UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

TM-225 Linguagem de Programação I

Professor **Luciano Kiyoshi Araki**

(sala 7-30/Lena-2, lucaraki@ufpr.br, lucianoaraki@gmail.com, fone: 3361-3126)

Internet: ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM225/luciano

LISTA DE EXERCÍCIOS 01 (2011/2)

(TURMA B)

OBSERVAÇÕES:

(1) **Esta lista deve ser executada individualmente ou em duplas.**

(2) **Apresentar o trabalho na forma de arquivo eletrônico, pessoalmente ou por e-mail. Em cada planilha do arquivo deve ser apresentada uma única questão. Identifique de modo claro cada equação/consideração/dado de entrada utilizado.**

(3) **Os dados de entrada fornecidos (temperaturas, velocidades e demais propriedades físicas) devem ser informados uma única vez em cada questão. Utilizar referências absolutas onde couber; na ausência de referências absolutas, haverá desconto no conceito final.**

(4) **Determinadas variáveis possuem definições diferentes em cada questão. Isto se deve ao fato de que, na elaboração das questões, foi adotada a simbologia mais comumente empregada para cada conceito/caso. Portanto, atenção na simbologia de cada questão.**

(5) **DATA DE ENTREGA: 21/10/2011.**

QUESTÃO 01 (valor: 20).

Dentre os mecanismos de transferência de calor, a radiação é a único que não necessita de um meio material para ocorrer. Para sua modelagem, são estudadas as propriedades de corpos negros, que se constituem em corpos ideais, que apresentam como características:

(1) Trata-se de um absorvedor ideal (o corpo negro absorve toda a energia nele incidente).

(2) Trata-se de um emissor ideal (nenhum corpo, à mesma temperatura, é capaz de emitir mais energia que um corpo negro).

(3) Trata-se de um emissor difuso (não existe direção preferencial na emissão de um corpo negro).

Para o estudo da emissão de um corpo negro, Planck (em 1900), determinou uma expressão para a chamada intensidade espectral de um corpo negro ($I_{\lambda,cn}$)

$$I_{\lambda,cn}(\lambda,T)=\frac{2hc_o^2}{\lambda^5\left[\exp(hc_o/\lambda kT)-1\right]}, \tag{1.1}$$

que é uma função do comprimento de onda λ, dado em micrômetros [μm], e da temperatura absoluta *T*, dado em Kelvins [K]. Na Eq. (1.1), tem-se que: *h* é a constante universal de Planck, cujo valor é de 6,626x10^{-34} J·s; *k* é a constante universal de Boltzmann, cujo valor é de 1,381x10^{-23} J/K; e c_o é a velocidade da luz no vácuo, cujo valor aproximado é de 2,998x10^{8} m/s. A partir da integração da Eq. (1) sobre para uma superfície hemisférica, obtém-se o chamado poder emissivo espectral ($E_{\lambda,cn}$), dado por

$$E_{\lambda,cn}(\lambda,T)=\frac{2\pi\, hc_o^2}{\lambda^5\left[\exp(hc_o/\lambda kT)-1\right]}. \tag{1.2}$$

Com base na Eq. (1.2), plote um gráfico log-log com o poder emissivo espectral $E_{\lambda,cn}$ [W/m^2·μm] em função do comprimento de onda λ [μm]. Considere os seguintes valores para a temperatura *T*: 50 K, 100 K, 300 K, 1000 K, 3000 K, 6000 K. Para a plotagem do gráfico, utilize comprimentos de onda entre 0,1 e 1000 μm.

QUESTÃO 02 (valor: 45).

A condução de calor em superfícies estendidas (aletas) é um importante caso estudado em transferência de calor, envolvendo a condução de calor no interior de um sólido e a convecção (e/ou radiação) nas fronteiras desse sólido. Tais superfícies são empregadas para aumentar o calor trocado entre um sólido e um fluido (ou ambiente), pela maximização da área de contato em que ocorre o processo de transferência de calor. Aletas são comumente observadas em refrigeradores, radiadores de automóveis/motocicletas e computadores (coolers), entre outras aplicações. Matematicamente, o fenômeno é modelado através da seguinte equação diferencial (Incropera et al., 2008):

$$\frac{d^2T}{dx^2}+\left(\frac{1}{A_{tr}}\frac{dA_{tr}}{dx}\right)\frac{dT}{dx}-\left(\frac{1}{A_{tr}}\frac{h}{k}\frac{dA_s}{dx}\right)(T-T_\infty)=0\,, \tag{2.1}$$

sendo T a temperatura [K]; x a posição ao longo da aleta [m]; A_{tr} a área da seção transversal da aleta [m^2]; h o coeficiente convectivo [W/m^{2}K]; k a condutividade térmica do material da aleta [W/mK]; A_s a área superficial em contato com o fluido [m^2]; e T_∞ a temperatura do fluido [K]. No caso de uma aleta de seção transversal uniforme, a equação anterior pode ser simplificada fornecendo:

$$\frac{d^2T}{dx^2}-\frac{hP}{kA_{tr}}(T-T_\infty)=0\,, \tag{2.2}$$

onde P é o perímetro da seção transversal da aleta [m]. Essa equação diferencial apresenta solução analítica, considerando-se as propriedades constantes. No caso mais realístico, que envolve a transferência de calor convectiva na ponta da aleta, obtém-se a seguinte expressão:

$$T(x)=T_\infty+(T_b-T_\infty)\frac{\cosh[m(L-x)]+\left(\frac{h}{mk}\right)\sinh[m(L-x)]}{\cosh(mL)+\left(\frac{h}{mk}\right)\sinh(mL)}\,, \tag{2.3}$$

sendo T_b a temperatura da base da aleta [K]; L o comprimento total da aleta [m]; e m um parâmetro adimensional, estimado através da seguinte relação:

$$m=\left(\frac{hP}{kA_{tr}}\right)^{1/2}. \tag{2.4}$$

Já o desempenho da aleta é verificado estimando-se sua eficiência, que relaciona a taxa real de trocas térmicas ocorridas na aleta com a taxa máxima teórica, que seria obtida se toda a aleta possuísse a mesma temperatura observada em sua base. Considerando-se uma aleta do tipo plana, com seção transversal retangular, a eficiência (η) pode ser estimada pela seguinte expressão

$$\eta = \frac{\tanh(mL_c)}{mL_c}, \tag{2.5}$$

onde L_c é o comprimento corrigido da aleta [m], dado por $L_c = L + (t/2)$, sendo t a espessura da aleta [m].

1. A partir das informações anteriores, considere uma aleta retangular, de cobre (k = 400 W/mK), de comprimento L = 0,200 m, perímetro P = 0,110 m, área de seção transversal A_{tr} = 2,5x10^{-4} m^2 e espessura t = 0,005 m. Esta aleta possui temperatura de base T_b = 400 K, estando imersa em um ambiente cuja temperatura é T_∞ = 300 K e que oferece um coeficiente convectivo h = 100 W/m^{2}K. Neste contexto, calcule a temperatura em cada ponto da aleta, para intervalos de 0,005 m. A seguir, faça um gráfico da temperatura (eixo vertical) *versus* posição.

2. Mantenha todas as informações do item anterior inalteradas, exceto pelo comprimento L, que apresentará uma faixa de valores, variando de 0,020 a 0,500 m, com um passo de 0,020 m. Neste contexto, calcule a temperatura na extremidade da aleta (x = L) e compare o valor obtido com o caso limite, no qual considera-se uma aleta de comprimento infinito. No caso de uma aleta de comprimento infinito, a temperatura é obtida através da seguinte expressão

$$T(x) = T_\infty + (T_b - T_\infty)\exp(-mx) \tag{2.6}$$

e informe se a diferença entre a temperatura dada pela expressão (2.3) e a dada pela expressão (2.4) é inferior a 1% (tolerância). Utilize, para tanto, a função lógica "se". A diferença percentual é definida como:

$$dif = \left| \frac{T_{x=L}\big|_{\text{convectiva}} - T_{x=L}\big|_{\text{comp.infinito}}}{T_{x=L}\big|_{\text{convectiva}}} \right| \times 100\% \tag{2.7}$$

3. Mantenha todas as informações do item (1) inalteradas, exceto pelo comprimento L da aleta, que apresentará uma faixa de valores, variando de 0,000 a 0,500 m, com um passo de 0,025 m. Neste contexto, calcule a eficiência da aleta, para cada comprimento. Plote um gráfico da eficiência (eixo vertical) *versus* alpha, sendo *alpha* definido como

$$alpha = L_c^{3/2} \left(\frac{h}{k L_c t} \right)^{1/2}. \tag{2.8}$$

QUESTÃO 03 (valor: 35).

A convecção de calor ocorre através da movimentação de um fluido sobre uma determinada superfície, estando o fluido e a superfície a diferentes temperaturas. O estudo desse mecanismo de transferência de calor é bastante importante para o projeto de diferentes equipamentos como, por exemplo, os trocadores de calor. A lei básica que rege as trocas térmicas por convecção é conhecida como Lei de Newton do Resfriamento, dada por:

$$q = h A \left(T_{\text{sup}} - T_{\infty} \right), \tag{3.1}$$

onde: q é a taxa de transferência de calor [W]; h é o coeficiente de transferência de calor por convecção ou coeficiente convectivo [W/m^2·K], A é a área de troca térmica [m^2]; T_{sup} é a temperatura da superfície [ºC ou K]; e T_{∞} é a temperatura do fluido em escoamento livre (não afetada pela temperatura da superfície) [ºC ou K]. Dentre as variáveis anteriormente citadas, destaca-se o coeficiente convectivo, que se constitui no mais importante parâmetro para o estudo da convecção de calor, sendo dependente, dentre outros fatores:

(1) Da geometria dos elementos no escoamento (placas planas, cilindros, feixes de cilindros, esferas, entre outros).

(2) Das condições de escoamento (laminar, transição, turbulento).

(3) Do tipo de escoamento (interno, externo).

(4) Do tipo de convecção (natural, forçada, mista, com mudança de fase).

A partir desse contexto, considere um experimento conduzido com um cilindro metálico, aquecido internamente por um aquecedor elétrico de tal forma que sua superfície seja mantida a uma temperatura constante T_{sup}. Tal cilindro é submetido a um escoamento de ar, a uma temperatura T_∞, no interior de um túnel de vento. Deseja-se avaliar qual a potência dissipada pelo cilindro para diferentes velocidades u do escoamento de ar. Para tanto, será empregada a correlação proposta por Zukauskas, cuja forma é:

$$\overline{Nu} = C \, \mathrm{Re}^m \, \mathrm{Pr}^n \left(\frac{\mathrm{Pr}}{\mathrm{Pr}_{\mathrm{sup}}} \right)^{1/4}, \tag{3.2}$$

onde: $\overline{Nu}$ é o número de Nusselt médio [adimensional]; Re é o número de Reynolds [adimensional]; Pr é o número de Prandtl [adimensional]; $\mathrm{Pr}_{\mathrm{sup}}$ é o número de Prandtl na superfície do cilindro [adimensional]; n é um expoente que depende do número de Prandtl: se $\mathrm{Pr} \leq 10$, n = 0,37 e se Pr >10, n = 0,36; e C e m são constantes que dependem do número de Reynolds, conforme apresentado na tabela a seguir:

Re	***C***	***m***
1 – 40	0,75	0,4
40 – 1000	0,51	0,5
$1\text{x}10^3 – 2\text{x}10^5$	0,26	0,6
$2\text{x}10^5 – 1\text{x}10^6$	0,076	0,7

O número de Reynolds (Re) se constitui em uma razão entre as forças de inércia e as forças viscosas que atuam em um dado escoamento, sendo avaliado através da seguinte relação:

$$\mathrm{Re} = \frac{\rho \, u \, D}{\mu}, \tag{3.3}$$

onde: ρ é a massa específica do fluido [kg/m^3]; u é a velocidade do escoamento [m/s]; D é um comprimento característico, que no caso de um cilindro é o seu diâmetro [m]; e μ é a viscosidade do fluido [Pa·s].

O número de Nusselt ($\overline{Nu}$), por sua vez, está relacionado ao coeficiente convectivo h através da seguinte expressão:

$$\overline{Nu} = \frac{h \, D}{k}, \tag{3.4}$$

onde k é a condutividade térmica do fluido [W/m·K].

O cilindro empregado possui diâmetro D = 20 mm e comprimento L = 100 mm; suas bases não trocam calor com o ar do túnel de vento. A temperatura superficial do cilindro T_{sup} é mantida a 400 K, com Pr_{sup} = 0,690, enquanto o ar possui temperatura T_∞ = 300K, viscosidade μ = 184,6x10^{-7} Pa·s, número de Prandtl Pr = 0,707, massa específica ρ = 1,1614 kg/m^3 e condutividade térmica k = 26,3x10^{-3} W/m·K. Avalie os valores do coeficiente convectivo h e da taxa de transferência de calor q para diferentes velocidades de escoamento do ar. Para tanto, empregue uma planilha eletrônica e, onde couber, utilize a função lógica "se". As velocidades do ar u a serem empregadas são: 0,01; 0,02; 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1; 2; 5; 10; 20; 50; 100; 200; 500. Plote um gráfico do tipo log-log, para a taxa de transferência de calor q em função da velocidade u.