ANEXO V

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE	
FICHA DE EXPECTATIVA DE RESPOSTA DA PROVA ESCRITA	
Edital nº:	035/2017-PROGESP
Carreira:	(X) MAGISTÉRIO SUPERIOR ( ) MAGISTÉRIO EBTT
Unidade Acadêmica:	Departamento de Engenharia Mecânica – Centro de Tecnologia
Área de Conhecimento:	Máquinas Térmicas

CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO PARA TODAS AS QUESTÕES DISCURSIVAS

- Clareza e propriedade no uso da linguagem;
- Coerência e coesão textual;
- Domínio dos conteúdos, evidenciando a compreensão dos temas objeto da prova;
- Domínio e precisão no uso de conceitos;
- Coerência no desenvolvimento das ideias e capacidade argumentativa.

QUESTÃO 1: valor (0,00 a 2,50 pts)

a) **(Valor: 0,30)** Disserte sobre o modelo de Corpo Negro (CN), usado como padrão em radiação térmica.
b) **(Valor: 0,30)** Comente sobre absorção, reflexão e emissão.
c) **(Valor: 0,30)** Apresente a Lei de Planck, a Lei de Deslocamento de Wien, bem como uma equação para o poder emissivo total.
d) **(Valor: 0,30)** Mostre graficamente a variação do poder emissivo espectral em função do comprimento de onda para um CN na temperatura aparente do Sol (5800 K) e para um CN na temperatura ambiente (300 K).
e) **(Valor: 0,30)** Indique neste gráfico as regiões ultravioleta, visível e infravermelha do espectro, com os comprimentos de onda que as delimitam.
f) **(Valor: 0,20)** Indique também os valores dos comprimentos de onda de máxima emissão.
g) **(Valor: 0,20)** Comente os pontos relevantes destas curvas.
h) **(Valor: 0,30)** O que você entende por corpo cinza?
i) **(Valor: 0,30)** Comente aspectos relevantes relacionadas às suas características espectrais e totais de emissão, absorção e de reflexão.

a) **(Valor: 0,30)** O Corpo Negro (CN) é o padrão usado em radiação térmica, sendo definido como corpo ou superfície que absorve toda a radiação incidente, independente do comprimento de onda e da direção de incidência. Desta forma não ocorre reflexão desta radiação, de forma que o CN é um absorvedor e um emissor perfeito. Como consequência desta definição, pode-se provar que o CN emite mais do que qualquer outra superfície não negra, a uma dada temperatura e comprimento de onda. Ainda, a radiação térmica é um emissor difuso, ou seja, apesar da radiação térmica ser função da temperatura e do comprimento de onda, ela é independente da direção. Portanto, o CN é utilizado como referencia ao qual as propriedades radiantes de superfícies reais podem ser comparadas.

b) **(Valor: 0,30)** Quando uma energia radiante atinge uma superfície de um material, parte da radiação é absorvida, parte é refletida e parte é transmitida. A somatória da absorvidade, da refletividade e da transmissividade é igual a 1. Como muitos corpos sólidos não transmitem radiação térmica, pode-se considerar que a transmividade ser considerada nula. Se o ângulo de incidência da radiação incidente for igual ao ângulo de reflexão tem-se reflexão especular; se o raio incidente for distribuído uniformemente a reflexão será em todas as direções, portanto é difusa.

A emissão da energia radiante é definida como a energia emitida pelo corpo. Nenhuma superfície real possui exatamente as propriedades de um Corpo Negro (CN). A melhor aproximação é alcançada no interior de uma cavidade, com um volume vazio com uma pequena abertura, cuja superfície interna se encontra a uma temperatura uniforme. Se a radiação entrar (incidente) na cavidade, por uma pequena abertura, é muito provável que ocorra muitas reflexões até que saia passando novamente pela pequena abertura. Dessa forma a radiação térmica é totalmente absorvida pela cavidade, se aproximando assim do comportamento de um corpo negro. Considerando os princípios da termodinâmica, pode-se argumentar que a radiação que deixa a cavidade, pela abertura pequena, depende somente da temperatura da superfície e corresponde a emissão de um corpo negro. Uma vez que a emissão de um corpo negro é difusa, a intensidade espectral que deixa a cavidade é independente da direção. Além disso, uma vez que o campo radiante no interior da cavidade, que é o efeito cumulativo da emissão e da reflexão a partir da superfície da cavidade, deve possuir a mesma forma da radiação que emerge da pequena abertura, segue-se que existe um campo de radiação de corpo negro no interior da cavidade, de forma que qualquer superfície pequena na superfície da cavidade experimenta uma radiação, a qual é irradiada de forma difusa, independente da sua direção.

Basicamente, a absortividade ALPHA é uma propriedade que determina a fração da irradiação que é absorvida por uma superfície. A determinação dessa propriedade é complicada, pelo fato de que como a emissão, é pode ser caracterizada tanto por uma dependência direcional quanto por uma dependência espectral. Está implícito na absortividade espectral direcional que as superfícies podem exibir uma absorção seletiva com relação ao comprimento de onda e à direção da radiação incidente. Portanto, a absortividade é praticamente independente da temperatura superficial.

Entretanto, a emissividade é uma propriedade fortemente dependente da temperatura.

A refletividade é uma propriedade que determina a fração da radiação incidente que é refletida por uma superfície, a qual é inerentemente bidirecional, pois depende da direção da radiação incidente assim como depende da direção da radiação refletida.

Importante, definir-se a transmissividade, a qual está relacionada com a componente espectral, da tal forma que a soma da absortividade, da refletividade e da transmisssividade é igual a 1.

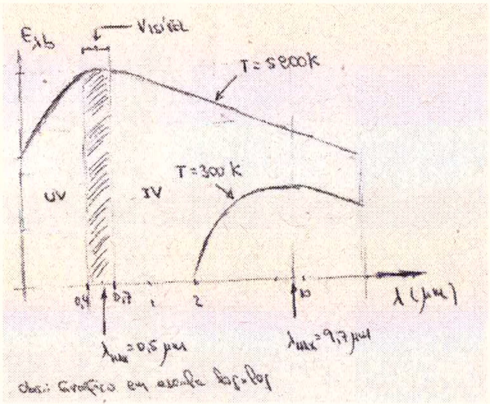
c) (**Valor: 0,30**) A Lei de Planck fornece o poder emissivo espectral do CN em função do comprimento de onda (λ) e da temperatura absoluta (T); C_1 e C_2 são constantes:

$$E_{\lambda b} = \frac{C_1}{\lambda^5[\exp(C_2/\lambda T) - 1]};$$

A Lei de Deslocamento de Wien é dada por $\lambda_{max}\, T = 2898$ μm K, sendo λ_{max}, o comprimento de onda de máxima emissão e T a temperatura absoluta.

O poder emissivo total é dado por $E_b = \sigma\, T^4$, sendo $\sigma = 5{,}67.10^{-8}\ W/m^2K^4$ a constante de Stefan-Boltzmann e T a temperatura absoluta.

d) (Valor: 0,30) Graficamente a variação do poder emissivo espectral em função do comprimento de onda para um CN na temperatura aparente do Sol (5800 K) e para um CN na temperatura ambiente (300 K).



e) (**Valor: 0,30**) A curva relativa à temperatura de 300 K indica que a emissão espectral ocorre apenas no infravermelho, com o máximo em 9,7 μm. Para a temperatura de 5800 K a emissão espectral se desloca para a esquerda, envolvendo as três regiões do espectro.

f) **(Valor: 0,20)** O seu ponto de máxima emissão espectral em 0,5 μm, na região visível.

g) **(Valor: 0,20)** Como o poder emissivo total depende da temperatura na quarta potência e representa a área sob a curva, o seu valor a T = 5800 K é muito superior ao seu valor a T = 300 K.

h) **(Valor: 0,30)** Uma superfície difusora cinza possui a característica de não variação de suas propriedades com a direção pelo fato de serem difusoras.

i) **(Valor: 0,30)** Sendo cinza, suas propriedades espectrais independem do comprimento de onda. Desta forma suas propriedades espectrais (emissividade, absortividade, refletividade e transmissividade), se igualam às suas propriedades totais. Pela Lei de Kirchhoff se pode demonstrar a igualdade entre a emissividade e a absortividade.

<u>QUESTÃO 2</u>: valor (0,00 a 2,50 pts)

Considere uma esfera maciça de raio R_2, em regime permanente, com taxa volumétrica de geração de calor constante (q_{ger} [W/m^3]) no núcleo de raio R_1, condução de calor sem geração entre os raios R_1 e R_2, e convecção com o ar ambiente à temperatura T_∞. Considere $R_1 \sim R_2/2$.

a) **(Valor: 0,60)** Realizando balanço de energia obtenha uma equação para a temperatura $T_2 = T(r=R_2)$, na superfície da esfera, em função da taxa de geração q_{ger}, da condutividade térmica do material e do coeficiente de troca de calor por convecção h;

b) **(Valor: 0,60)** Usando a Lei de Fourier para a condução, obtenha uma equação para a distribuição de temperatura da esfera, T(r), para o trecho entre os raios R_1 e R_2, onde não há geração de calor, em função da taxa total gerada na parte interna de raio R_1, $q_{ger\ total}$. Usar $T_2 = T(r=R_2)$ como condição de contorno. Obtenha também uma equação para a temperatura $T_1 = T(r=R_1)$, em função de T_2;

c) **(Valor: 0,60)** Usando a Lei de Fourier e um balanço de energia para um raio genérico r, obtenha uma equação para a distribuição de temperatura para $0 \leq r \leq R_1$. Use $T_1 = T(r = R_1)$ como condição de contorno. Obtenha uma equação para a temperatura $T_0 = T(r=0)$;

d) **(Valor: 0,70)** Trace um gráfico mostrando a distribuição de temperatura em função do raio, de r = 0 até um ponto no ambiente além de $r = R_2$. Comente sobre a forma da curva nos distintos trechos, enfatizando os valores da derivada nos pontos r = 0; $r = R_1$ e $r = R_2$, bem como a variação desta derivada.

(Valor: 0,60)

a) $T_2 = ?$

$$q_{ger} Vol = q_{ger} \cdot \frac{4}{3}\pi R_1^3 = h\, 4\pi R_2^2 (T_2 - T_\infty)$$

$$\boxed{T_2 = T_\infty + \frac{1}{3} q_{ger} R_1^3 / h R_2^2}$$

(Valor: 0,60)

b) DISTRIBUIÇÃO DE TEMPERATURA : $R_1 \leq r \leq R_2$

$$q_{ger\,tot} = q_{ger} \cdot \frac{4}{3}\pi R_1^3 = q_k$$

$$q_k = -k \cdot 4\pi r^2 \frac{dT}{dr}$$

$$-k \frac{dT}{dr} = q_{ger\,tot} \cdot \frac{1}{4\pi r^2}$$

$$-k \int_{T}^{T_2} dT = \frac{q_{ger\,tot}}{4\pi} \int_{r}^{R_2} \frac{1}{r^2}\, dr$$

$$-k (T_2 - T) = \frac{q_{ger\,tot}}{4\pi} \left(-\frac{1}{r}\right)\Bigg]_{r}^{R_2} = \frac{q_{ger\,tot}}{4\pi} \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{R_2}\right)$$

$$\boxed{T = T_2 + \frac{q_{ger\,tot}}{4\pi k}\left(\frac{1}{r} - \frac{1}{R_2}\right)}$$

Para $T = T_1$

$$\boxed{T_1 = T_2 + \frac{q_{ger\,tot}}{4\pi k}\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right)}$$

(Valor: 0,60)

c) DISTRIBUIÇÃO DE TEMPERATURA : $0 \leq r \leq R_1$

$$q_{ger\,tot} = q_{ger} \cdot \frac{4}{3}\pi R_1^3 = q_k$$

$$q_k = -k \cdot 4\pi r^2 \frac{dT}{dr}$$

$$-k \frac{dT}{dr} = q_{ger} \frac{r}{3} \Rightarrow -k\, dT = \frac{1}{3} q_{ger}\, r\, dr$$

$$-k \int_{T}^{T_1} dT = \frac{1}{3} q_{ger} \int_{r}^{R_1} r\, dr$$

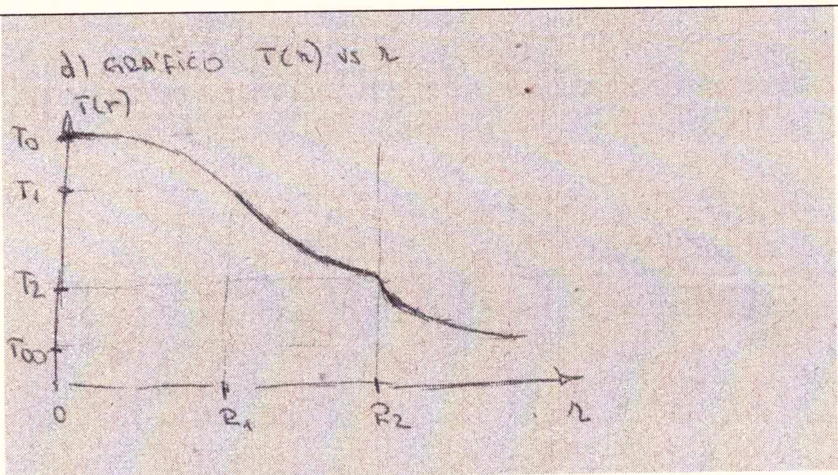
$$-k (T_1 - T) = \frac{1}{6} q_{ger} (R_1^2 - r^2)$$

$$\boxed{T = T_1 + \frac{q_{ger}}{6k}(R_1^2 - r^2)}$$

Para $T(r=0) = T_0$

$$\boxed{T_0 = T_1 + \frac{q_{ger}}{6k} R_1^2}$$

(Valor: 0,70)



A curva possui um ponto de máximo em $r = 0$, com fluxo de calor nulo no local. A partir deste ponto até R_1 há o fluxo de calor gerado no volume interno que deve fluir para a superfície externa da esfera, gerando um perfil de temperatura parabólico. Embora a área aumente com o quadrado do raio, a geração acumulada aumenta com o raio ao cubo, levando a um crescimento linear da derivada dT/dr.

A partir de R_1 não há mais geração e a taxa que flui permanece constante. Assim a área aumenta com o quadrado do raio e a derivada é reduzida com o inverso, de forma a satisfazer a Lei de Fourier. Sendo o material o mesmo, há uma concordância das derivadas em $r = R_1$. Após R_2 há troca por convecção com o ar ambiente, havendo uma queda assintótica da temperatura do ar.

QUESTÃO 3: valor (0,00 a 2,50 pts)

Mostre que o escoamento de um fluido incompressível e viscoso, através de uma tubulação horizontal com diâmetro constante e isolada termicamente, é um processo irreversível.

(Valor: 2,50) Considere um trecho de comprimento L da tubulação, entre as seções 1 e 2, através do qual tem-se o escoamento completamente desenvolvido de um fluido incompressível e viscoso.

Para a condição de regime permanente entre as seções 1 e 2 da tubulação, a Equação da conservação da massa estabelece que a vazão mássica em cada seção transversal é constante.

A Primeira Lei da Termodinâmica fica:

$$\frac{\dot{W}_{cv}}{\dot{m}} = \frac{\dot{Q}_{cv}}{\dot{m}} + (h_1 - h_2) + \left(\frac{V_1^2 - V_2^2}{2}\right) + g(z_1 - z_2) \qquad (1)$$

Com as hipóteses apresentadas no enunciado da questão, bem como considerando que $W_{cv}=0$, a Equação 1 fica:

$h_1 = h_2$ (2)

Da definição de entalpia específica:

$u_1+p_1/\rho = u_2+p_2/\rho$ (3)

ou seja:

$u_2-u_1 = (p_1-p_2)/\rho$

Como, para fluido incompressível:

$du=c\,dT$ (4)

$u_2-u_1 = c\,(T_2-T_1) = (p_1-p_2)/\rho$ (5)

Considerando um valor médio de calor específico no intervalo de T_2 e T_1. Dessa forma:

$T_2 = T_1 + (p_1-p_2)\,/\rho$ □ (6)

A expressão da 2a Lei aplicada entre as seções 1 e 2, para escoamento adiabático e por unidade de vazão mássica fica:

$s_2 - s_1 = s_{gerado}$ (7)

Como Tds = du + pdv (8)

Para o fluido incompressível:

dv = 0 (9)

portanto:

ds = c dT/T,

e:

$s_2 - s_1 = c\ \ln(T_2/T_1) = s_{gerado}$ (10)

Substituindo a expressão de T_2 na equação 10,

$s_{gerado} = c\ \ln((T_1 + (p_1 - p_2)/\rho\ \square)/T_1)$,

ou seja,

$s_{gerado} > 0$

e portanto o processo é irreversível

QUESTÃO 4: valor (0,00 a 2,50 pts)

Descreva como se obtêm a equação de Bernoulli utilizando a Primeira e Segunda Leis da Termodinâmica.

(Valor: 2,50) Considere um volume de controle que engloba um trecho de uma tubulação horizontal e com diâmetro constante através da qual tem-se o escoamento completamente desenvolvido de um fluido.

Para a condição de regime permanente entre as seções 1 e 2 da tubulação, a Equação da conservação da massa estabelece que a vazão mássica em cada seção transversal é constante.

A Primeira Lei da Termodinâmica fica:

$$\frac{\dot{W}_{cv}}{\dot{m}} = \frac{\dot{Q}_{cv}}{\dot{m}} + (h_1 - h_2) + \left(\frac{V_1^2 - V_2^2}{2}\right) + g(z_1 - z_2) \qquad (1)$$

Considerando ainda um escoamento internamente reversível, a Segunda Lei da Termodinâmica fornece:

$$\left(\frac{\dot{Q}_{cv}}{\dot{m}}\right)_{\substack{int\\rev}} = \int_1^2 T\,ds \qquad (2)$$

E, pela expressão:

$$T\,ds = dh - v\,dp \qquad (3)$$

Pode-se escrever:

$$\int_1^2 T\,ds = (h_2 - h_1) - \int_1^2 v\,dp \qquad (4)$$

Levando-se esta expressão na Primeira Lei da Termodinâmica, tem-se:

$$\left(\frac{\dot{W}_{cv}}{\dot{m}}\right)_{\substack{int\\rev}} = -\int_1^2 v\,dp + \left(\frac{V_1^2 - V_2^2}{2}\right) + g(z_1 - z_2) \qquad (5)$$

Quando $W_{cv}=0$, a equação 5 fica:

$$\int_1^2 v\,dp + \left(\frac{V_2^2 - V_1^2}{2}\right) + g(z_2 - z_1) = 0$$ (6) Que, para o caso de escoamento de um fluido incompressível, adquire a forma da conhecida equação de Bernoulli.

Assinatura dos Membros da Comissão	1º membro (Presidente): Paulo Gilberto de Paula Toro 2º membro: Silvio de Oliveira Junior 3º membro: Edson Bazzo