

PROCESSO SELETIVO – _04 _/ _2026 _

Área de Conhecimento: __ Sistemas Termo Fluidos _____

PROVA ESCRITA – PADRÃO DE RESPOSTA

QUESTÃO 1: _____

PADRÃO DE RESPOSTA: (ADAPTAÇÃO DO EXEMPLO 10.1 DO LIVRO “Stoecker, W. F., & Jones, J. W. Refrigeração e Ar Condicionado. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1985.”)

Considere inicialmente um esquema do ciclo de refrigeração por compressão a vapor representado no diagrama P x h (pressão x entalpia) na figura 1 a seguir:

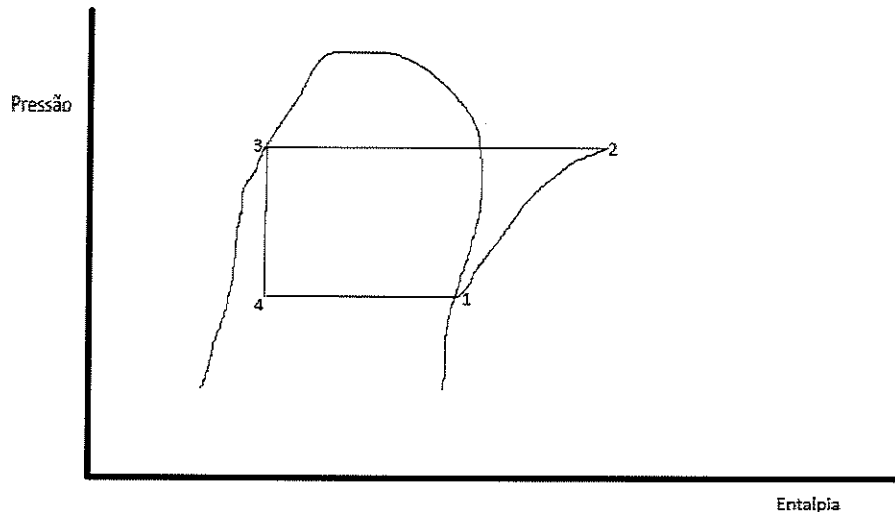


Figura 1

Inicialmente é necessário aplicar os balanços de energia e entropia para cada componente do ciclo, a saber:

Compressor (processo 1-2)

$$W_c = m(h_1 - h_2) \text{ (primeira lei da termodinâmica)}$$

$$s_2 = s_1 \text{ (segunda lei da termodinâmica)}$$

Evaporador (processo 4-1):

$$Q_e = m(h_1 - h_4) \text{ (primeira lei da termodinâmica)}$$

Dispositivo de estrangulamento (válvula de expansão/tubo capilar) (processo 3-4)

$$h_4 = h_3 \text{ (primeira lei da termodinâmica)}$$

A seguir é necessário a determinação das propriedades termodinâmicas do fluido R22 nos estados (tabelas A6 e A7):

Com $T_1 = -10^\circ\text{C}$ (vapor saturado) obtém-se de A6 $h_1 = 401,6 \text{ kJ/kg}$ e $s_1 = 1,767 \text{ kJ/kg.K}$;

Com $T_3 = 35^\circ\text{C}$ (líquido saturado) obtém-se de A6 $h_3 = h_4 = 243,1 \text{ kJ/kg}$ e $P_3 = P_2 = 1355 \text{ kPa}$;

Com $P_2 = 1355 \text{ kPa}$ (para $T_{\text{saturação}} = 35^\circ\text{C}$) e $s_2 = s_1 = 1,767 \text{ kJ/kg.K}$ obtém-se de A7 (por interpolação linear) que $h_2 = 435,2 \text{ kJ/kg}$.

A seguir, com os dados obtidos das tabelas A6 e A7 e as equações dos balanços obtém-se:

a) O efeito de refrigeração é igual a variação de entalpia no evaporador, ou seja,

$$h_1 - h_4 = 401,6 - 243,1 = 158,5 \text{ kJ/kg}$$

b) a vazão mássica de refrigerante

$$Q_e = m(h_1 - h_4)$$

$$50 \text{ kW} = m(158,5 \text{ kJ/kg})$$

$$m = 0,315 \text{ kg/s}$$

c) a potência do compressor

$$W_c = m(h_1 - h_2)$$

$$W_c = 0,315 \text{ kg/s} (401,6 - 435,2) \text{ kJ/kg}$$

$W_c = -10,6 \text{ kW}$ (sinal negativo é devido a convenção e significa que a energia entra no compressor na forma de trabalho). Logo, a potência no compressor é

$$W_c = 10,6 \text{ kW}.$$

d) coeficiente de eficácia do ciclo de refrigeração

$$\text{COP} = Q_e/W_c = 50 \text{ kW}/10,6 \text{ kW}$$

$$\text{COP} = 4,72.$$

Membros da Banca:

Avaliador 1 (Fernanda Perazzolo Disconzi)

Avaliador 2 (Roberto Wolf Francisco Júnior)

Avaliador 3 (nome e assinatura)



Presidente da Banca (Paulo Sergio Berving Zdanski)

PROCESSO SELETIVO – _04_/_2026_

Área de Conhecimento: Sistemas Termo Fluidos

PROVA ESCRITA – PADRÃO DE RESPOSTA

QUESTÃO 2: _____

PADRÃO DE RESPOSTA: (ADAPTAÇÃO DO EXEMPLO 12.1 DO LIVRO “Stoecker, W. F., & Jones, J. W. Refrigeração e Ar Condicionado. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1985.”)

Calculando o número de Reynolds do problema obtém-se:

$$Re_d = \frac{\rho V d}{\mu} = \frac{\left(\frac{2m}{s}\right) (0,008m) (1000kg/m^3)}{0,00131Pa.s} = 12214.$$

Este valor de Reynolds indica um escoamento turbulento no interior do duto. Desta forma, a equação para determinação do número de Nusselt é

$$Nu_d = \frac{hd}{k} = 0,023Re_d^{0,8} Pr^{0,4}.$$

O número de Prandtl pode ser obtido pela definição

$$Pr = \frac{c_p \mu}{k} = \frac{\left(\frac{4190J}{kg.K}\right) (0,00131Pa.s)}{\frac{0,573W}{m.K}} = 9,6.$$

Assim, substituindo na expressão para Nusselt tem-se

$$Nu_d = \frac{hd}{k} = 106,$$

E finalmente o coeficiente convectivo médio é obtido


$$h = 7592W/m^2K.$$

Membros da Banca:

Avaliador 1 (Fernanda Perazzolo Disconzi)

Avaliador 2 (Roberto Wolf Francisco Júnior)

Avaliador 3 (nome e assinatura)



Presidente da Banca (Paulo Sergio Berving Zdanski)

PROCESSO SELETIVO – _04 / _2026 _

Área de Conhecimento: ___Sistemas Termo Fluidos_____

PROVA ESCRITA – PADRÃO DE RESPOSTA

QUESTÃO 3: _____

PADRÃO DE RESPOSTA: (ADAPTAÇÃO DA TEORIA APRESENTADA NO CAPÍTULO 2 DO LIVRO “WILCOX, David C. Turbulence modeling for CFD. 2nd ed. Califórnia: DCW Industries, 2000.”

a) As tensões de Reynolds (que surgem no processo de média devido a não linearidade dos termos convectivos), a saber,

$$\tau_{ji} = -\rho \overline{u'_j u'_i},$$

são representadas matematicamente por um tensor de segunda ordem (possuem 9 componentes):

$$\tau_{xx} = -\rho \overline{u' u'}$$

$$\tau_{xy} = -\rho \overline{u' v'}$$

$$\tau_{xz} = -\rho \overline{u' w'}$$

$$\tau_{yx} = -\rho \overline{v' u'}$$

$$\tau_{yy} = -\rho \overline{v' v'}$$

$$\tau_{yz} = -\rho \overline{v' w'}$$

$$\tau_{zx} = -\rho \overline{w' u'}$$

$$\tau_{zy} = -\rho \overline{w' v'}$$

$$\tau_{zz} = -\rho \overline{w' w'}$$

Qual é o significado físico deste tensor? Fisicamente, em um escoamento turbulento, este tensor modela a transferência de quantidade movimento devido as flutuações aleatórias de velocidades (fenômeno macroscópico de pequena escala – no meio contínuo). Na modelagem da turbulência, os termos deste tensor são relacionados com propriedades do escoamento médio. Em resumo: devido as flutuações aleatórias de velocidades inerente ao escoamento turbulento, o fenômeno de transferência de quantidade de movimento é intensificado.

b) As equações de Navier Stokes para o escoamento turbulento médio normalmente são apresentadas em forma compacta em notação indicial (para o sistema cartesiano de coordenadas), a saber,

$$\frac{\partial U_i}{\partial x_i} = 0,$$

$$\rho \frac{\partial U_i}{\partial t} + \rho U_j \frac{\partial U_i}{\partial x_j} = -\frac{\partial P}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu \left(\frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right) - \rho \overline{u'_j u'_i} \right].$$

A equação da conservação da massa é escalar enquanto a equação de conservação de quantidade de movimento é vetorial (temos três equações, sendo uma para cada direção do sistema de coordenadas). Desta forma, aplicando a regra do somatório (índices repetidos representam uma soma) a equação da conservação da massa fica

$$\frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\partial V}{\partial y} + \frac{\partial W}{\partial z} = 0.$$

Por outro lado, a equação de conservação de quantidade de movimento para a direção x fica (i=1 e j faz a soma):

$$\rho \frac{\partial U}{\partial t} + \rho U \frac{\partial U}{\partial x} + \rho V \frac{\partial U}{\partial y} + \rho W \frac{\partial U}{\partial z} = -\frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left[\mu \left(\frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\partial U}{\partial x} \right) - \rho \overline{u' u'} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\mu \left(\frac{\partial U}{\partial y} + \frac{\partial V}{\partial x} \right) - \rho \overline{v' u'} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[\mu \left(\frac{\partial U}{\partial z} + \frac{\partial W}{\partial x} \right) - \rho \overline{w' u'} \right]$$

Finalmente, separando os termos do tensor de Reynolds obtém-se a equação final:

$$\rho \frac{\partial U}{\partial t} + \rho U \frac{\partial U}{\partial x} + \rho V \frac{\partial U}{\partial y} + \rho W \frac{\partial U}{\partial z} = -\frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left[2\mu \left(\frac{\partial U}{\partial x} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\mu \left(\frac{\partial U}{\partial y} + \frac{\partial V}{\partial x} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[\mu \left(\frac{\partial U}{\partial z} + \frac{\partial W}{\partial x} \right) \right] - \frac{\partial}{\partial x} [\rho \overline{u' u'}] - \frac{\partial}{\partial y} [\rho \overline{v' u'}] - \frac{\partial}{\partial z} [\rho \overline{w' u'}]$$

Membros da Banca:

Avaliador 1 (Fernanda Perazzolo Disconzi)

Avaliador 2 (Roberto Wolf Francisco Júnior)

Avaliador 3 (nome e assinatura)



Presidente da Banca (Paulo Sergio Berving Zdanski)



Assinaturas do documento



Código para verificação: **47LJ901I**

Este documento foi assinado digitalmente pelos seguintes signatários nas datas indicadas:

- ✓ **PAULO SERGIO BERVING ZDANSKI** (CPF: 756.XXX.860-XX) em 22/06/2026 às 11:45:40
Emitido por: "SGP-e", emitido em 30/03/2018 - 12:39:35 e válido até 30/03/2118 - 12:39:35.
(Assinatura do sistema)

- ✓ **ROBERTO WOLF FRANCISCO JUNIOR** (CPF: 005.XXX.919-XX) em 22/06/2026 às 11:46:48
Emitido por: "SGP-e", emitido em 07/05/2019 - 12:18:05 e válido até 07/05/2119 - 12:18:05.
(Assinatura do sistema)

- ✓ **FERNANDA PERAZZOLO DISCONZI** (CPF: 004.XXX.520-XX) em 22/06/2026 às 11:47:05
Emitido por: "SGP-e", emitido em 30/03/2018 - 12:42:51 e válido até 30/03/2118 - 12:42:51.
(Assinatura do sistema)

Para verificar a autenticidade desta cópia, acesse o link <https://portal.sgpe.sea.sc.gov.br/portal-externo/conferencia-documento/VURFU0NfMTIwMjJfMDAwMjMwNDVfMjMwNTBfMjAyNI80N0xKOU8xSQ==> ou o site <https://portal.sgpe.sea.sc.gov.br/portal-externo> e informe o processo **UDESC 00023045/2026** e o código **47LJ901I** ou aponte a câmera para o QR Code presente nesta página para realizar a conferência.