

Lista de exercícios – Caps. 11 a 13

TMEC-030 Transferência de Calor e Massa – Período especial 2017/2

1. (Incropera et al., 6 ed., 11.3) Um trocador de calor casco e tubos deve aquecer um líquido ácido que escoam em tubos não aletados com diâmetros interno e externo $D_i = 10$ mm e $D_e = 11$ mm, respectivamente. Um gás quente escoam pelo casco. Para evitar corrosão no material dos tubos, o engenheiro pode especificar a utilização de uma liga metálica Ni-Cr-Mo resistente à corrosão ($\rho_m = 8900$ kg/m³, $k_m = 8$ W/mK) ou de fluoreto de polivinilideno (PVDF) ($\rho_f = 1780$ kg/m³; $k_f = 0,17$ W/mK). Os coeficientes de transferência de calor interno e externo são $h_i = 1500$ W/m²K e $h_e = 200$ W/m²K, respectivamente.

a) Determine a razão entre as áreas das superfícies do plástico e do metal necessárias para transferir a mesma quantidade de calor. Resp: 1,52

b) Determine a razão entre as massas do plástico e do metal associadas aos projetos dos dois trocadores. Resp: 0,304

c) O custo da liga metálica por unidade de massa é três vezes maior do que o do plástico. Determine qual material do tubo deveria ser especificado com base no custo.

2. (Incropera et al., 6 ed., 11.4) Um tubo de aço ($k = 50$ W/mK) com diâmetros interno e externo $D_i = 20$ mm e $D_e = 26$ mm, respectivamente, é usado para transferir calor de gases quentes que escoam sobre um tubo ($h_g = 200$ W/m²K) para água fria que escoam através do tubo ($h_f = 8000$ W/m²K). Qual é o coeficiente global de transferência de calor baseado no fluido frio U_f ? Para melhorar a transferência de calor, 16 aletas planas, com perfil retangular, são instaladas longitudinalmente ao longo da superfície externa do tubo. As aletas encontram-se igualmente espaçadas ao redor da circunferência do tubo, cada uma possuindo uma espessura de 2 mm e um comprimento de 15 mm. Qual é o coeficiente global de transferência de calor correspondente? Resp: 249 W/m²K; 1140 W/m²K.

3. (Incropera et al., 6 ed., 11.10) Água, a uma vazão de 45.500 kg/h, é aquecida de 80 até 150°C em um trocador de calor que possui dois passes no casco e oito passes nos tubos, com uma área superficial total de 925 m². Gases quentes de exaustão, que possuem aproximadamente as mesmas propriedades termofísicas do ar, entram no trocador a 350°C e o deixam a 175°C. Determine o coeficiente global de transferência de calor. Resp: 29,5 W/m²K.

4. (Incropera et al., 6 ed., 11.16) Um trocador de calor bitubular (tubos concêntricos) em contracorrente é projetado para aquecer água de 20 a 80°C, utilizando óleo quente, que é alimentado na região anular a 160°C e retirado a 140°C. O tubo interno, com parede delgada, possui um diâmetro de $D_i = 20$ mm e o coeficiente global de transferência de calor é igual a 500 W/m²K. A condição de projeto exige uma taxa de transferência de calor total de 3000 W.

a) Qual é o comprimento do trocador de calor? Resp: 0,97 m

b) Após 3 anos de operação, o desempenho do trocador de calor é deteriorado pela presença de deposição no lado da água e a temperatura de saída da água é de somente 65°C para as mesmas vazões e temperaturas de entrada. Quais são os valores correspondentes da taxa de transferência de calor, da temperatura de saída do óleo, do coeficiente global de transferência de calor e do fator de deposição no lado da água, $R''_{d,f}$? Resp: 2250 W; 145°C; 338 W/m²K; $9,59 \times 10^{-4}$ m²K/W.

5. (Incropera et al., 6 ed., 11.22) Um trocador de calor casco e tubos deve ser projetado para aquecer 2,5 kg/s de água de 15 a 85°C. O aquecimento deve ser obtido pela passagem de óleo motor quente, que está disponível a 160°C, pelo lado do casco do trocador. Sabe-se que o óleo proporciona um coeficiente convectivo médio de $h_e = 400 \text{ W/m}^2\text{K}$ no lado externo dos tubos. A água é dividida em 10 tubos que atravessam o casco. Cada tubo possui parede delgada e diâmetro $D = 25 \text{ mm}$, e faz oito passes no casco. Se o óleo deixa o trocador a 100°C, qual é a sua vazão? Qual é o comprimento que os tubos devem ter para que o aquecimento desejado seja obtido? Resp: 5,19 kg/s; 37,5 m.

6. (Incropera et al., 6 ed., 11.32) Um trocador de calor com escoamento cruzado e único passe usa gases de exaustão quentes (misturados) para aquecer uma vazão de 3 kg/s de água (não misturada) de 30 até 80°C. Os gases de exaustão, que possuem propriedades termofísicas similares às do ar, entram e saem do trocador a 225 e 100°C, respectivamente. Sabendo que o coeficiente global de transferência de calor é de $200 \text{ W/m}^2\text{K}$, estime a área de transferência de calor necessária. Resp: 33,1 m².

7. (Incropera et al., 6 ed., 11.34) Um trocador de calor cruzado, usado em um procedimento de *bypass* cardiopulmonar, resfria sangue escoando a uma vazão de 5 litros/min de uma temperatura do corpo de 37°C até 25°C para induzir hipotermia do corpo, que diminui as exigências metabólicas e de oxigênio. O refrigerante é água gelada a 0°C e a sua vazão é ajustada para fornecer uma temperatura de saída de 15°C. O trocador de calor opera com os dois fluidos não-misturados e o coeficiente global de transferência de calor é igual a $750 \text{ W/m}^2\text{K}$. A massa específica e o calor específico do sangue são 1050 kg/m^3 e 3740 J/kgK , respectivamente.

a) Determine a taxa de transferência de calor no trocador. Resp: 3930 W

b) Calcule a vazão de água. Resp: 3,74 litros/min

c) Qual é a área da superfície do trocador de calor? Resp: 0,24 m².

8. (Incropera et al., 6 ed., 11.48) Um trocador de calor de escoamento cruzado com único passe, com os dois fluidos não-misturados, está sendo usado com os dois fluidos não-misturados, está sendo usado para aquecer água ($\dot{m}_f = 2 \text{ kg/s}$, $c_p = 4200 \text{ J/kgK}$) de 20°C para 100°C com gases de exaustão quentes ($c_p = 3200 \text{ J/kgK}$). Qual é a vazão mássica requerida dos gases de exaustão? Admita que UA é igual ao seu valor de projeto de $4700 \text{ W/m}^2\text{K}$, independentemente da vazão mássica de gás. Resp: 2,83 kg/s.

9. (Incropera et al., 6 ed., 11.56) Um trocador de calor bitubular utiliza água, disponível a 15°C, para resfriar etilenoglicol de 100 para 60°C. As vazões da água e do etilenoglicol são de 0,5 kg/s cada uma. Quais são as taxas de transferência de calor máxima possível e a efetividade do trocador de calor? Qual o modo de operação preferível, escoamento em paralelo ou escoamento em contracorrente?

10. (Incropera et al., 6 ed., 11.62) Um trocador de calor casco e tubos, com um passe no casco e dois passes nos tubos, é usado para transferir calor de uma solução de etilenoglicol-água (lado do casco), vinda de um coletor solar instalado no telhado, para água pura (lado dos

tubos) usada nas atividades normais da casa. Os tubos possuem diâmetros interno e externo de $D_i = 3,6$ mm e $D_e = 3,8$ mm, respectivamente. Cada um dos tubos tem 0,8 m de comprimento (0,4 m por passe) e o coeficiente de transferência de calor associado à mistura de etilenoglicol é de $h_e = 11000$ W/m²K.

a) Para tubos de cobre puro, calcule a taxa de transferência de calor da solução de etilenoglicol-água ($\dot{m} = 2,5$ kg/s, $T_{q,ent} = 80^\circ\text{C}$) para a água pura ($\dot{m} = 2,5$ kg/s, $T_{f,ent} = 20^\circ\text{C}$). Determine as temperaturas de saída das duas correntes de fluidos. A massa específica e o calor específico da mistura etilenoglicol-água são 1040 kg/m³ e 3660 J/kgK, respectivamente. Resp: 204 kW; 57,3°C; 42,7°C

b) Propõe-se substituir a matriz tubular de cobre por uma matriz composta por tubos de náilon resistente a altas temperaturas com os mesmos diâmetro e espessura de parede. O náilon é caracterizado por uma condutividade térmica de $k_n = 0,31$ W/mK. Determine o comprimento dos tubos necessários para transferir a mesma quantidade de calor da parte (a). Resp: 2,33 m.

11. (Incropera et al., 6 ed., 11.68) Em cirurgias com coração aberto sob condições hipotérmicas, o sangue do paciente é resfriado antes da cirurgia e reaquecido após a mesma. Propõe-se para este fim a utilização de um trocador de calor bitubular em contracorrente com 0,5 m de comprimento. O tubo interno possui parede delgada e um diâmetro de 55 mm. O calor específico do sangue é de 3500 J/kgK.

a) Se água a $T_{q,ent} = 60^\circ\text{C}$ e $\dot{m}_q = 0,10$ kg/s é usada para aquecer o sangue que entra no trocador a $T_{f,ent} = 18^\circ\text{C}$ e $\dot{m}_f = 0,05$ kg/s, qual é a temperatura do sangue ao deixar o trocador de calor? O coeficiente global de transferência de calor é de 500 W/m²K.

12. (Incropera et al., 6 ed., 11.72) Um trocador de calor é formado por uma matriz com 1200 tubos com paredes delgadas sobre os quais ar escoar em escoamento cruzado. Os tubos estão posicionados em linha, perfazendo 40 colunas longitudinais (ao longo da direção do escoamento do ar) e 30 linhas transversais. Os tubos possuem 0,07 m de diâmetro e 2 m de comprimento, com passos transversal e longitudinal de 0,14 m. O fluido quente, escoando no interior dos tubos, é vapor d'água saturado, que condensa a 400 K. O coeficiente de transferência de calor por convecção no vapor em condensação é muito maior do que aquele no lado do ar.

a) Se o ar entra no trocador de calor a $\dot{m}_f = 12$ kg/s, 300 K e 1 atm, qual é a sua temperatura de saída? Resp: 104°C.

13. (Incropera, 4ed., ex.13.39) Considere duas placas horizontais paralelas muito grandes com superfícies cinzas e difusas. A placa superior encontra-se a 1000 K e possui emissividade igual a 1,0; a placa inferior encontra-se a 500 K e possui emissividade igual a 0,8. Determine a irradiação e a radiosidade na placa superior. Qual é a radiosidade na placa inferior? Qual é a troca líquida de radiação entre as placas por unidade de área das mesmas?

14. (Incropera, 4 ed., ex. 13.50) Oxigênio líquido é armazenado em um recipiente esférico com parede delgada e 0,8 m de diâmetro, que está encerrado no interior de um segundo recipiente esférico também com parede fina e 1,2 m de diâmetro. As superfícies dos recipientes são cinzas, difusas e opacas, com uma emissividade de 0,05 e há vácuo no espaço entre elas. Se a superfície externa está a 280 K e a superfície interna está a 95 K, qual é a taxa

mássica de perda de oxigênio devido à evaporação? (O calor latente de vaporização do oxigênio é de $2,13 \times 10^5$ J/kg) (Resp: $1,14 \times 10^{-4}$ kg/s).

15. (Incropera et al., 6 ed., 13.30) Dois discos planos coaxiais estão separados por uma distância $L = 0,20$ m. O disco inferior (A_1) é sólido e possui um diâmetro de $D_e = 0,80$ m e uma temperatura $T_1 = 300$ K. O disco superior (A_2), à temperatura $T_2 = 1000$ K, possui o mesmo diâmetro externo, mas tem a forma de um anel com diâmetro interno $D_i = 0,40$ m. Admitindo que os discos sejam corpos negros, calcule a troca líquida de calor por radiação entre eles. (Resp: 11,87 kW).

16. (Incropera et al., 6 ed., 13.38) Um processo de fabricação exige o aquecimento de longos bastões de cobre, que são revestidos por uma fina película com $\varepsilon = 1$, colocando-os no interior de um grande forno, cuja superfície é mantida a 1650 K e há vácuo no seu interior. Os bastões têm 10 mm de diâmetro e são colocados no forno a uma temperatura inicial de 300 K. Qual é a taxa inicial de variação de temperatura do bastão? (Resp: 48,8 K/s).

17. (Incropera et al., 6 ed., 13.62) Uma barreira de radiação difusa e cinza, com 60 mm de diâmetro e emissividades $\varepsilon_{2,i} = 0,01$ e $\varepsilon_{2,e} = 0,1$ nas superfícies interna e externa, respectivamente, é concêntrica a um longo tubo que transporta um fluido de processo quente. A superfície do fluido é negra e possui um diâmetro de 20 mm. Há vácuo na região interna da barreira. A superfície externa da barreira está exposta a uma grande sala, cujas paredes estão a 17°C , e experimenta transferência de calor por convecção com o ar a 27°C , com um coeficiente convectivo de 10 W/m²K. Determine a temperatura de operação do tubo interno se a temperatura da barreira for mantida a 42°C . (Resp: 472°C)

18. (Incropera et al., 6 ed., 13.76) Um forno cúbico, com 2 m de lado, é usado para tratar termicamente uma placa de aço. A superfície superior do forno é formada por aquecedores elétricos radiantes que possuem uma emissividade de 0,8 e são alimentadas por uma potência de $1,5 \times 10^5$ W. As paredes laterais são construídas com um material refratário isolado termicamente, enquanto a base é a placa de aço, que possui uma emissividade de 0,4. Admita um comportamento de superfície cinza e difusa para o aquecedor e a placa e considere condições nas quais a placa está a 300 K. Quais são as temperaturas correspondentes na superfície do aquecedor e nas paredes laterais? (Resp: 1228 K; 1117 K).