MARINHA DO BRASIL

SERVIÇO DE SELEÇÃO DO PESSOAL DA MARINHA

GABARITO DESENVOLVIDO

CP-CEM/ 2025 ENGENHARIA MECÂNICA

1ª QUESTÃO (8 pontos)

A) (2 pontos)

Frequência natural:

$$\omega_n = \frac{2\pi}{T} = \frac{2\pi}{1,5} = 4,189 rad/s$$

$$\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

$$k = m\omega_n^{\ 2} = 5(4,189)^2$$

$$k = 87,74 N/m$$

A constante elástica da mola é de 87,74 N/m

B) (6 pontos)

Decremento logarítmico:

$$\delta = \ln\left(\frac{x_1}{x_2}\right) = \ln(4) = 1,386$$

$$\zeta = \frac{\delta}{\sqrt{(2\pi)^2 + \delta^2}} = \frac{1,386}{\sqrt{(2\pi)^2 + 1,386^2}} = 0,215$$

$$\zeta = \frac{c}{c_c} = \frac{c}{2m\omega_n}$$

$$c = 2m\omega_n\zeta = 2(5)(4,189)(0,215)$$

$$c = 9,01\frac{Ns}{m}$$

2ª QUESTÃO (8 pontos)

Torque atuante no eixo BC:

$$\sum T = 0$$
$$-90 + 270 - T = 0$$
$$T = 180 Nm$$

$$J = \frac{\pi}{2}\left(R_{ext}{}^{4} - R_{\text{int}}{}^{4}\right) = \frac{\pi}{2}\left(0{,}0125^{4} - 0{,}005^{4}\right)$$
$$J = 3{,}787 \times 10^{-8}\, m^{4}$$

Máxima tensão de cisalhamento no eixo BC:

$$\tau = \frac{TR_{ext}}{J} = \frac{(180)(0{,}0125)}{(3{,}787)(10^{-8})}$$

$$\tau = 60{,}9 \times 10^{9}\, Pa = 60{,}9 MPa$$

3ª QUESTÃO (8 pontos)

A) Transformação eutética: composição 4,3%p C e temperatura 1147 °C; e
Transformação eutetoide: composição 0,76 %p C e temperatura 727 °C.

B) As fases presentes no ponto indicado são ferrita (α) e cementita (Fe_3C).

Composição da ferrita: 0,022 %p C; e
Composição da cementita: 6,7 %p C.

Quantidade relativa de ferrita:
(6,7-0,76)/(6,7-0,022) = 88,95 %
Quantidade relativa de cementita:
(0,76-0,022)/(6,7-0,022) = 11,05 %

C) Microestrutura: martensita (1 ponto)
Tratamento térmico: têmpera (1 ponto)

D) Microestrutura: martensita revenida (1 ponto)
Tratamento térmico: revenimento ou revenido (1 ponto)

4ª QUESTÃO (8 pontos)

A) Soldagem. (2 pontos)

B) Laminação, extrusão e fundição. (3 pontos)

c) Laminação. (3 pontos)

5ª QUESTÃO (8 pontos)

Usando o conceito de resistência térmica, temos três resistências em série (duas de convecção e uma de condução). A taxa de transferência de calor através da parede será dada por:

$$\dot{q} = \frac{T_e - T_i}{R_{equivalente}} = \frac{T_e - T_i}{\left(\frac{1}{hA} + \frac{L}{kA} + \frac{1}{hA}\right)}$$

$$\frac{\dot{q}}{A} = \frac{T_e - T_i}{\left(\frac{1}{h} + \frac{L}{k} + \frac{1}{h}\right)}$$

$$\frac{\dot{q}}{A} = \frac{T_e - T_i}{\left(\frac{L}{k} + \frac{2}{h}\right)}$$

$$8{,}75 = \frac{23 - 2}{\left(\frac{L}{0{,}050} + \frac{2}{5}\right)}$$

L= 0,1 m

Assim, a espessura da parede é de 0,1 m.

6ª QUESTÃO (8 pontos)

A) (1 pontos)
Carga térmica:

$$Q = 700 \times 80 = 56.000 Btu/h$$

$$1kW = 3412{,}14 Btu/h \Rightarrow Q = \frac{56.000}{3412{,}14} = 16{,}412 kW$$

Vazão mássica de ar:

$$Q = \dot{m} c \Delta T \Rightarrow \dot{m} = \frac{Q}{c\Delta T} = \frac{16{,}412 \times 10^3}{1004 \times 10} = 1{,}63466 kg/s$$

B) (2 pontos)
Fazendo a interpolação na tabela apresentada para obter a variação de entalpia do líquido saturado, temos:

T [°C]	h_{lv} [kJ/kg]
5	194,57
10	190,65

Para T = 6°C

$$h_{lv} = 194{,}57 + \frac{(190{,}65 - 194{,}57)}{(10-5)}(6-5) = 193{,}786 kJ/kg$$

$$Q = \dot{m} \cdot h_{lv} \Rightarrow \dot{m} = \frac{Q}{h_{lv}} = \frac{16{,}412 \times 10^3}{193{,}786 \times 10^3} = 0{,}08469 \text{kg/s}$$

C) (3 pontos)
Sabe-se que a condensação ocorre a 50°C. A pressão de saturação nessa temperatura é 1318,1 kPa. Sabe-se ainda que, como não há perda de carga entre a saída do compressor e a entrada do condensador, essa é também a pressão de saída do compressor. A temperatura de saída do compressor é T = 50 + 20 = 70°C. Assim, pode-se determinar o estado termodinâmico do R-134a na saída do compressor, obtendo suas propriedades a partir da tabela de propriedades do vapor de R-134a superaquecido.

Interpolando entre os valores de p de 1200 kPa e 1400 kPa para encontrar o valor da entalpia, temos:

p [kPa]	h_{lv} [kJ/kg]
1200	449,18
1400	445,72

$$h = 449{,}18 + \frac{(445{,}72 - 449{,}18)}{(1400 - 1200)}(1318{,}1 - 1200) = 447{,}13687 kJ/kg$$

A entalpia na entrada do compressor é a de vapor saturado a 6°C. Interpolando, temos:

T [°C]	h_v [kJ/kg]
5	401,32
10	404,23

$$h_v = 401{,}32 + \frac{(404{,}23 - 401{,}32)}{(10 - 5)}(6 - 5) = 401{,}902 kJ/kg$$

Logo, o trabalho específico do compressor é 447,1368-401,902=45,23487 kJ/kg

$$w = h - h_v = 447{,}13687 - 401{,}902 = 45{,}23487 kJ/kg$$

Sabe-se, do item B) que a vazão de fluido refrigerante é

$$\dot{m} = 0{,}08469 \text{kg/s}$$

Assim, o trabalho realizado pelo compressor é

$$W = w.\dot{m} = 45{,}23487 \times 0{,}08469 = 3{,}830941 kW$$

Considerando o rendimento indicado, temos que a potência consumida pelo compressor é:

$$Pot = \frac{W}{\eta} == \frac{3{,}830941}{0{,}8} = 4{,}7887 kW$$

D) (2 pontos)

O coeficiente de desempenho é dado por

$$\beta = \frac{Q_L}{W} = \frac{16{,}412 \times 10^3}{3{,}830941 \times 10^3} = 4{,}284$$

Será aceito o COP obtido utilizando-se a potência consumida

$$\beta = \frac{Q_L}{W} = \frac{16{,}412 \times 10^3}{4{,}7887 \times 10^3} = 3{,}427$$

7ª QUESTÃO (8 pontos)

A) (2 pontos)

Como o processo é isentrópico, a entropia no interior do vaso de pressão é igual à entropia no ambiente. Assim, pode-se aplicar a equação:

$$\frac{T_1^{inicial}}{T_0} = \left(\frac{p_1^{inicial}}{p_0}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \Rightarrow T_1^{inicial} = T_0\left(\frac{p_1^{inicial}}{p_0}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} = (273+27)\left(\frac{900}{100}\right)^{\frac{1,4-1,0}{1,4}} K$$

$$T_1^{inicial} = (273+27)\left(\frac{900}{100}\right)^{\frac{1,4-1,0}{1,4}} = 300\times 9\times \frac{1}{9^{\frac{1}{1,4}}} = \frac{300\times 9}{4,8} = 562,5K$$

B) (2 pontos)

A quantidade de calor por kg de ar é calculada por

$$q = c_v(T_1^{final} - T_1^{inicial})$$

$$c_v = \frac{c_p}{\gamma} = \frac{1004}{1,4} = 717kJ/Kg.K$$

Ou

$$c_v = c_p - R = 1004 - 287 = 717kJ/Kg.K$$

$$q = c_v(T_1^{final} - T_1^{inicial}) = 717(1227+273-562,5) = 672,18kJ/kg$$

Para obter a pressão final, sabendo que o volume do vaso de pressão não varia, pode-se utilizar a equação de estado. Nesse caso, temos:

$$p_1^{final} = \frac{T_1^{final}\, p_1^{inicial}}{T_1^{inicial}} = \frac{1500\times 900\times 10^3}{562,5} = 2400kPa$$

C) (2 pontos)

A temperatura pode ser obtida utilizando-se novamente a equação para processos isentrópicos.

$$\frac{T_2}{T_1^{final}} = \left(\frac{p_2}{p_1^{final}}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \Rightarrow T_2 = T_1^{final}\left(\frac{p_2}{p_1^{final}}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} = 1500\left(\frac{100}{2400}\right)^{\frac{1,4-1}{1,4}} = 1500\times\frac{1}{\frac{24}{24^{\frac{1}{1,4}}}} = \frac{1500}{\frac{24}{9,68}} = 605K$$

Aplicando-se a Primeira Lei da Termodinâmica, pode-se obter a velocidade do escoamento na saída da tubeira:

$$h_1^{final} + \frac{\left(V_1^{final}\right)^2}{2} = h_2 + \frac{V_2^2}{2} \Rightarrow V_2^2 = 2(h_1^{final} - h_2)$$

$$\Rightarrow V_2 = \sqrt{2c_p(T_1^{final} - T_2)} = \sqrt{2\times 1004(1500-605)} = 1340,58m/s$$

D) (2 pontos)

Sabe-se que a velocidade de propagação do som no ar é dada por:

$$a = \sqrt{\gamma RT} = \sqrt{1{,}4 \times 287 \times 605} = 493 m/s$$

Logo, o número de Mach do escoamento é

$$M = \frac{V}{a} = \frac{1340{,}58}{493} = 2{,}72$$

A força de reação no apoio A é obtida pela equação de conservação de momento. No presente caso, a equação é:

$$F = \dot{m} V_e$$

Para obter o fluxo mássico, deve-se primeiro obter a massa específica do ar nas condições da saída da tubeira. Para tal, utiliza-se a equação de estado:

$$p = \rho RT \Rightarrow \rho = \frac{p_2}{RT} = \frac{100 \times 10^3}{287 \times 605} = 0{,}57592$$

Agora, pode-se aplicar a equação da continuidade para obter o fluxo mássico na saída da tubeira:

$$A = \frac{\pi D^2}{4} \Rightarrow \dot{m} = \rho V_e A = 0{,}57592 \times 1340{,}58 \times \frac{\pi \left(3 \times 10^{-2}\right)^2}{4} = 0{,}545465 kg/s$$

Finalmente, utiliza-se a equação de conservação de momento:

$$F = 0{,}545465 \times 1340{,}58 = 731{,}24 N$$

8ª QUESTÃO (8 pontos)

A) (3 pontos)

Sabe-se, da equação da continuidade, que a velocidade de escoamento de um fluido num tubo é:

$$V = \frac{Q}{A}$$

$$Q = \frac{4,71}{5 \times 60}$$

$$A = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{3,14 \times (0,1)^2}{4}$$

$$V = \frac{4,71}{5 \times 60} \times \frac{4}{3,14 \times (0,1)^2} = \frac{4,71}{5 \times 15 \times 3,14 \times (0,1)^2} = 2m/s$$

O número de Reynolds do escoamento neste caso é:

$$\mathrm{Re} = \frac{\rho VD}{\mu} = \frac{VD}{\frac{\mu}{\rho}} = \frac{VD}{\upsilon} = \frac{2 \times 0,1}{10^{-6}} = 200.000$$

Portanto, o escoamento é turbulento.

B) (5 pontos)

Sabendo que a rugosidade média é 2 mm e o diâmetro interno é 10 cm, temos

$$\frac{\varepsilon}{D} = \frac{0,0015}{0,1} = 0,015$$

Para essa rugosidade relativa e Re = 200000, lê-se no Diagrama de Moody o valor de f = 0,045

Para determinar a perda de carga, utiliza-se a equação de Darcy e Weischbach.

$$J = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} = 0,045 \frac{50}{0,1} \frac{2^2}{2 \times 9,8} = 4,6m$$

A altura manométrica da bomba deve ser suficiente para vencer a perda de carga e também a diferença entre os níveis da cisterna e da saída da tubulação de recalque. Portanto:

$$HT = H + J = 5,5 + 4,6 = 10,1m$$

9ª QUESTÃO (8 pontos)

A) (2 pontos)

A altura manométrica de *shut-off* da bomba é altura máxima da bomba, ou seja, quando esta opera em vazão 0:

$$H = -\frac{Q^2}{22} + 25 = \frac{0^2}{22} + 25 = 25m$$

Como os reservatórios de captação e recalque estão abertos à atmosfera, a diferença de altura entre eles é a altura manométrica quando o sistema opera a vazão 0:

$$H = \frac{Q^2}{16} + 4 = \frac{0^2}{16} + 4 = 4m$$

B) (3 pontos)

Para as condições citadas, quais sejam bombas idênticas em paralelo e cujos trechos de tubulação individuais possuem perda de carga idêntica, a associação em paralelo implica que a vazão é a soma de cada uma das bombas associadas, mantendo-se a altura manométrica. Assim, a equação característica da associação das bombas é:

$$H_B = -\frac{(Q/2)^2}{22} + 25$$

Logo, a altura manométrica de *shut-off* permanece a mesma (25 m a 0 m³/h). O ponto de trabalho é determinado igualando as equações da bomba e do sistema de tubulação.

$$-\frac{(Q/2)^2}{22} + 25 = \frac{Q^2}{16} + 4 \Rightarrow \frac{Q^2}{16} + \frac{Q^2}{88} = 21 \Rightarrow 5{,}5Q^2 + Q^2 = 1848$$

$$6{,}5Q^2 = 1848 \Rightarrow Q = \sqrt{\frac{1848}{6{,}5}} = 16{,}86$$

Agora, pode-se utilizar a equação da associação de bombas ou do sistema para obter a altura manométrica para esta vazão. Escolhendo-se a equação do sistema da tubulação:

$$H = \frac{Q^2}{16} + 4 = \frac{16{,}86^2}{16} + 4 = 21{,}77m$$

C) (3 pontos)

Para a instalação operando com somente uma bomba e com redução de 15% em sua rotação, temos que a relação de semelhança para altura manométrica rotação é:

$$\frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2$$

Logo,

$$\frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{1}{0{,}85}\right)^2 \Rightarrow H_2 = H_1 \times (0{,}85)^2 = \left(-\frac{(Q)^2}{22} + 25\right) \times (0{,}85)^2$$

A altura manométrica de *shut-off* é:

$$\frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{1}{0{,}85}\right)^2 \Rightarrow H_2 = \left(-\frac{(0)^2}{22} + 25\right) \times (0{,}85)^2 = 25 \times (0{,}85)^2 = 18{,}0625m$$

O ponto de trabalho é determinado igualando as equações da bomba e do sistema de tubulação.

$$\left(-\frac{Q^2}{22} + 25\right) \times (0{,}85)^2 = \frac{Q^2}{16} + 4 \Rightarrow -\frac{Q^2}{22} + 25 = \frac{Q^2}{16 \times 0{,}85^2} + \frac{4}{0{,}85^2}$$

$$\frac{Q^2}{16 \times 0{,}85^2} + \frac{Q^2}{22} = 25 - \frac{4}{0{,}85^2} \Rightarrow \frac{Q^2}{16 \times 0{,}85^2} + \frac{Q^2}{22} = 19{,}46366782$$

$$1{,}903114187Q^2 + Q^2 = 428{,}200692 \Rightarrow Q^2 = \sqrt{\frac{428{,}2}{2{,}90311}} = 12{,}1448m^3/h$$

Agora, pode-se utilizar a equação da associação de bombas ou do sistema para obter a altura manométrica para esta vazão. Escolhendo-se a equação da tubulação:

$$H = \frac{Q^2}{16} + 4 = \frac{12{,}1448^2}{16} + 4 = 13{,}21m$$

Os gráficos pedidos nos itens B) e C) são mostrados na figura a seguir:

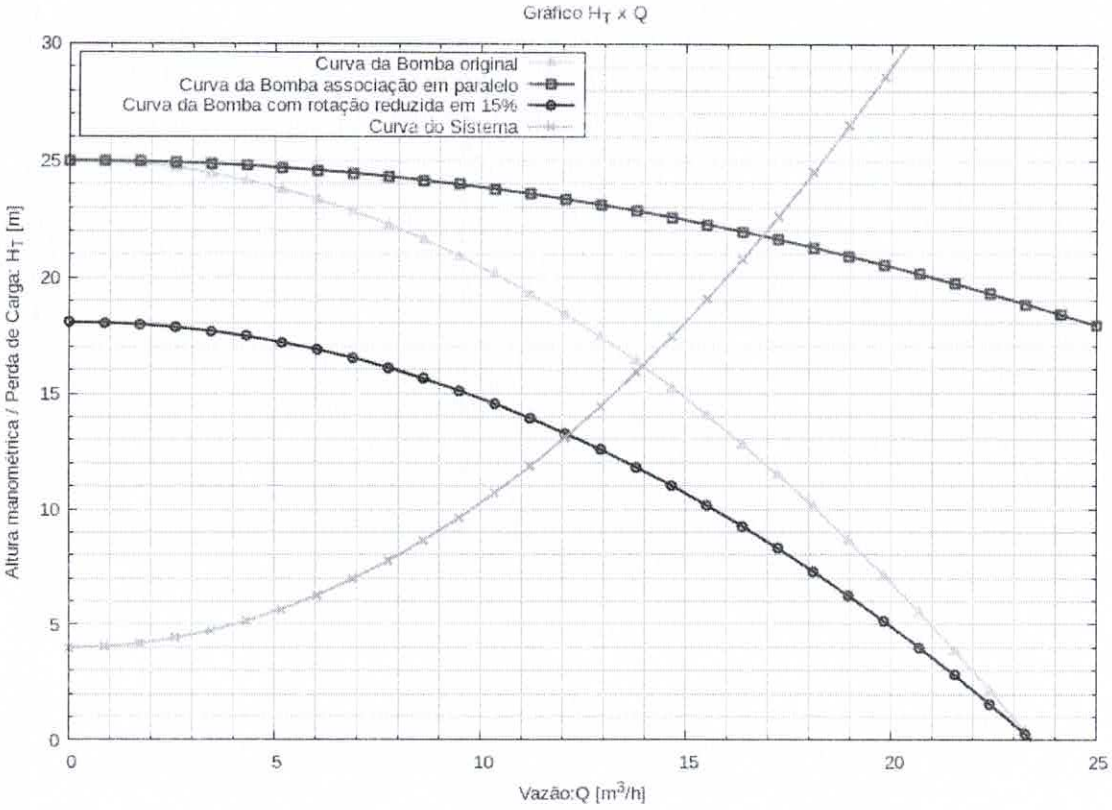
Gráfico H_T x Q
Curva da Bomba original
Curva da Bomba associação em paralelo
Curva da Bomba com rotação reduzida em 15%
Curva do Sistema
Altura manométrica / Perda de Carga: H_T [m]
Vazão:Q [m^3/h]
0
5
10
15
20
25
30

10ª QUESTÃO (8 pontos)

A) O compressor de dois estágios apresenta maior rendimento. (2 pontos)

B) Os componentes são:
Resfriador intermediário ou Intercooler: resfria o ar após passar pelo primeiro estágio.
Resfriador posterior ou Aftercooler: resfria o ar após passar pelo último estágio.
Válvula de retenção: evita o retorno do ar.
Válvula de alívio ou de segurança: evita sobrepressão de ar.
Secador: reduz a umidade do ar.
Dreno: coleta a umidade condensada.
Pistão ou êmbolo do segundo estágio: comprime o ar no segundo estágio, aumentando ainda mais sua pressão
(6 pontos)

11ª QUESTÃO (8 pontos)

$$\mu = \rho\upsilon = (900)(0{,}0002) = 0{,}18\,\frac{kg}{m.s}$$

$$\Delta P = \frac{128\mu L Q}{\pi d^4}$$

$$\frac{\Delta P}{L} = \frac{128\mu Q}{\pi d^4}$$

$$\frac{\Delta P}{L} = \frac{(128)(0{,}18)(0{,}050)}{\pi(0{,}050)^4}$$

$$\frac{\Delta P}{L} = 58672{,}2\,\frac{Pa}{m}$$

12ª QUESTÃO (8 pontos)

A) (6 pontos)

Sabe-se que o volume total deslocado é de 1600 centímetros cúbicos, ou 1,6 litros. Como o motor possui quatro cilindros, temos que cada cilindro possui deslocamento de 400 centímetros cúbicos, ou 0,4 litros.

Sendo L_1 e D o curso e o diâmetro do pistão, respectivamente, temos que volume deslocado por cada cilindro é

$$V_{d1} = L_1 \times A = \frac{L_1 \pi D^2}{4} = \frac{L_1 \pi L_1^2}{4} \Rightarrow L_1 = \sqrt[3]{\frac{4V_d}{\pi}} = \sqrt[3]{\frac{4 \times 0{,}4 \times 10^{-3}}{3{,}14}} = 0{,}0798724m = 7{,}98724cm$$

A área transversal do cilindro é

$$A = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{\pi 0{,}0798724^2}{4} = 5{,}008 \times 10^{-3} m$$

Como a razão de compressão original é 8, temos que o volume da câmara de combustão é:

$$\frac{V_{d1}}{V_c} = 8 \Rightarrow V_c = \frac{400}{8} = 50cc$$

O volume da câmara de combustão não será alterado. Portanto, o novo volume deslocado é:

$$\frac{V_{d2}}{V_c} = 10 \Rightarrow V_{d2} = 10 \times 50 = 500cc$$

Logo, o novo curso do pistão é

$$L_2 = \frac{V_{d2}}{A} = \frac{0{,}5}{5{,}008 \times 10^{-3}} = 9{,}984cm$$

B) (2 pontos)

A eficiência térmica do ciclo é dada por

$$\eta = 1 - \frac{1}{(r_v)^{k-1}} = 1 - \frac{1}{10^{0{,}4}} = 1 - \frac{1}{2{,}5112} = 0{,}398$$