}} &= 25 \text{ kg/m}^3 \\ c_{p_{\text{garrafa}}} &= 750 \text{ J/kg.K} \end{aligned}$$

Espessura da garrafa = 5 mm

- b) Considerando que o líquido (cerveja) e o vidro (garrafa) se podem considerar à mesma temperatura em cada instante, calcule ao fim de quanto tempo estará a cerveja a 15°C. Despreze o mecanismo da radiação e a transferência de calor pela base da garrafa (cilindro).

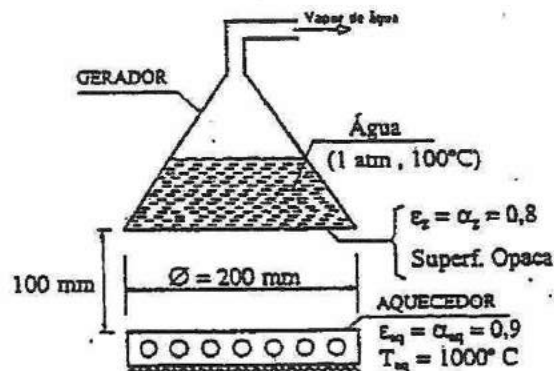
Nota: Se não resolveu a alínea a), considere $\alpha = 4,0 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$.

- c) Considerando a radiação entre as superfícies do local a 30°C e a garrafa a 10°C, calcule o coeficiente de transferência de calor por radiação. A garrafa pode ser considerada uma superfície cizenta e difusa com $\epsilon = 0,8$.

- d) Se se retirarem do frigorífico duas garrafas com metade da quantidade de líquido cada (e metade da capacidade), a cerveja aquecerá mais rapidamente ou mais lentamente do que em b)? Justifique.

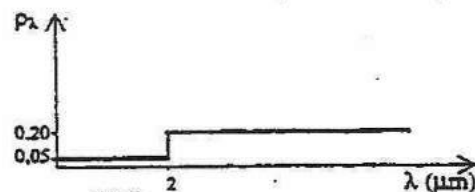
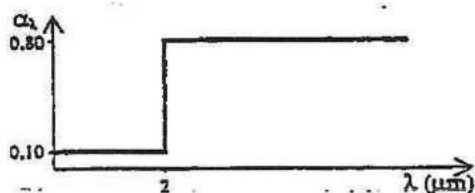
- e) Uma hipótese mais realista do que a usada em b) consiste em considerar que a cerveja (líquido) e a garrafa (vidro) podem ter temperaturas diferentes em cada instante, embora uniformes em cada material. Nestas condições, e com uma única garrafa, escreva o sistema de equações diferenciais que permite obter a evolução das temperaturas da cerveja e da garrafa. Indique as condições limite, usando as grandezas necessárias sem valores numéricos (não tente resolver as equações).

2. Um gerador de vapor de água é aquecido por radiação térmica proveniente de uma placa aquecedora colocada uma distância de 100 mm, como mostra a figura.



As superfícies do local onde se encontra o conjunto, estão à temperatura de 20° C, e podem ser consideradas como superfícies negras.

- Calcule a potência radiativa que deve ser recebida (balanço) pelo fundo do gerador, de modo a que a sua temperatura seja de 110° C. Despreze o mecanismo do transporte molecular.
- Admitindo que a temperatura do aquecedor poderia ser aumentada (e, portanto, a sua potência), calcule o máximo caudal de vapor que o gerador pode produzir.
- Admita que as paredes do gerador são de vidro. O comportamento deste material à radiação incidente é dado na figura abaixo.



Diga se, nas condições da alínea a), o fundo do gerador pode ser considerado opaco. Justifique.

COTAÇÕES:

1° PROBLEMA:

- 3 val.
- 4 val.
- 1,5 val.
- 1,5 val.
- 1,5 val.

2° PROBLEMA:

- 4 val.
- 3 val.
- 1,5 val.