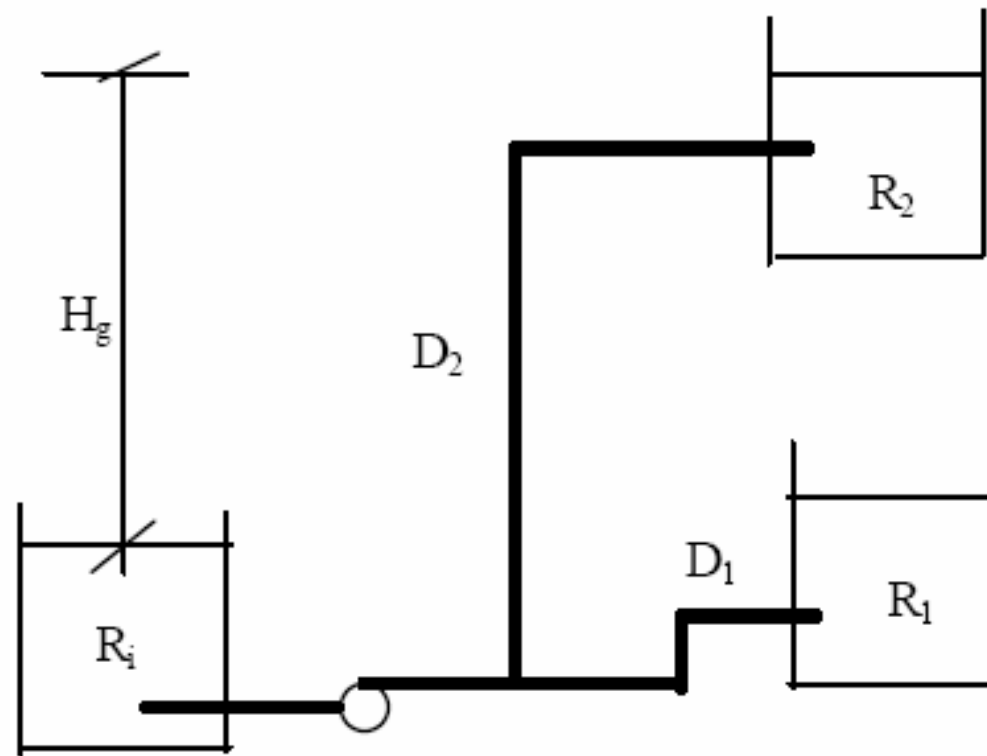


# Associação em série de bombas

Em algumas aplicações, como por exemplo, por condições topográficas ou por qualquer outro motivo, um sistema poderá exigir grandes alturas manométricas, que em alguns casos, pode exceder às faixas de operação de bombas de simples estágio. Nestes casos, uma das soluções é a associação de bombas em série.

# Um exemplo de uma provável necessidade da associação de série de bombas



# Considerando o esquema a seguir é fácil observar que:

1. O líquido passará pela primeira bomba e receberá uma certa carga manométrica e ao entrar na segunda bomba, haverá um novo acréscimo de carga a fim de que o mesmo atinja as condições solicitadas.
2. A vazão que sai da primeira bomba é a mesma que entra na segunda, sendo portanto a vazão em uma associação de bombas em série,

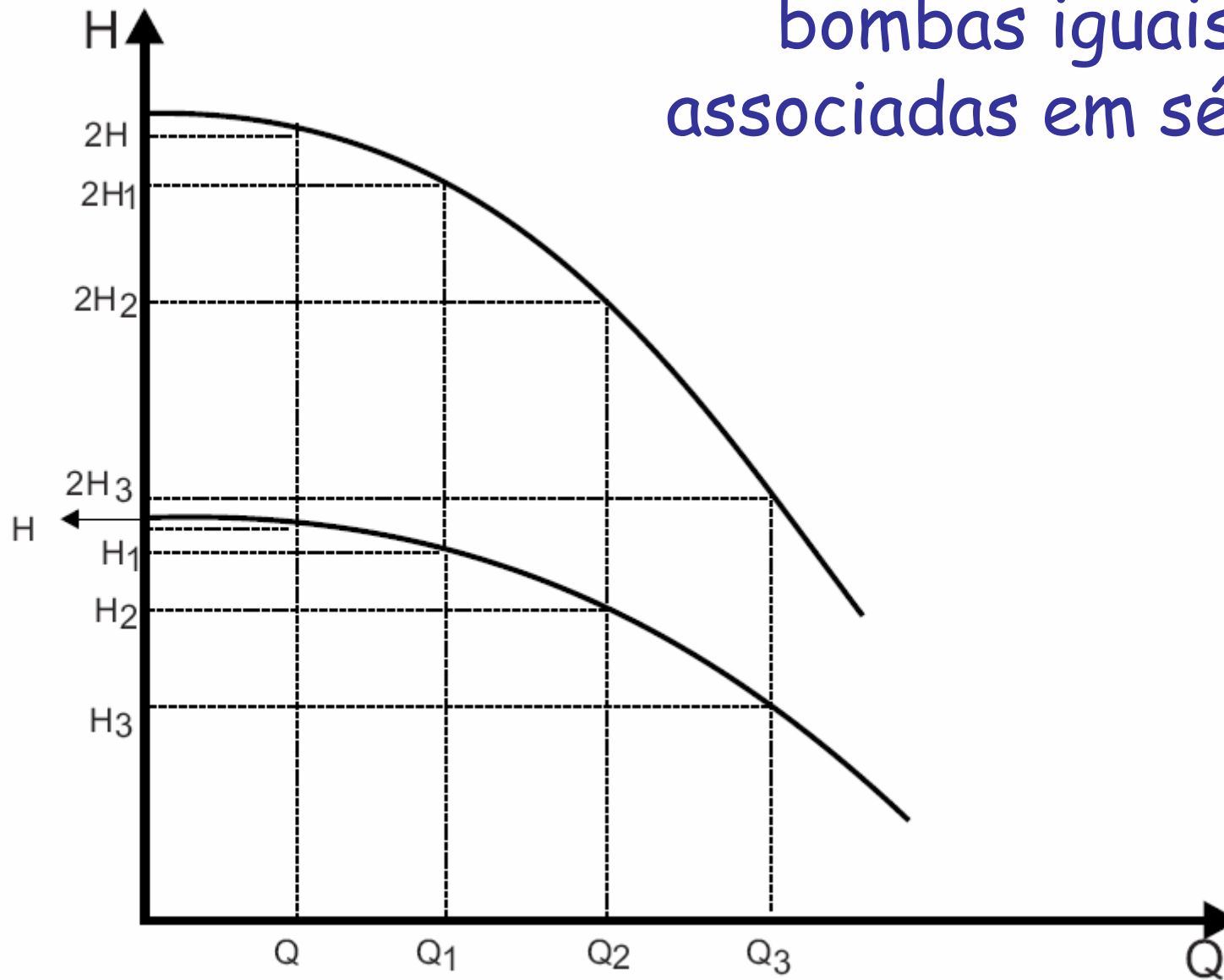


# Conclusão:

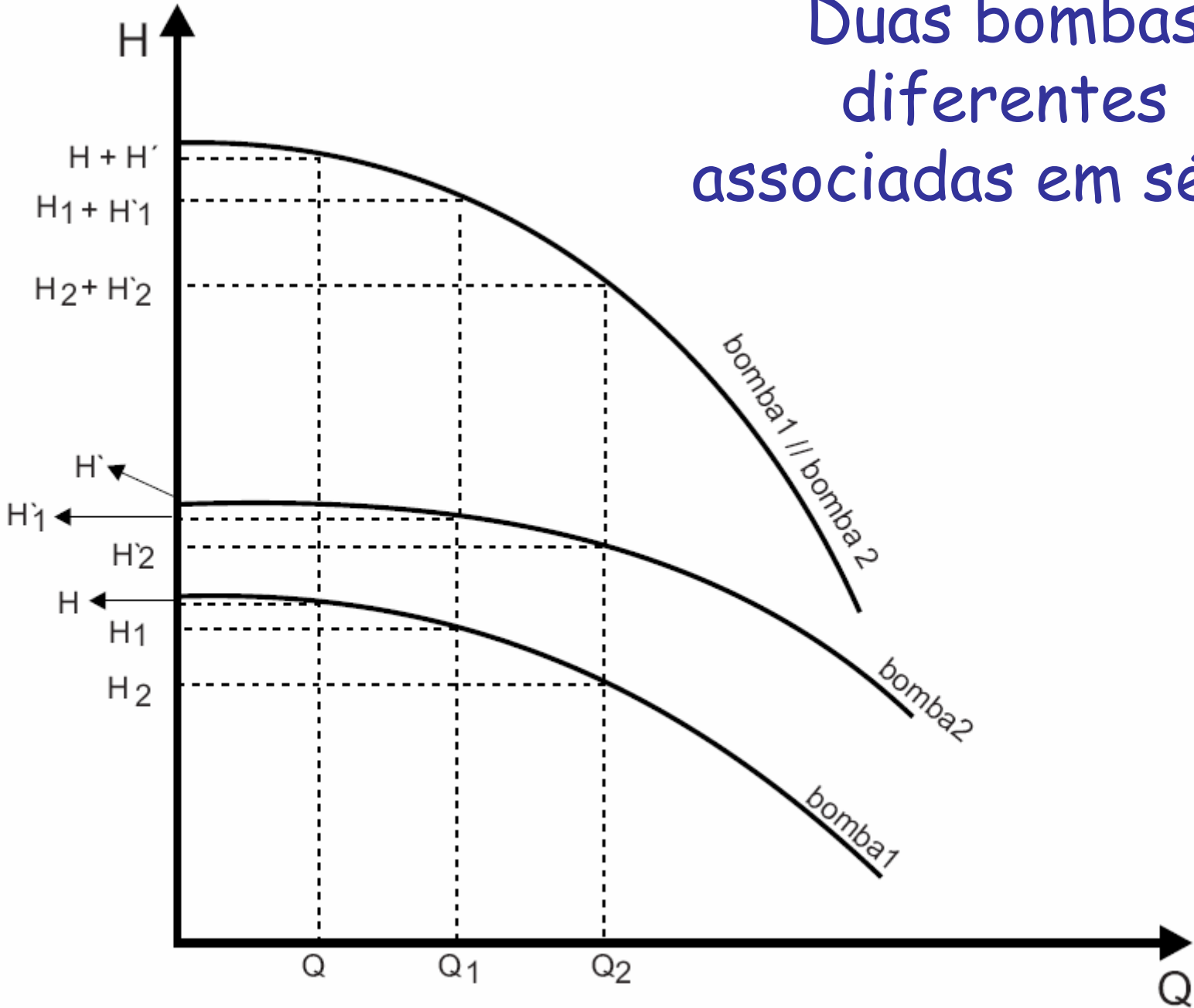
quando associamos duas ou mais bombas em série, para uma mesma vazão, a carga manométrica será a soma da carga manométrica fornecida por cada bomba.

Portanto, para se obter a curva característica resultante de duas bombas em série, iguais ou diferentes, basta somar as alturas manométricas totais, correspondentes aos mesmos valores de vazão, em cada bomba.

Associação de duas bombas iguais associadas em série:



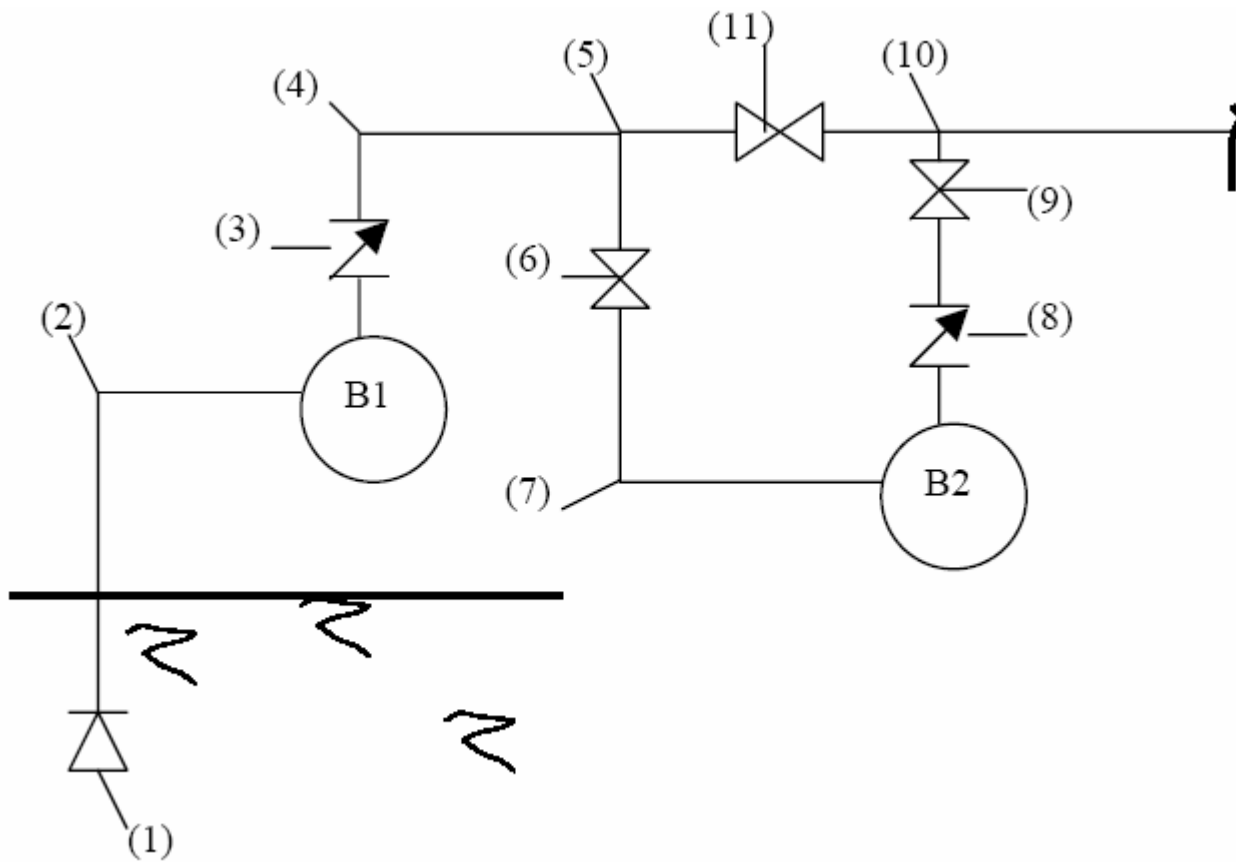
Duas bombas diferentes associadas em série:



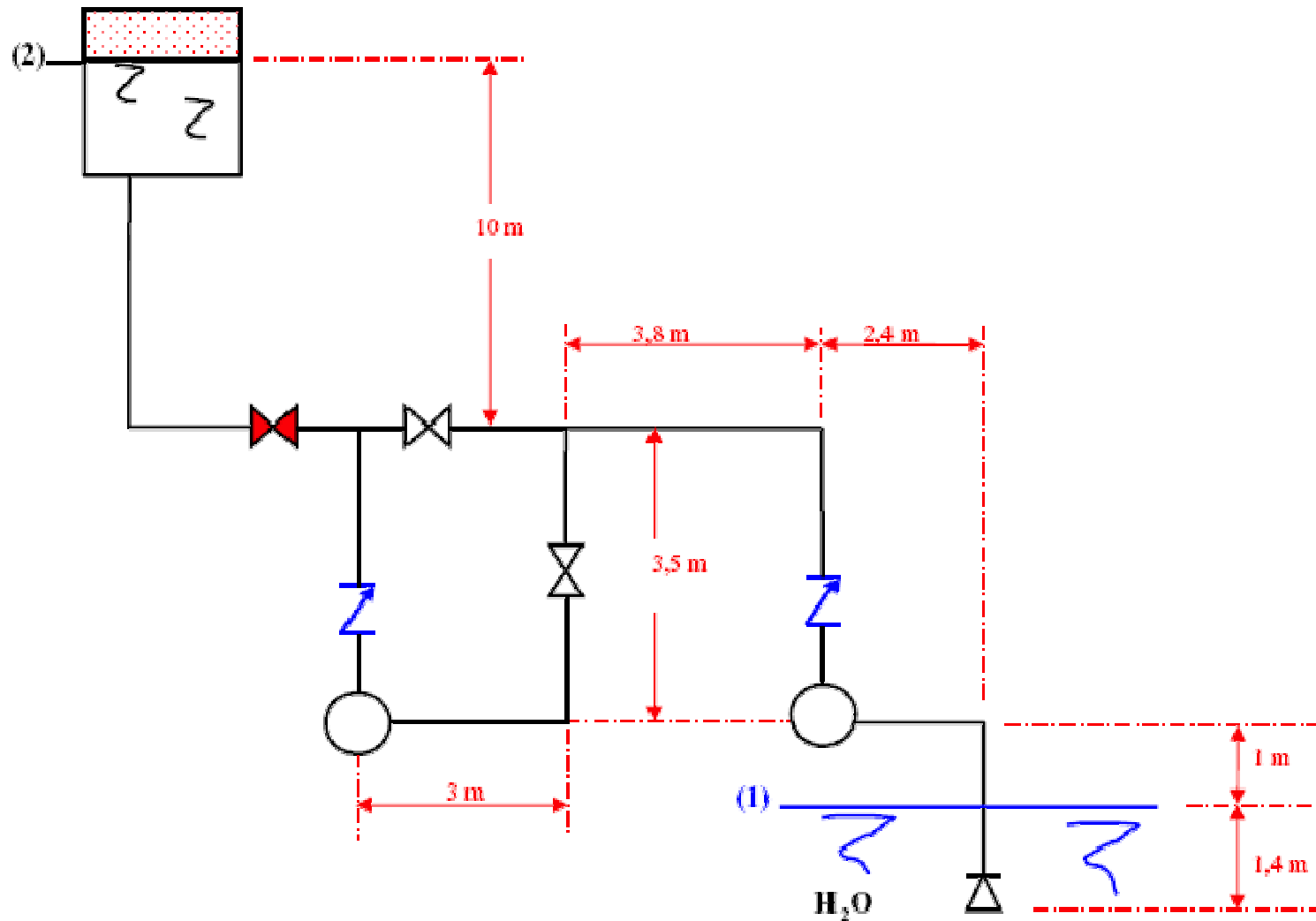
Cuidado:

verificar a pressão máxima suportada no flange das bombas subsequentes.

# Possibilidade da associação em série



# Exercício



Quando a instalação dada opera somente com a bomba B1 a CCI é dada por:

$$H_s = K_1 + 527800 \times Q^2, \text{ onde } Q \rightarrow \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \text{ e } H_s \rightarrow \text{m}$$

Nesta situação a pressão no tanque superior é atmosférica.

Pressurizando o tanque com  $2 \text{ kgf/cm}^2$ , haverá a necessidade de associar B1 e B2. Sabendo-se que a vazão desejada de operação para ambos os casos é  $5,2 \text{ l/s}$ , pede-se:

- (a) a potência de B1 quando operar na instalação (com  $p_2 = 0$ );
- (b) a vazão que será recalçada quando o reservatório superior for pressurizado;
- (c) a potência da associação;
- (d) verificar quanto à cavitação na situação do item (a);
- (e) verificar quanto à cavitação na situação do item (b).

$$f = 0,028 \rightarrow D_{\text{tubo}} = 52,5 \text{ mm} \rightarrow p_{\text{atm}} = 690 \text{ mmHg}$$

Dados:

$$\gamma_{\text{H}_2\text{O}} = 1000 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^3} \rightarrow p_{\text{vapor}} = 0,0236 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} (\text{abs})$$

Tipo	Válvula retenção	T passage m direta	T para ramal ou saída lateral	Cotovêlo	Válvula gaveta	Válvula de pé com crivo
Leq (m)	3	1	2	2	1	18

**Importante:** não recorrer a dados adicionais, ou seja, este problema deve ser resolvido exclusivamente com os dados aqui fornecidos.

Dados a seguir referente as bombas utilizadas na instalação:

Q (l/s)	HB (m)	$\eta$ (%)	NPSH (m)
0	51		
1	50	42	1,5
2	48	54	1,6
3	46	61,5	1,8
4	42	65	2,1
5	38	62	2,5
6	32	53	3
7	25	42	3,6
8	12		4,2

# Resolução

a) a potência da bomba operando isoladamente.

Inicia-se calculando a carga estática da instalação, ou seja:

$$H_{est} = (z_f - z_i) + \left( \frac{p_f - p_i}{\gamma} \right) = 14,5m$$

Portanto:

$$H_S = 14,5 + 527800Q^2 \rightarrow CCI$$

E isto permite obter a sua representação:

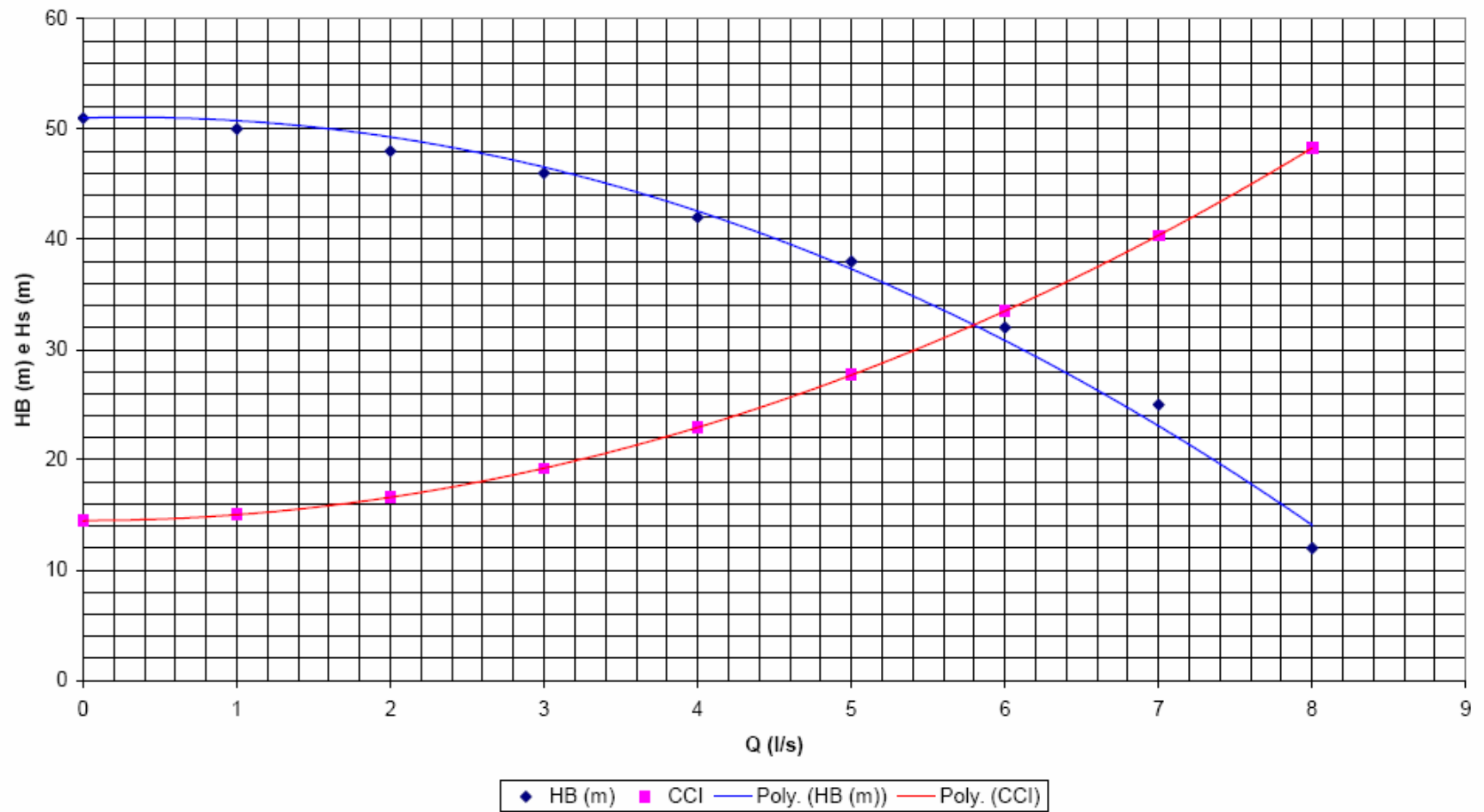
Q (l/s)	HB (m)	$\eta$ (%)	NPSH (m)	Hs (m)
0	51			14,5
1	50	42	1,5	15,0
2	48	54	1,6	16,6
3	46	61,5	1,8	19,3
4	42	65	2,1	22,9
5	38	62	2,5	27,7
6	32	53	3	33,5
7	25	42	3,6	40,4
8	12		4,2	48,3

Com a tabela anterior pode-se obter os diagramas a seguir:

$$y = -0,6257x^2 + 0,3918x + 51$$
$$R^2 = 0,9907$$

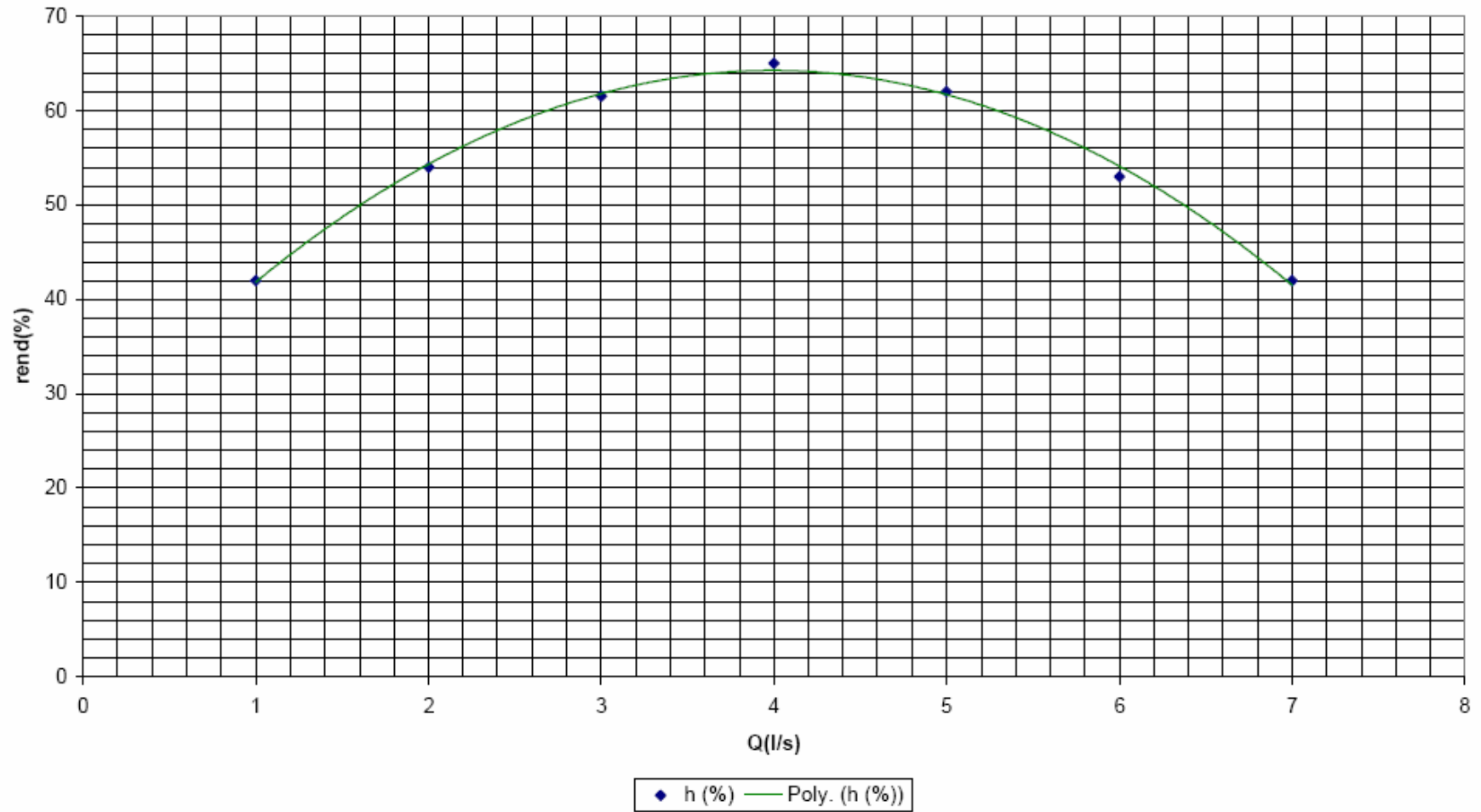
Ponto de trabalho

$$y = 0,5278x^2 + 2E-14x + 14,5$$
$$R^2 = 1$$



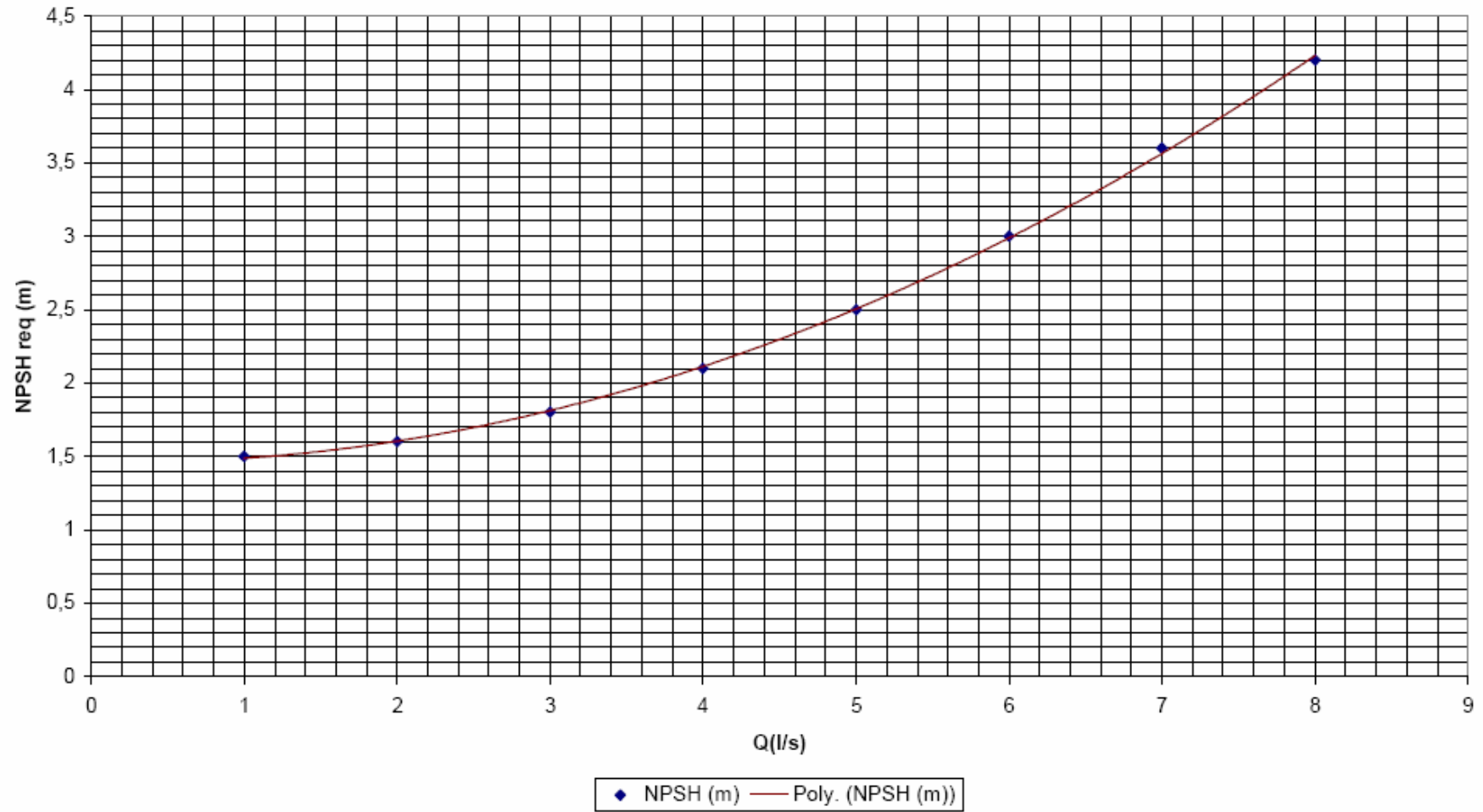
rendimento (%)

$$y = -2,506x^2 + 19,994x + 24,357$$
$$R^2 = 0,9956$$



NPSH (m)

$$y = 0,0458x^2 - 0,0208x + 1,4625$$
$$R^2 = 0,9996$$



O ponto de trabalho é obtido igualando-se a equação da CCB com a da CCI, ou seja:

$$-0,6257Q^2 + 0,3918Q + 51 = 0,5278Q^2 + 2e - 14x + 14,5$$

$$\therefore 1,1535Q^2 - 0,3918Q - 36,5 = 0$$

$$Q = \frac{0,3918 \pm \sqrt{(-0,3918)^2 + 4 \times 1,1535 \times 36,5}}{2 \times 1,1535}$$

$$\therefore Q = 5,8 \frac{l}{s}$$

Considerando a vazão obtida acima respectivamente nas equações da CCI, do rendimento e do  $NPSH_{requerido}$  resulta:

$$H_B = 0,5278 \times (5,8)^2 + 2e - 14 \times 5,8 + 14,5 \cong 32,3m$$

$$\eta_B = -2,506 \times (5,8)^2 + 19,994 \times 5,8 + 24,357 \cong 56\%$$

$$NPSH_{requerido} = 0,0458 \times (5,8)^2 - 0,0208 \times 5,8 + 1,4625 \cong 2,9m$$

Com as informações do ponto de trabalho, pode-se calcular a potência da bomba, ou seja:

$$N_B = \frac{1000 \times 5,8 \times 10^{-3} \times 32,3}{0,56} \cong 334,5 \frac{\text{kgf} \times \text{m}}{\text{s}} = 4,5 \text{CV}$$

b) a vazão de escoamento com a associação em série das bombas  
Quando o reservatório superior for pressurizado há a necessidade de se trabalhar com a associação em série, e isto implica que além da  $CCB_{\text{associação}}$ , deve-se obter a nova equação da CCI, já que ocorrerá mudança tanto na carga estática, como na parcela correspondente a perda de carga, como mostrado a seguir:

$$H_{est_{nova}} = 14,5 + \frac{20000 - 0}{1000} = 34,5 \text{ m}$$

$$B_{inst_{nova}} = 527800 - 0,028 \times \frac{(3 + 2 \times 1 + 1)}{0,0525} \times \frac{1}{2 \times 9,8 \times \left( \frac{\pi \times 0,0525^2}{4} \right)^2} +$$

$$0,028 \times \frac{(10 + 2 \times 2 + 1 + 2 + 3)}{0,0525} \times \frac{1}{2 \times 9,8 \times \left( \frac{\pi \times 0,0525^2}{4} \right)^2} \cong 5359293,1$$

$$\therefore H_{S_{nova}} = 34,5 + 609093,11Q^2$$

Para obtenção do ponto de trabalho, deve-se proceder de forma análoga a feita para o item anterior, porém com a nova CCI e com a associação em série, onde se tem a mesma vazão e a soma da carga manométrica, portanto:

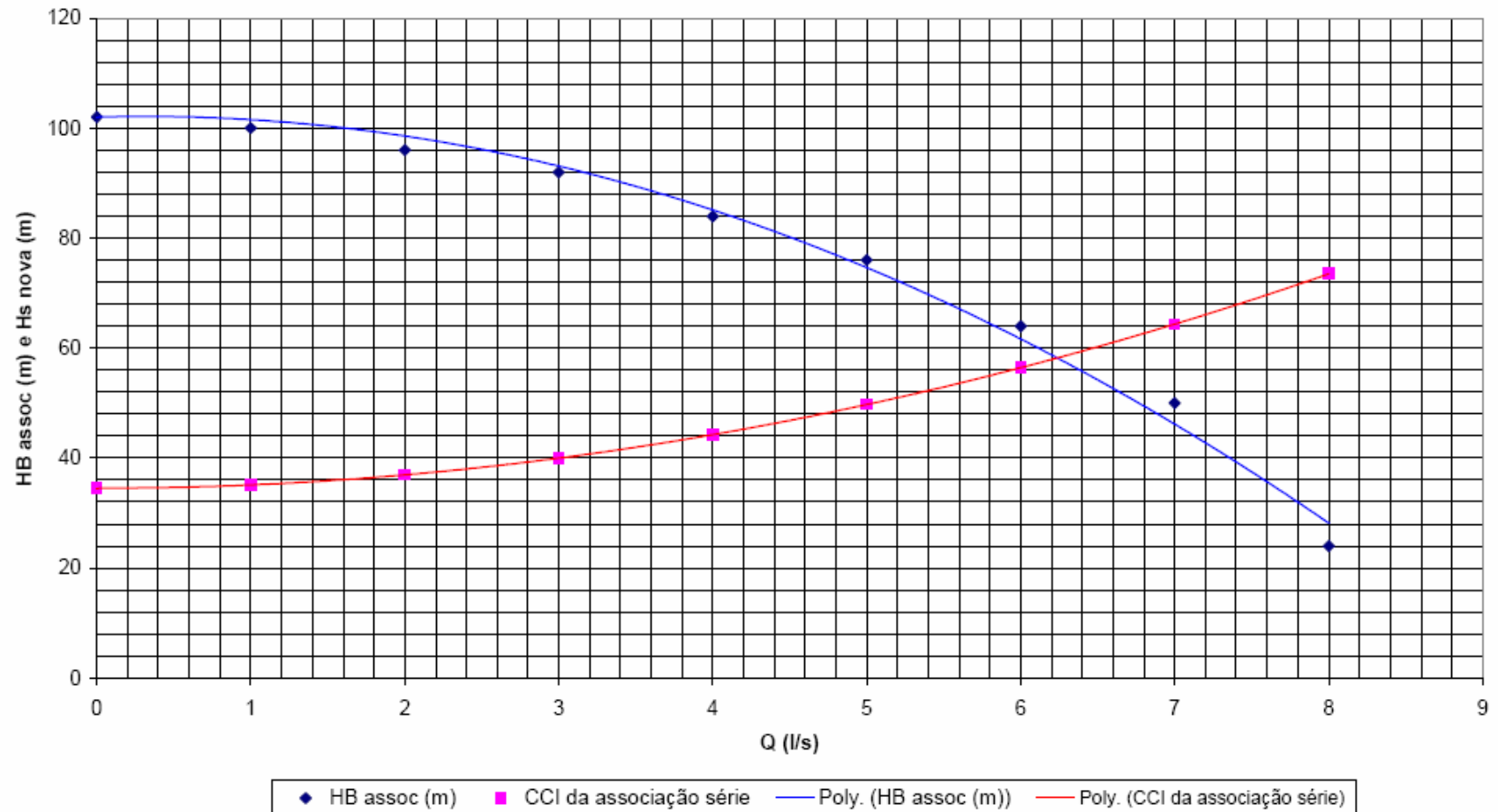
Q (l/s)	HB assoc (m)	Hs nova (m)
0	102	34,5
1	100	35,1
2	96	36,9
3	92	40,0
4	84	44,2
5	76	49,7
6	64	56,4
7	50	64,3
8	24	73,5

Com a tabela anterior, pode-se determinar o novo ponto de trabalho e em particular a vazão de escoamento para esta nova situação:

$$y = -1,2514x^2 + 0,7835x + 102$$
$$R^2 = 0,9907$$

Ponto de trabalho para associação série

$$y = 0,6091x^2 + 2E-14x + 34,5$$
$$R^2 = 1$$



$$-1,2514Q^2 + 0,7835Q + 102 = 0,6091Q^2 + 2e^{-14}Q + 34,5$$

$$\therefore 1,8605Q^2 - 0,7835Q - 67,5 = 0$$

$$Q = \frac{0,7835 \pm \sqrt{(-0,7835)^2 + 4 \times 1,8605 \times 67,5}}{2 \times 1,8605} \therefore Q \cong 6,24 \frac{\text{l}}{\text{s}} (\text{litro} / \text{s})$$

c) a potência da associação em série das bombas

Como as bombas são iguais, pode-se afirmar que o rendimento da associação em série é igual ao rendimento da bomba isolada, portanto:

$$\eta_{B_{\text{associação}}} = -2,506 \times (6,24)^2 + 19,994 \times 6,24 + 24,357 \cong 51,5\%$$

Por outro lado, com a vazão do ponto de trabalho na equação da nova CCI, tem-se que:

$$H_{B_{\text{associação}}} = 0,6091 \times (6,24)^2 + 2 \times e^{-14} \times 6,24 + 34,5 \cong 58,2 \text{ m}$$

Portanto:

$$N_{B_{\text{associação}}} = \frac{1000 \times 6,24 \times 10^{-3} \times 58,2}{0,515} \cong 705,2 \frac{\text{kgf} \times \text{m}}{\text{s}} \cong 9,4 \text{ CV}$$

d) verificação do fenômeno de cavitação para o item a  
Para verificar-se o fenômeno de cavitação há a necessidade de se calcular o  $NPSH_{\text{disponível}}$  e para isto adota-se o PHR no eixo da bomba e calcula-se a perda de carga antes da bomba com a vazão do ponto de trabalho.

$$NPSH_{\text{disponível}} = Z_1 + \frac{P_{1_{\text{obs}}} - P_{\text{vapor}}}{\gamma} - f_{aB} \times \frac{(L_{aB} + \sum L_{eq_{aB}})}{D_{H_{aB}}} \times \frac{Q_t^2}{2 \times g \times A_{aB}^2}$$
$$NPSH_{\text{disponível}} = -1 + \frac{0,69 \times 13600 - 0,0236 \times 10^4}{1000} - 0,028 \times \frac{(4,8 + 18 + 2)}{0,0525} \times \frac{\left(\frac{5,8}{1000}\right)^2}{2 \times 9,8 \times \left(\frac{\pi \times 0,0525^2}{4}\right)^2}$$

$$\therefore NPSH_{\text{disponível}} = 3,3 \text{ m}$$

$$\therefore NPSH_{\text{disponível}} - NPSH_{\text{requerido}} = 3,3 - 2,9 = 0,4 \text{ m}$$

e) verificação do fenômeno de cavitação para o item b

No caso da associação em série basta verificar o fenômeno de cavitação para a primeira bomba, onde deve-se obter o novo  $NPSH_{requerido}$  e isto resulta:

$$NPSH_{requerido} = 0,0458 \times (6,24)^2 - 0,0208 \times 6,24 + 1,4625 \cong 3,12 \text{ m}$$

$$NPSH_{disponível} = Z_1 + \frac{p_{1_{abs}} - p_{vapor}}{\gamma} - f_{aB} \times \frac{(L_{aB} + \sum L_{eq_{aB}})}{D_{H_{aB}}} \times \frac{Q_t^2}{2 \times g \times A_{aB}^2}$$

$$NPSH_{disponível} = -1 + \frac{0,69 \times 13600 - 0,0236 \times 10^4}{1000} - 0,028 \times \frac{(4,8 + 18 + 2)}{0,0525} \times \frac{\left(\frac{6,24}{1000}\right)^2}{2 \times 9,8 \times \left(\frac{\pi \times 0,0525^2}{4}\right)^2}$$

$$\therefore NPSH_{disponível} = 2,54 \text{ m}$$

$$\therefore NPSH_{disponível} - NPSH_{requerido} = 2,54 - 3,12 = -0,58 \text{ m}$$

No item d) não está cavitando, porém a reserva é baixa, já no item e) cavita.

# Fonte de consulta

- <http://www.escoladavida.eng.br/mecfluquimica/associacoes%20de%20bombas.pdf>
- <http://pqj.ep.usp.br/disciplinas/pqi467/redetubo.pdf>
- [http://www.facens.br/alunos/material/PedrazziC002PNC2/pedrazzi\\_bombas.pdf](http://www.facens.br/alunos/material/PedrazziC002PNC2/pedrazzi_bombas.pdf)