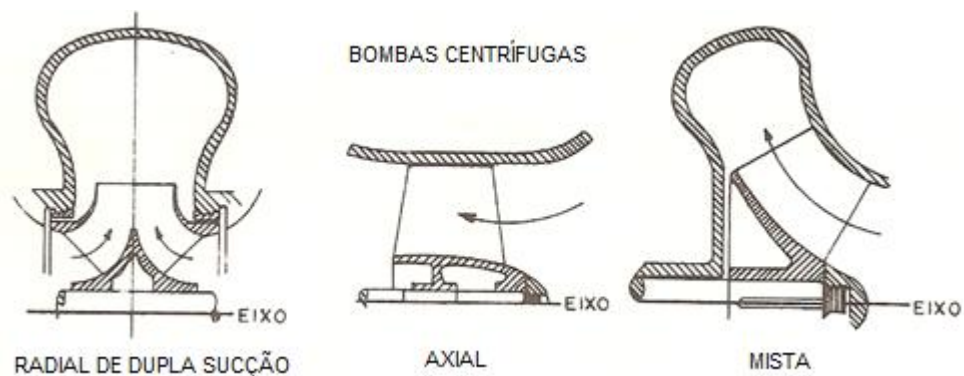


Terceira prova de ME5330

1ª Questão: A bomba centrífuga é um dispositivo que permite intercâmbio de energia entre as suas partes mecânicas móveis e o fluido em escoamento. No seu caso, o intercâmbio de energia é dinâmico, já que depende das forças dinâmicas originadas das diferenças de velocidades entre o escoamento e as partes móveis da bomba em questão. Conforme o escoamento do fluido no rotor da bomba se passa na direção preponderantemente do raio, do eixo ou diagonal elas são respectivamente chamadas radiais, axiais ou mistas.



Um número ilimitado de variantes destes três tipos de bombas, a possibilidade de montagem de rotores em série, o fracionamento das vazões obtido pela utilização de várias unidades independentes ou ligadas em paralelo faz com que as bombas centrífugas atendam a imensa maioria dos casos de instalações de abastecimentos de água, bombeamento de poços profundos, estações elevatórias de esgotos e inúmeras aplicações industriais.

Por outro lado, é fundamental que o(a) engenheiro(a) escolham adequadamente as bombas em relação também a sua eficiência, daí se recorrer a rotação específica, que quando mantida constante se tem o mesmo rendimento e onde se considera:

1. $ns < 30$ = bombas de deslocamento
2. LENTAS: $30 < ns < 90$ rpm = bombas centrífugas puras, com pás cilíndricas, radiais, para pequenas e médias vazões.
3. NORMAIS: $90 < ns < 130$ rpm = bombas semelhantes as anteriores.
4. RÁPIDAS: $130 < ns < 220$ rpm –possuem pás de dupla curvatura , vazões médias
5. EXTRA-RÁPIDA ou HÉLICO-CENTRÍFUGA: $220 < ns < 440$ rpm = pás de dupla curvatura –vazões médias e grandes.
6. HELICOIDAIS: $440 < ns < 500$ rpm –para vazões grandes.

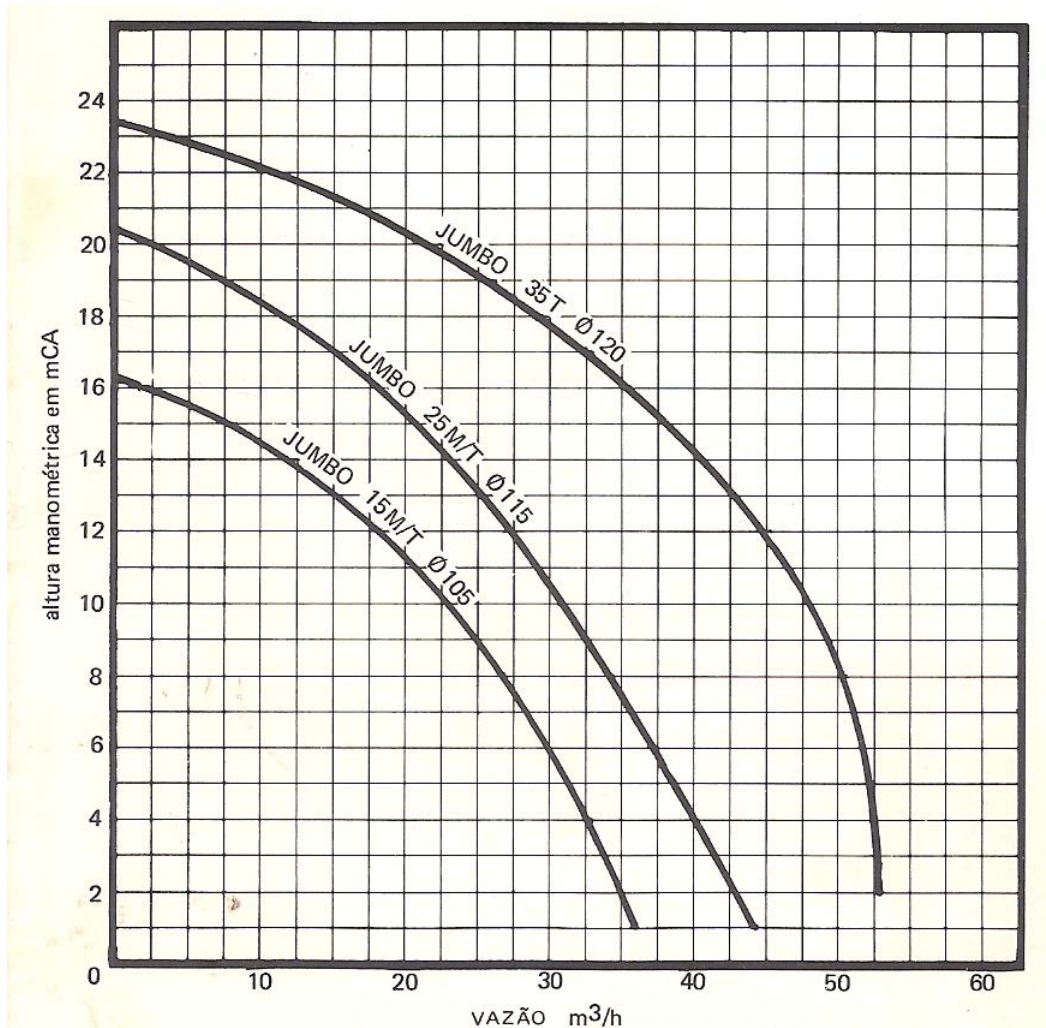
7. AXIAIS: $n_s > 500$ rpm –assemelham-se a hélices de propulsão e destinam-se a grandes vazões e pequenos H_b

Exemplo de aplicação: por ocasião de uma liquidação judicial pôs-se à venda uma bomba hidráulica nova, a qual tem um rendimento elevado garantido quando opera com uma vazão de $0,01 \text{ m}^3/\text{s}$, carga manométrica de 45 m e rotação de 3450 rpm, pergunta-se:

- qual o tipo de bomba? (valor – 0,5)
- a bomba interessa a um comprador que quer elevar $0,0267 \text{ m}^3/\text{s}$ com uma carga manométrica de 20 m, qual a rotação que deve ser imposta para manter o rendimento? (valor – 0,5)
- considerando o item b) se o sistema motor bomba não tivesse a possibilidade de operar com um inversor de frequência, o motor elétrico teria quantos pólos? (valor – 0,5)
- na situação do item c) qual seria aproximadamente o escorregamento no acoplamento do motor com a bomba? (valor – 0,5)

2ª Questão: Por uma tubulação de aço de diâmetro interno igual a 102,3 mm ($A = 82,1 \text{ cm}^2$) e 250 m de comprimento deseja-se recalcar $30 \text{ m}^3/\text{h}$. Sabendo que a carga estática é igual a 4 m, que a somatória dos comprimentos equivalentes é igual a 38 m, que a perda de carga para a vazão de projeto com um fator de segurança mínimo em 100 metros de tubo de diâmetro interno igual a 102,3 mm é 1,2 m e que não existe carga cinética na seção inicial e final, pergunta-se:

- qual o coeficiente de perda de carga distribuída neste caso? (valor – 0,5)
- qual a carga manométrica de projeto? (valor – 0,5)
- considerando as curvas a seguir, qual a bomba escolhida e qual, **aproximadamente**, a vazão e a carga manométrica de trabalho? (valor – 1,0)



3ª Questão: Considerando os dados da questão anterior, sabendo que o rendimento da bomba no ponto de trabalho é 60% e sabendo ainda que se deve considerar os seguintes fatores de segurança, a fim de não sobrecarregar o motor, especifique a potência nominal do motor elétrico justificando sua escolha pelo cálculo do seu rendimento real. (valor – 2,0)

Dados: até 7,5 kW + 20%; de 7,5 kW a 40 kW +15% e a partir de 40 kW + 10% (aproximadamente sobre a potência da bomba calculada).

Motores elétricos comerciais para rede de 220 v: 1/2; 3/4; 1; 1,5; 2; 3; 5; 7,5; 10; 15; 20;25; 30; 40; 50; 75; 100; 125; 150 e 200.

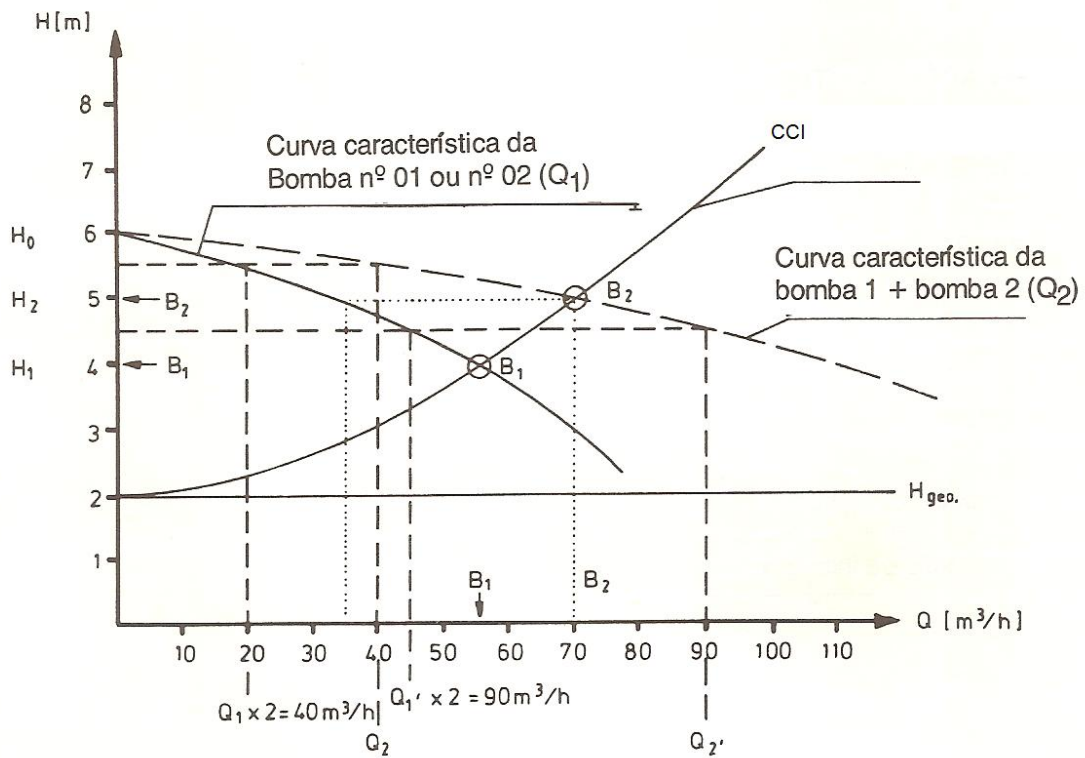
Fluido bombeado é a água a 20°C, portanto: $\rho = 998,2 \text{ kg/m}^3$

4ª Questão: A seguir tem-se a representação gráfica de uma instalação de bombeamento que pode operar com uma única bomba e com bombas iguais associadas em paralelo, Nesta situação pergunta-se:

- qual a carga estática da instalação? (valor – 0,25)
- qual a carga manométrica da bomba no shut-off? (valor - 0,25)
- qual a potência da bomba operando sozinha? (valor – 0,50)
- qual a potência da associação paralela das bombas? (valor – 1,0)

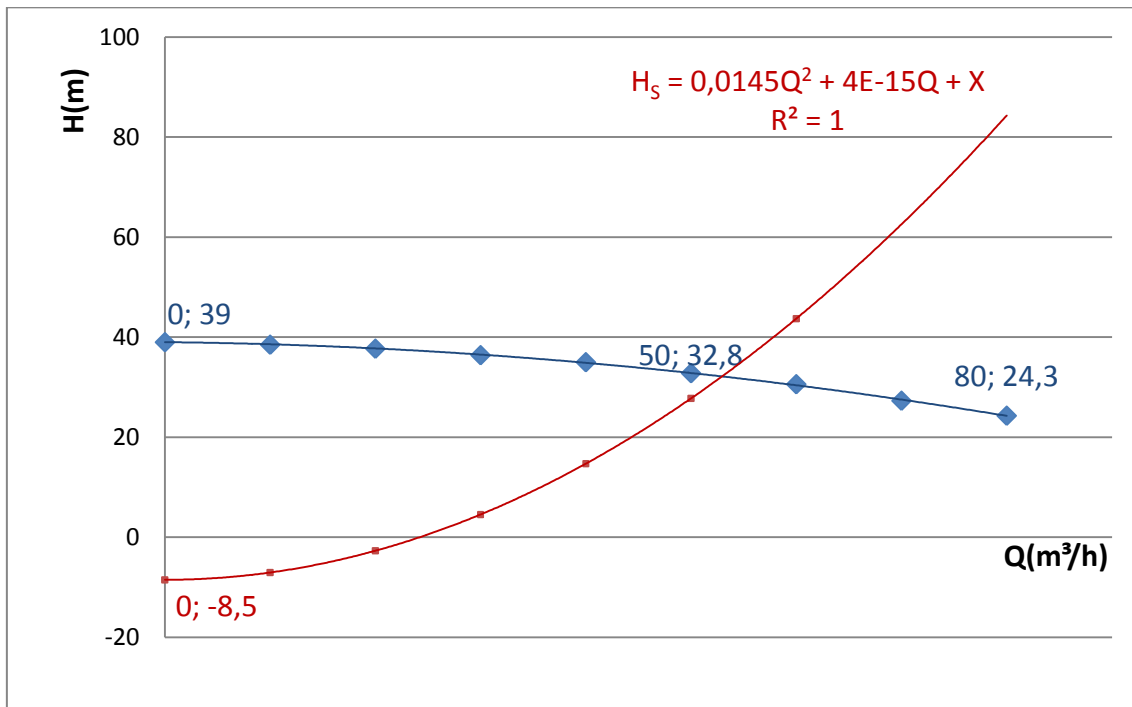
Dados: para uma bomba: $\eta_B = 59,6 + 60,5 \times Q - 39,3 \times Q^2$ com η_B em % e a Q em m^3/s ;

$$\rho_{\text{fluido}} = 998,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \rightarrow g = 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}.$$



5ª Questão: Uma instalação hidráulica pode operar tanto sem como com bomba. Conhecendo as informações dadas nos gráficos a seguir, pergunta-se:

- qual a vazão em queda livre? (valor – 1,0)
- qual a vazão operando com a bomba em questão? (valor – 1,0)



SOLUÇÃO

1ª Questão:

$$a. \quad n_s = 3,65 \times \frac{3450 \times \sqrt{0,01}}{\sqrt[4]{45^3}} \cong 72,5 \text{rpm} \Rightarrow (0,25)$$


Portanto trata-se de uma bomba centrífuga pura, com pás cilíndricas radiais, para pequenas e médias vazões. (0,25)

b. Para se manter o mesmo bom rendimento deve-se manter constante a rotação específica, portanto:

$$72,5 = 3,65 \times \frac{n \times \sqrt{0,0267}}{\sqrt[4]{20^3}} \therefore n \cong 1150 \text{rpm} \cdot (1149,6 \text{rpm}) \Rightarrow (0,50)$$

c. Evocando: $n = \frac{120 \times f}{p} \rightarrow f = 60 \text{Hz} \rightarrow p = \text{número de pólos}$, supondo que não haja escorregamento (motor síncrono), temos:

Velocidade de rotação síncrona (n_s)


$$n_s = \frac{120 \times f}{p} \rightarrow [f] = \text{Hz}$$

$p = \text{número de pólos}$

2 pólos = 3600 rpm

4 pólos = 1800 rpm


6 pólos = 1200 rpm

8 pólos = 900 rpm

Portanto seria um motor de 6 pólos (0,5)

d.

Nos motores assíncronos a velocidade de rotação não coincide exatamente com a velocidade de sincronismo.



Ela é menor?

Sim e ela é denominada de escorregamento (s), que geralmente é da ordem de 3 a 5%

$$n = n_s \times \left(1 - \frac{s}{100}\right)$$

$$1150 = 1200 \times \left(1 - \frac{s}{100}\right) \Rightarrow s \cong 4,2\%$$

ou

$$1149,6 = 1200 \times \left(1 - \frac{s}{100}\right) \Rightarrow s \cong 4,2\% \Rightarrow (0,50)$$

2ª Questão:

Dados:

$$D_{\text{int}} = 102,3\text{mm} \Rightarrow A = 82,1\text{cm}^2 \Rightarrow L = 250\text{m} \Rightarrow \sum L_{\text{eq}} = 38\text{m}$$

$$H_{\text{estática}} = 4\text{m} \Rightarrow Q_{\text{desejada}} = 30 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

$$\text{para } Q_{\text{projeto}} \text{ e } L = 100\text{m} \Rightarrow h_f = 1,2\text{m}$$

a.

$$Q_{\text{projeto}} = 1,1 \times 30 = 33 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

$$1,2 = f \times \frac{100}{102,3 \times 10^{-3}} \times \frac{\left(\frac{33}{3600}\right)^2}{19,6 \times \left(82,1 \times 10^{-4}\right)^2} \therefore f \cong 0,0193 \Rightarrow (0,50)$$

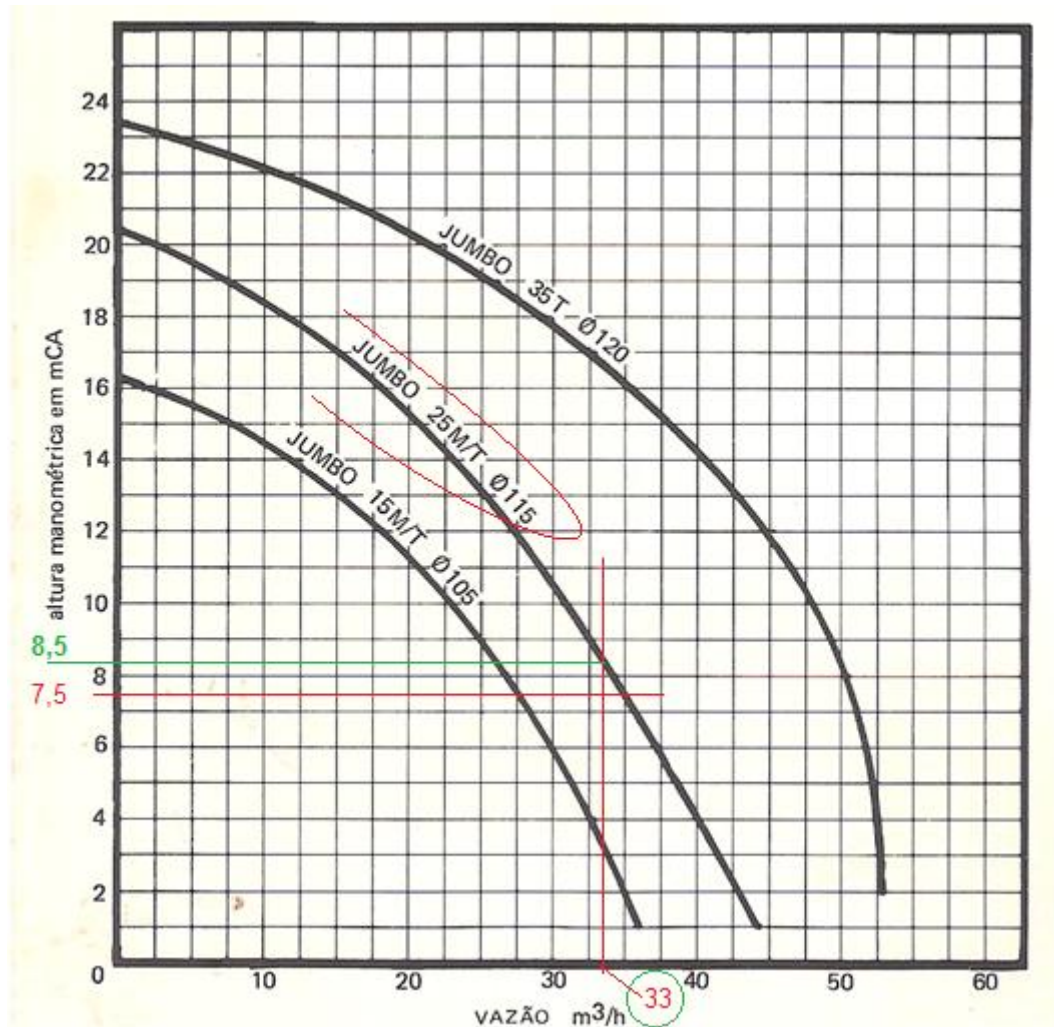
b. Pelas condições dadas, temos:

$$H_S = H_{\text{estática}} + H_{\text{p}_{\text{total}}}$$

$$H_{\text{p}_{\text{total}}} = 0,0193 \times \frac{(250 + 38)}{102,3 \times 10^{-3}} \times \frac{\left(\frac{33}{3600}\right)^2}{19,6 \times \left(82,1 \times 10^{-4}\right)^2} \cong 3,5\text{m}$$

$$H_S = 4 + 3,5 = 7,5\text{m} \Rightarrow (0,50)$$

c.



Portanto a bomba escolhida foi a JUMBO 25M/T ϕ 115 (0,25) e o ponto de

trabalho: $Q_{\tau} = 33 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \rightarrow (0,25) \Rightarrow H_{B\tau} = 8,5\text{m} \rightarrow (0,50)$

3ª Questão:

$$N_B = \frac{998,2 \times 9,8 \times \left(\frac{33}{3600}\right) \times 8,5}{0,60} \cong 1270,3\text{W} \approx 1,3\text{kW} \Rightarrow (0,50)$$

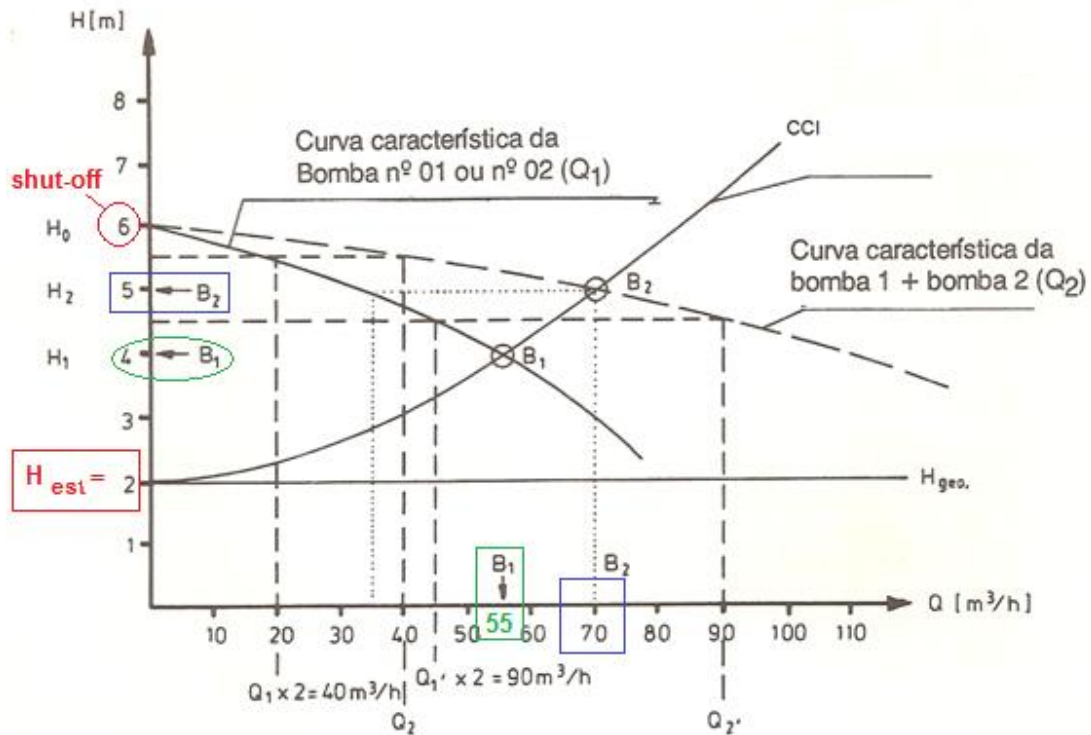
fator de segurança de 20% $\therefore N_m = 1,56\text{kW} \Rightarrow (0,50)$

Para a escolha do motor comercial :

$N_m = 1,56\text{kW} \cong 2,12\text{CV} \therefore$ escolha - se : 2CV $\Rightarrow (0,50)$

$$\eta_{m_{\text{real}}} = \frac{1270,3}{75 \times 9,8} \times \frac{1}{2} \times 100 \cong 86,4\% \Rightarrow (0,50)$$

4ª Questão:



- a. $H_{estática} = 2\text{m} \Rightarrow (0,25)$
 b. No shut-off $H_B = 6\text{m}$ (0,25)
 c. Ponto de trabalho da bomba operando só:

$$Q_{\tau} = 55 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \rightarrow (0,125) \Rightarrow H_{B\tau} = 4\text{m} \rightarrow (0,125)$$

$$\eta_B = 59,6 + 60,5 \times \left(\frac{55}{3600} \right) - 39,3 \times \left(\frac{55}{3600} \right)^2 \cong 60,5\% \rightarrow (0,125)$$

$$N_B = \frac{998,2 \times 9,8 \times \left(\frac{55}{3600} \right) \times 4}{0,605} \cong 988,1\text{W} \rightarrow (0,125)$$

- d. Ponto de trabalho da associação em paralelo das bombas:

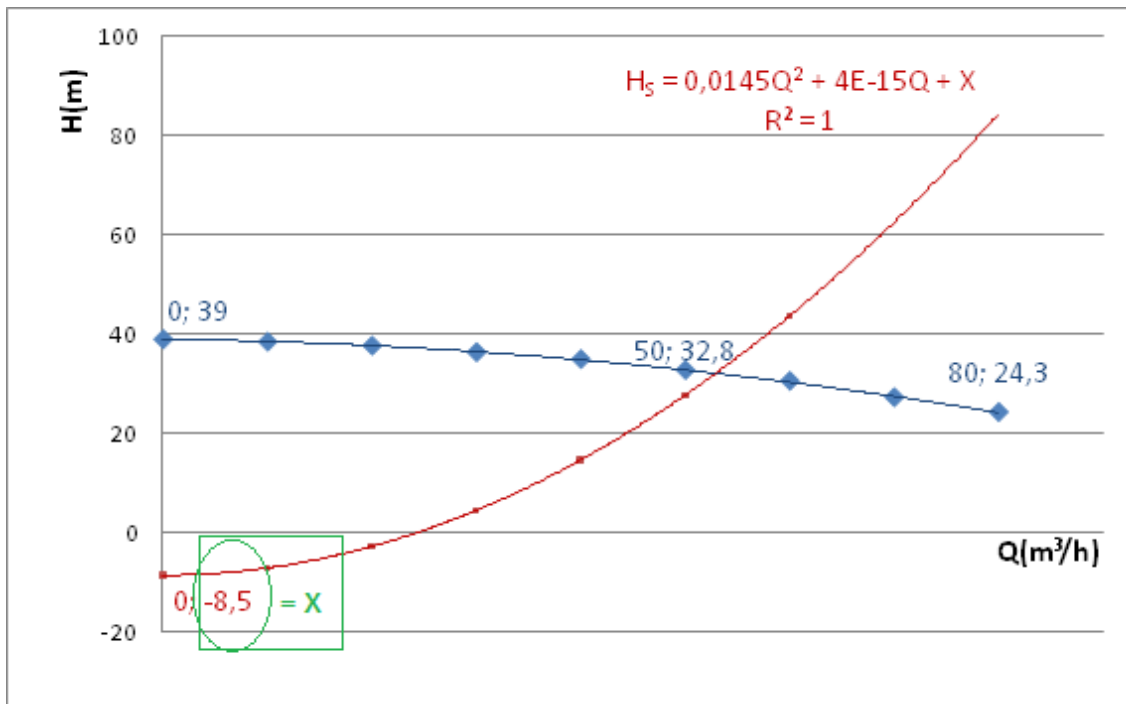
$$Q_{\tau} = 70 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \rightarrow (0,125) \Rightarrow H_{B\tau} = 5\text{m} \rightarrow (0,125)$$

$$\text{Para cada bomba, temos : } Q = \frac{70}{2} = 35 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

$$\eta_B = 59,6 + 60,5 \times \left(\frac{35}{3600} \right) - 39,3 \times \left(\frac{35}{3600} \right)^2 \cong 60,2\% \rightarrow (0,125)$$

$$N_B = 2 \times \frac{998,2 \times 9,8 \times \left(\frac{35}{3600} \right) \times 5}{0,602} \cong 1579,9\text{W} \cong 1,58\text{kW} \rightarrow (0,125)$$

5ª Questão:



a. Para a queda livre, temos $H_s = 0$, portanto:

$$0 = 0,0145 \times Q_{qL}^2 + 4E-15 \times Q_{qL} - 8,5$$

$$4E-15 \times Q_{qL} \cong 0$$

$$Q_{qL} = \sqrt{\frac{8,5}{0,0145}} \cong 24,2 \frac{m^3}{h} \rightarrow (1,0)$$

b. Iniciamos determinando a equação da CCB, para tal consideramos:

$H_B = A \times Q^2 + B \times Q + C$ e aí impomos as seguintes condições de contorno:

- Para $Q = 0 \rightarrow H_B = 39 \text{ m} \rightarrow 39 = 0 + 0 + C \therefore C = 39 \text{ m} \rightarrow (0,125)$

- Para $Q = 50 \text{ m}^3/\text{h} \rightarrow H_B = 32,8 \text{ m}$

$$32,8 = A \times 50^2 + B \times 50 + 39 \rightarrow (I)$$

- Para $Q = 80 \text{ m}^3/\text{h} \rightarrow H_B = 24,3 \text{ m}$

$$24,3 = A \times 80^2 + B \times 80 + 39 \rightarrow (II)$$

Da equação (I) $\Rightarrow \frac{-6,2 - 2500 \times A}{50} = B$, substituindo em (II),

temos:

$$24,3 = A \times 6400 + \left(\frac{-6,2 - 2500 \times A}{50} \right) \times 80 + 39$$

$$24,3 = 6400A - 9,92 - 4000A + 39 \Rightarrow A = \frac{-4,78}{2400}$$

$$A \cong -1,99 \times 10^{-3} \frac{\text{h}^2}{\text{m}^5} \rightarrow (0,125)$$

$$\therefore B = \frac{-6,2 - 2500 \times -1,99 \times 10^{-3}}{50} \cong -0,0245 \frac{\text{h}}{\text{m}^2} \rightarrow (0,125)$$

$$\text{CCB} \Rightarrow H_B = 39 - 0,0245 \times Q - 1,99 \times 10^{-3} \times Q^2 \rightarrow (0,125)$$

No ponto de trabalho:

$$39 - 0,0245 \times Q - 1,99 \times 10^{-3} \times Q^2 = 0,0145 \times Q^2 + 4E - 15 \times Q - 8,5$$

$$0,01648 \times Q^2 + 0,0245 \times Q - 47,5 = 0$$

$$Q_\tau = \frac{-0,0245 + \sqrt{0,0245^2 + 4 \times 0,01648 \times 47,5}}{2 \times 0,01649} \cong 52,9 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \rightarrow (0,50)$$