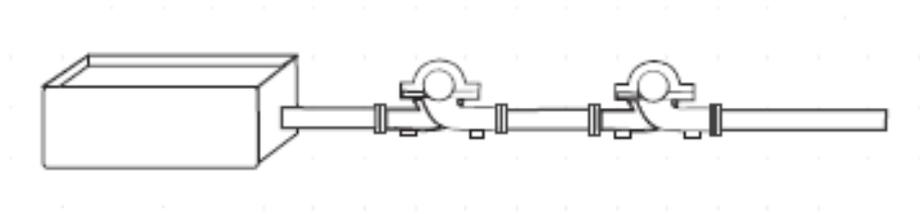


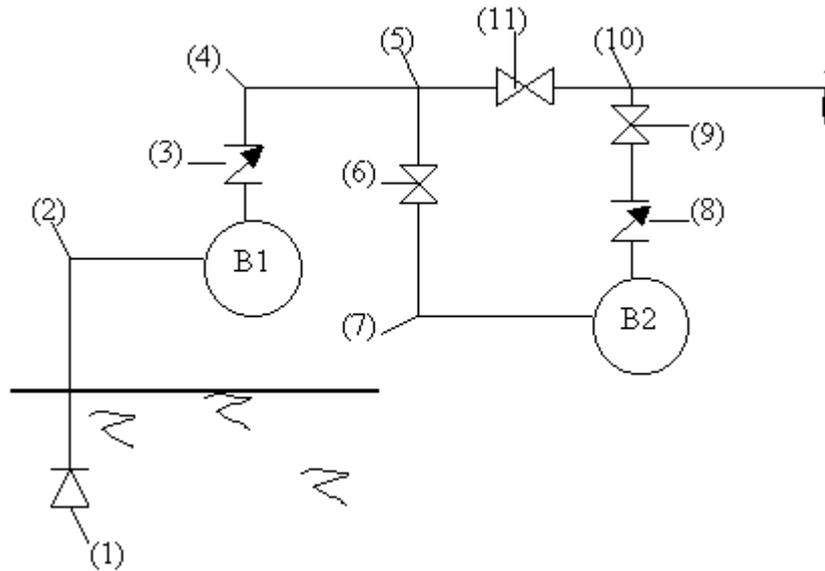
Nona aula

17/10/2011

Associação em série de bombas hidráulicas



Uma das possibilidades de viabilizar a associação em série



No funcionamento somente da bomba B1, a bomba B2 deve ser considerada como uma bomba reserva.

Esta associação é possível com as bombas: B7 e B8, respectivamente as bombas das bancadas 7 e 8 do laboratório de mecânica dos fluidos (sala IS01) do Centro Universitário da FEI.

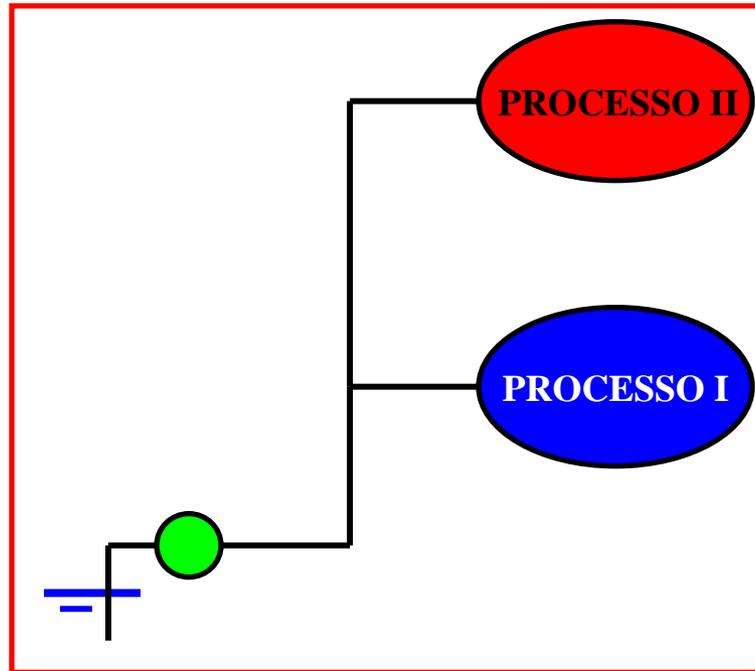
Uma das possibilidades de funcionamento



Quando se deve pensar em associar bombas hidráulicas em série?

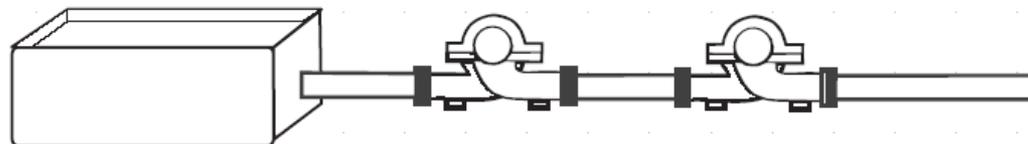
Em algumas aplicações, como por exemplo, por condições topográficas ou por qualquer outro motivo, um sistema poderá exigir grandes alturas manométricas, que em alguns casos, pode exceder às faixas de operação de bombas de simples estágio. Nestes casos, uma das soluções é a associação de bombas em série.

Exemplo: na implantação de um novo processo, o qual por exemplo irá operar separadamente do processo original e exige uma carga manométrica maior.



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 constante.

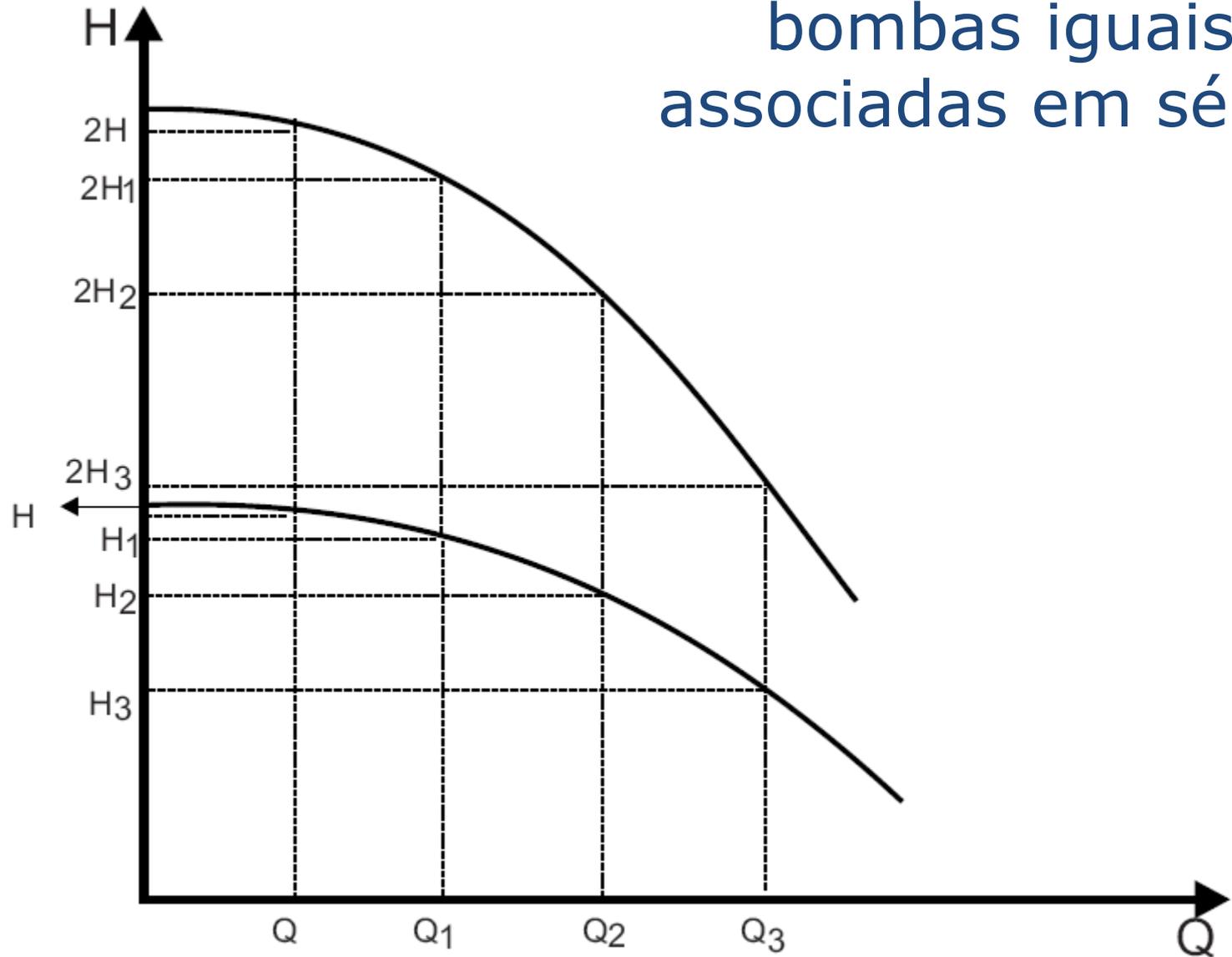


Conclusão:

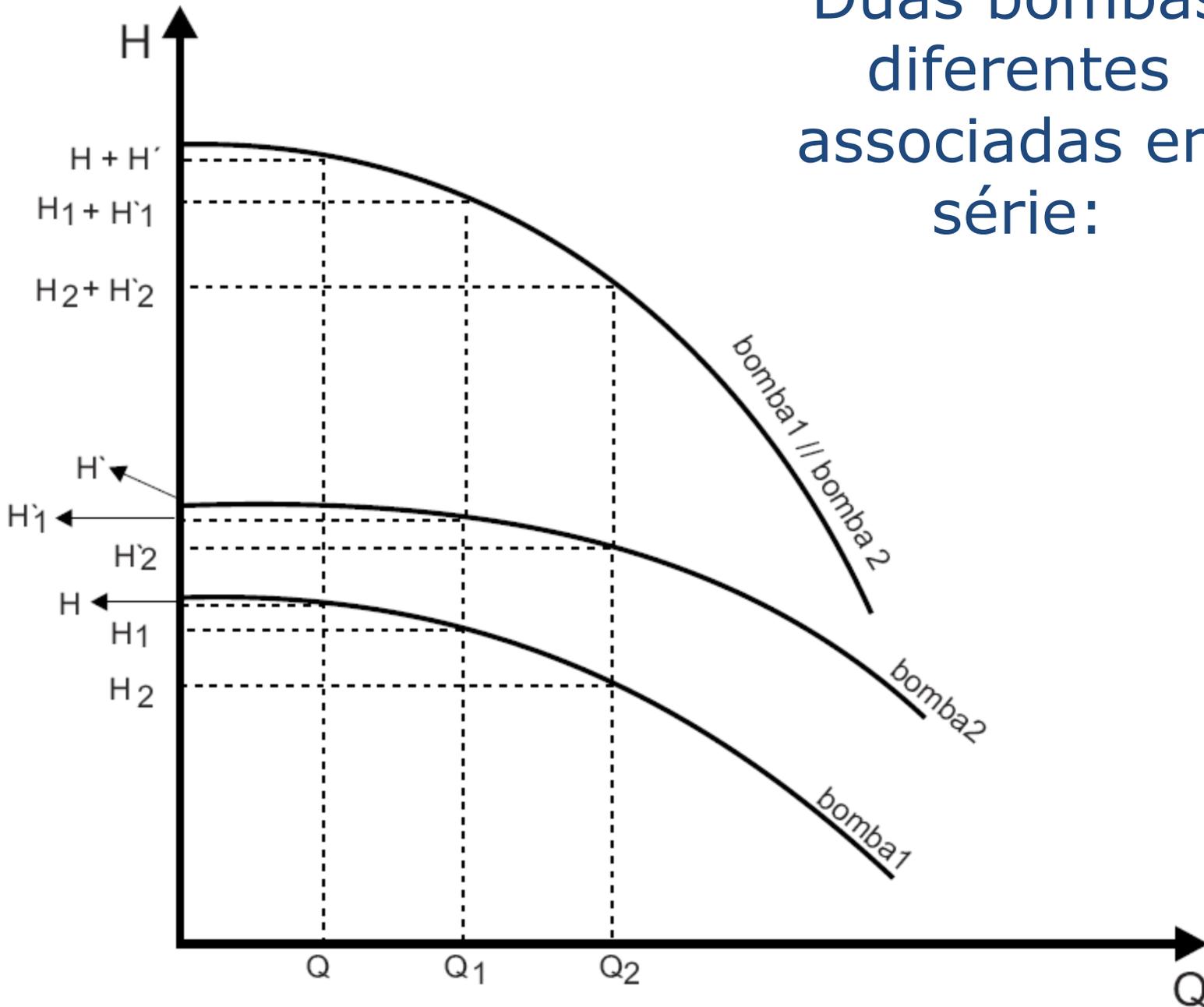
quando associamos duas ou mais bombas em série, para uma mesma vazão, a carga manométrica será a soma da carga manométrica fornecida por cada bomba.

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.

Cálculo do rendimento da associação em série de bombas.

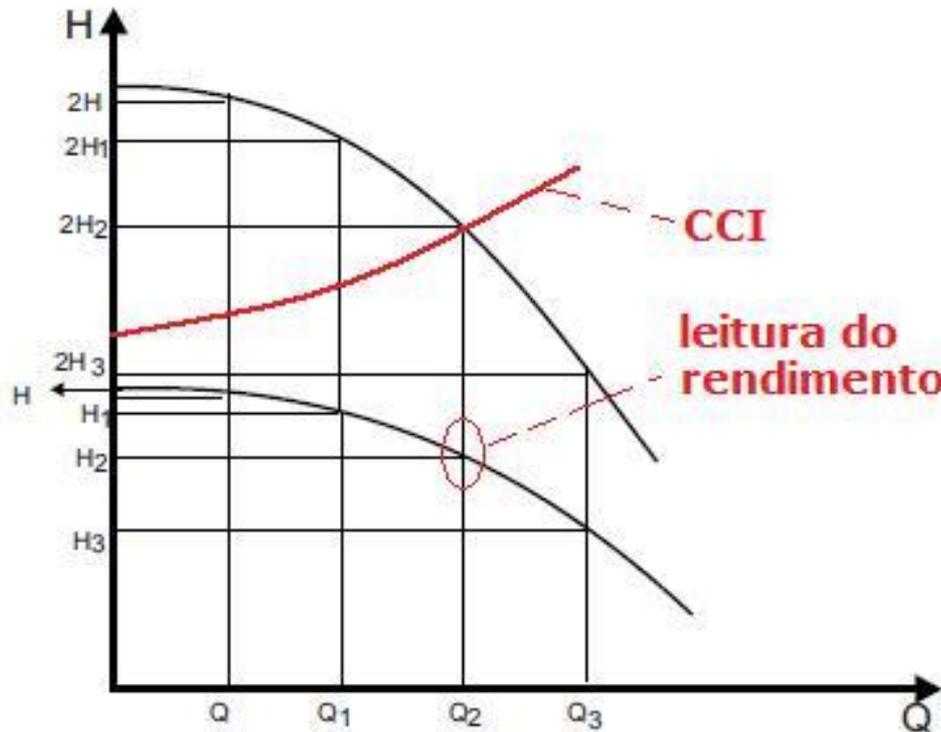
$$N_{B_{assoc}} = N_{B_{B1}} + N_{B_{B2}}$$

$$\frac{\gamma \times Q \times H_{B_{as}}}{\eta_{B_{as}}} = \frac{\gamma \times Q \times H_{B_{B1}}}{\eta_{B_{B1}}} + \frac{\gamma \times Q \times H_{B_{B2}}}{\eta_{B_{B2}}}$$

$$\frac{H_{B_{as}}}{\eta_{B_{as}}} = \frac{H_{B_{B1}}}{\eta_{B_{B1}}} + \frac{H_{B_{B2}}}{\eta_{B_{B2}}}$$

$$\eta_{B_{as}} = \frac{H_{B_{as}}}{\frac{H_{B_{B1}}}{\eta_{B_{B1}}} + \frac{H_{B_{B2}}}{\eta_{B_{B2}}}}$$

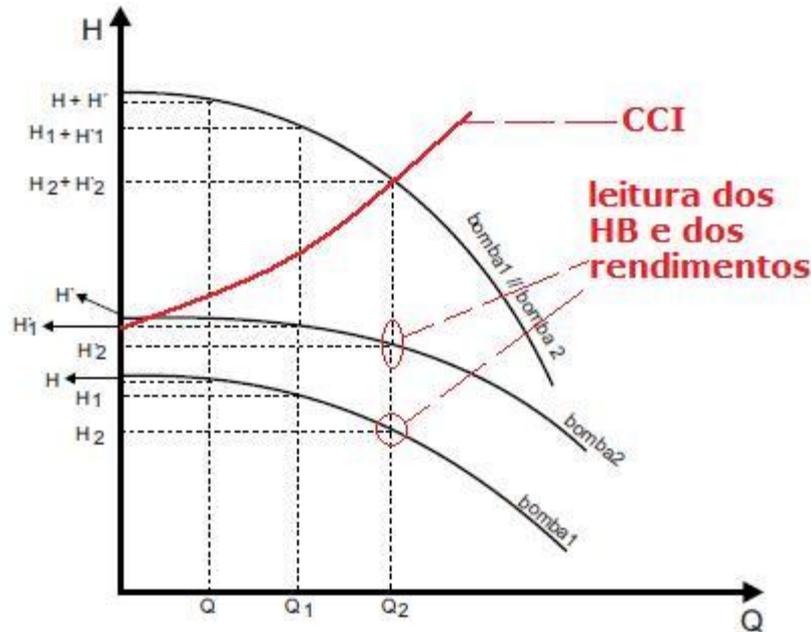
Cálculo do rendimento da associação em série de bombas iguais.



$$H_{B_{B1}} = H_{B_{B2}} \text{ e } \eta_{B_{B1}} = \eta_{B_{B2}}$$

$$\therefore \eta_{B_{as}} = \eta_{B_{B1}} = \eta_{B_{B2}}$$

Cálculo do rendimento da associação em série de bombas diferentes.



$$\eta_{B_{as}} = \frac{H_{B_{as}}}{\frac{H_{B_{B1}}}{\eta_{B_{B1}}} + \frac{H_{B_{B2}}}{\eta_{B_{B2}}}}$$

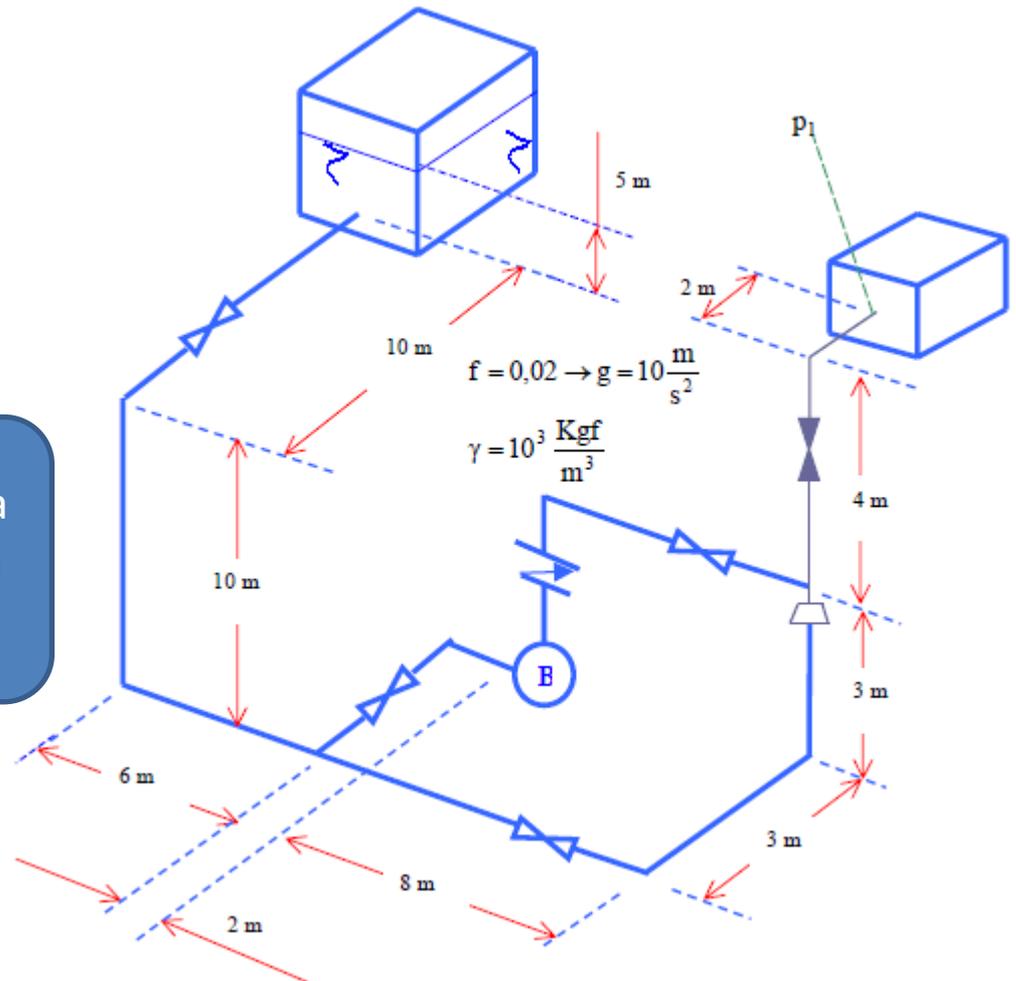
$$H_{B_{B1}} = H_2$$

$$H_{B_{B2}} = H_2'$$

Vamos agora retornar ao exercício:

7.12.15

Vamos recordar a condição descrita no próximo slide



Proposta:

Utilizando as bombas H 50-C com diâmetros de rotor igual a 185 mm e 214 mm, especifique a vazão e a carga manométrica no ponto de trabalho para a situação em que o processo exige a pressão igual a $1,5 \text{ kgf/cm}^2$, isto porque a instalação não funciona sem bomba.

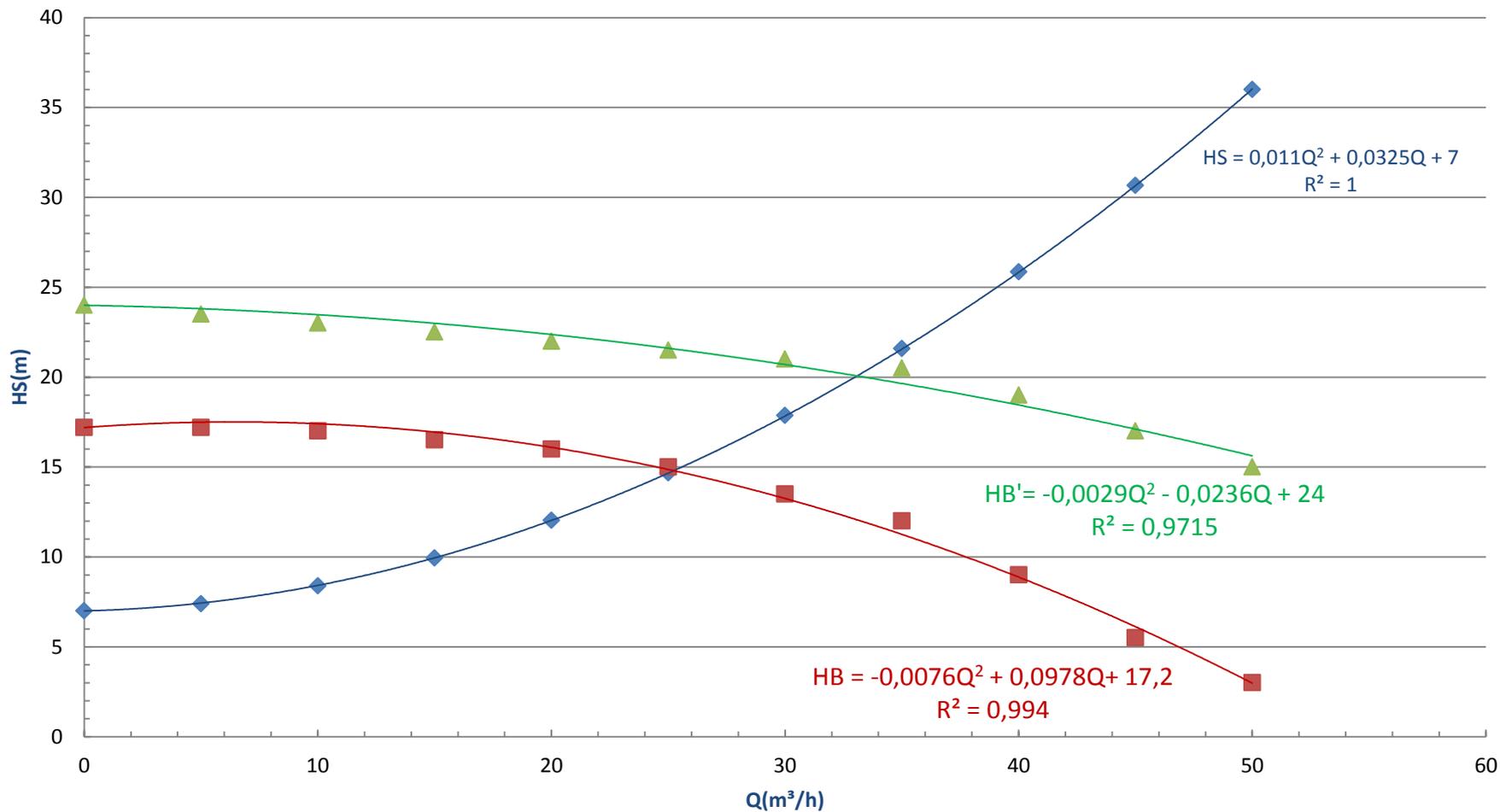


Tabela para determinação do ponto de trabalho

Dr = 214 mm Dr = 185 mm

Q(m ³ /h)	f ₂ "	f ₃ "	H _S (m)	H _B (m)	H _{B'} (m)	
0	0	0	7	17,2	24	
5	0,0275	0,0293	7,4	17,2	23,5	
10	0,0244	0,0253	8,4	17	23	
15	0,0230	0,0235	9,9	16,5	22,5	
20	0,0223	0,0224	12,0	16	22	
25	0,0218	0,0217	14,7	15	21,5	
30	0,0214	0,0212	17,9	13,5	21	10834,9
35	0,0211	0,0208	21,6	12	20,5	
40	0,0209	0,0205	25,9	9	19	5138833,0
45	0,0207	0,0202	30,7	5,5	17	
50	0,0206	0,0200	36,0	3	15	1683936,0

CCI sem bomba



$HS = 0,011Q^2 + 0,0325Q + 7$
 $R^2 = 1$

$HB' = -0,0029Q^2 - 0,0236Q + 24$
 $R^2 = 0,9715$

$HB = -0,0076Q^2 + 0,0978Q + 17,2$
 $R^2 = 0,994$

- ◆ HS(m)
- CCB_214
- ▲ CCB_185
- Polinômio (HS(m))
- Polinômio (CCB_214)
- Polinômio (CCB_185)

O ponto de trabalho é definido no cruzamento da CCB com a CCI

Dr = 214 mm

$$\begin{aligned} -0,0076Q^2 + 0,0978Q + 17,2 &= 0,011Q^2 + 0,0325Q + 7 \\ 0,0186Q^2 - 0,0653Q - 10,2 &= 0 \end{aligned}$$

$$Q_{\tau} = \frac{0,0653 + \sqrt{0,0653^2 + 4 \times 0,0186 \times 10,2}}{2 \times 0,0186} \cong 25,2 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

$$H_{B_{\tau}} = 0,011 \times 25,2^2 + 0,0325 \times 25,2 + 7 \cong 14,8 \text{m}$$

Dr = 185 mm

$$\begin{aligned} -0,0029Q^2 - 0,0236Q + 24 &= 0,011Q^2 + 0,0325Q + 7 \\ 0,0139Q^2 + 0,0561Q - 17 &= 0 \end{aligned}$$

$$Q_{\tau} = \frac{-0,0561 + \sqrt{0,0561^2 + 4 \times 0,0139 \times 17}}{2 \times 0,0139} \cong 33,0 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

$$H_{B_{\tau}} = 0,011 \times 33^2 + 0,0325 \times 33 + 7 \cong 20,1 \text{m}$$

Nova situação:

uma alteração no processo e passou a se ter a necessidade de uma pressão na seção 1 igual a $3,5 \text{ kgf/cm}^2$ mantendo-se a vazão obtida com o diâmetro do rotor de 214 mm, ou seja, $Q = 18,2 \text{ m}^3/\text{h}$, a qual já se considerou um fator de segurança mínimo.



Obtenção da CCI nesta condição

$$H_{\text{inicial}} + H_S = H_{\text{final}} + H_{p_2''} + H_{p_3''}$$

Adotando o PHR no chão :

$$15 + H_S = 7 + \frac{3,5 \times 10^4}{10^3} + \frac{Q^2}{19,6 \times (21,7 \times 10^{-4})^2} + H_{p_2''} + H_{p_3''}$$

$$H_S = 27 + \frac{Q^2}{19,6 \times (21,7 \times 10^{-4})^2} + H_{p_2''} + H_{p_3''}$$

$$H_{p_2''} = f_{2''} \times \frac{(6 + 21,5)}{52,5 \times 10^{-3}} \times \frac{Q^2}{19,6 \times (21,7 \times 10^{-4})^2} \cong f_{2''} \times 5675418,0 \times Q^2$$

$$H_{p_3''} = f_{3''} \times \frac{(42 + 26,8)}{77,9 \times 10^{-3}} \times \frac{Q^2}{19,6 \times (47,7 \times 10^{-4})^2} \cong f_{3''} \times 1980423,9 \times Q^2$$

$$H_S = 27 + 10834,9 \times Q^2 + f_{2''} \times 5675418,0 \times Q^2 + f_{3''} \times 1980423,9 \times Q^2$$

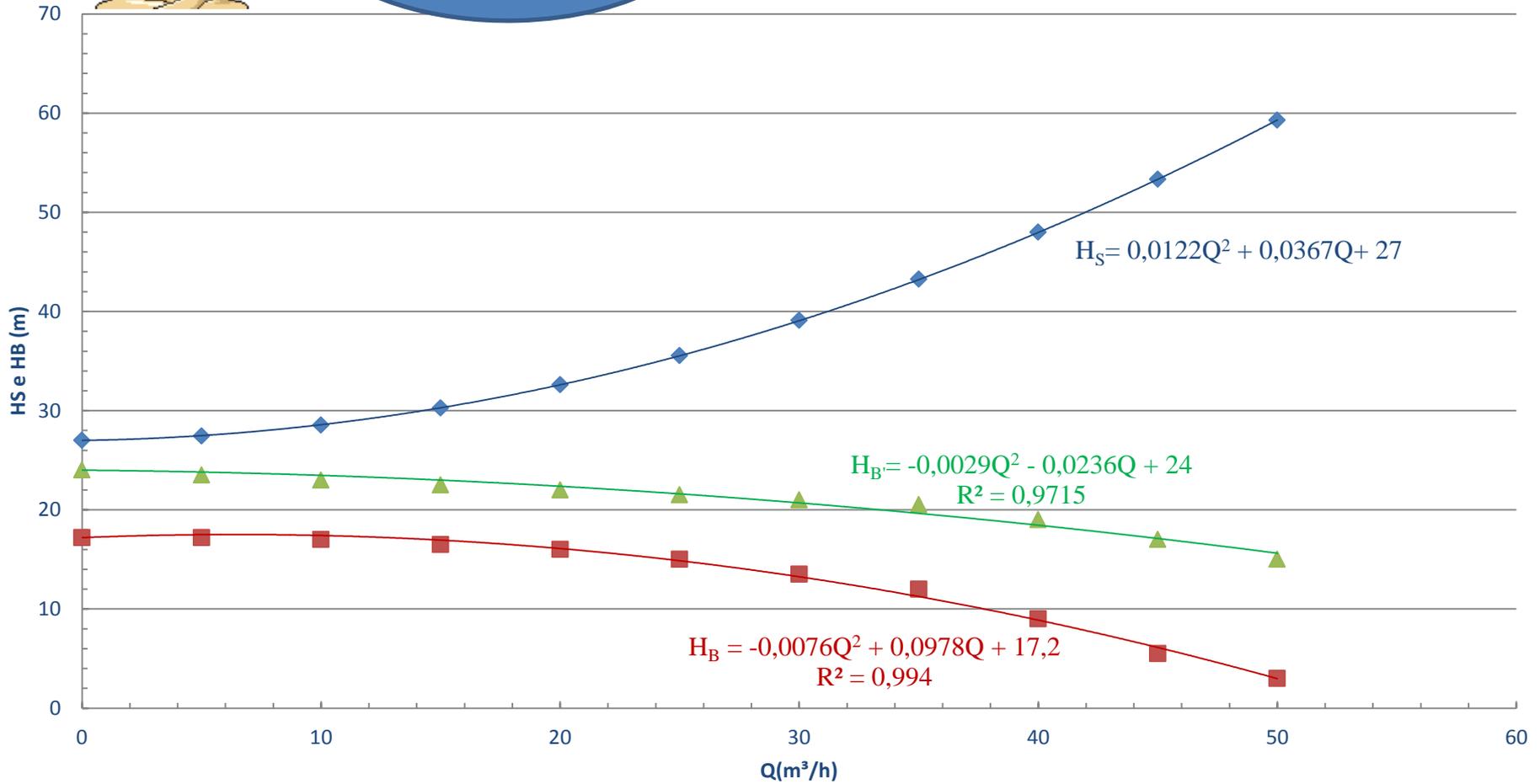
Tabela para determinação do ponto de trabalho

				Dr = 214 mm	Dr = 185 mm		
Q(m ³ /h)	f ₂ "	f ₃ "	H _S (m)	H _B (m)	H _{B'} (m)		
0	0	0	27	17,2	24		
5	0,0275	0,0293	27,4	17,2	23,5		
10	0,0244	0,0253	28,5	17	23		
15	0,0230	0,0235	30,3	16,5	22,5		
20	0,0223	0,0224	32,6	16	22		
25	0,0218	0,0217	35,5	15	21,5		
30	0,0214	0,0212	39,1	13,5	21		10834,9
35	0,0211	0,0208	43,2	12	20,5		
40	0,0209	0,0205	48,0	9	19		5675418,0
45	0,0207	0,0202	53,3	5,5	17		
50	0,0206	0,0200	59,3	3	15		1980423,9



Não existe ponto de trabalho!

Ponto de trabalho

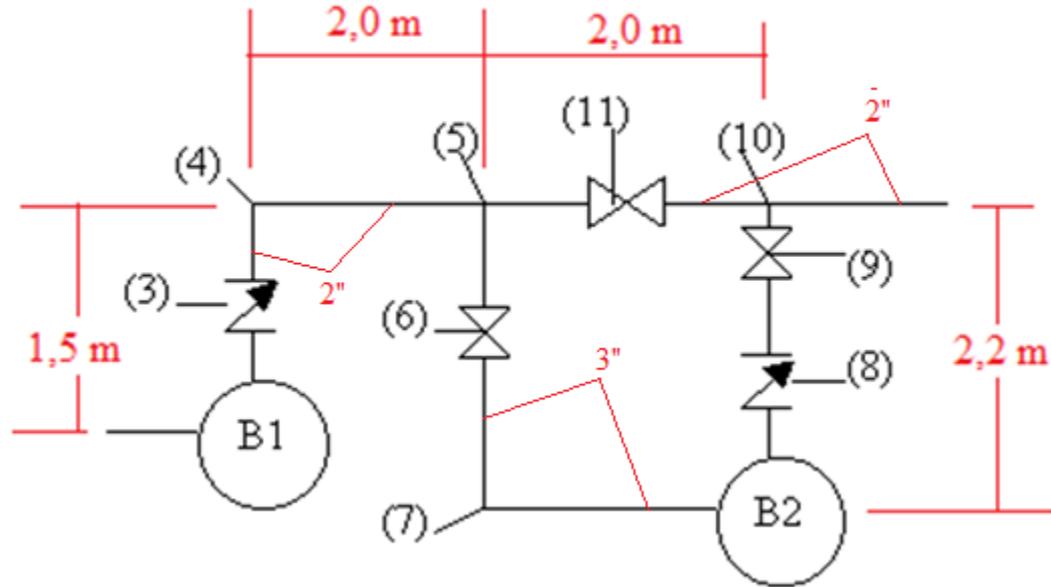


◆ HS(m) ■ CCB_214 ▲ CCB_185 — Polinômio (HS(m)) — Polinômio (CCB_214) — Polinômio (CCB_185)

A não existência do ponto de trabalho implica dizer que a bomba não foi bem escolhida para esta situação, mas como na casa de máquina havia uma bomba reserva, passamos a avaliar a possibilidade do funcionamento da associação em série das bombas.



Detalhe da casa de máquina



Adiciona-se na tubulação de 3" 6,2 m de tubo, 2 válvulas gaveta da Mipel ($Leq_{total} = 2,06$ m) e 1 válvula de retenção com portinhola ($Leq = 3,95$ m); já na tubulação de 2" retira-se: 2,0 m de tubo e dois têes de passagem direta ($Leq_{total} = 0,66$ m) e acrescenta-se dois têes de passagem lateral ($Leq_{total} = 5,48$ m) e duas buchas de ampliação de 2 x 3" ($Leq = 1,54$ m)

Determinação da nova CCI

$$H_{p_2''} = f_{2''} \times \frac{((6-2) + (21,5 - 0,66 + 5,48 + 1,54))}{52,5 \times 10^{-3}} \times \frac{Q^2}{19,6 \times (21,7 \times 10^{-4})^2} \cong f_{2''} \times 6575229,7 \times Q^2$$

$$H_{p_3''} = f_{3''} \times \frac{((42 + 6,2) + (26,8 + 2,06 + 3,95))}{77,9 \times 10^{-3}} \times \frac{Q^2}{19,6 \times (47,7 \times 10^{-4})^2} \cong f_{3''} \times 2331891,6 \times Q^2$$

$$H_S = 27 + 10834,9 \times Q^2 + f_{2''} \times 6575229,7 \times Q^2 + f_{3''} \times 2331891,6 \times Q^2$$

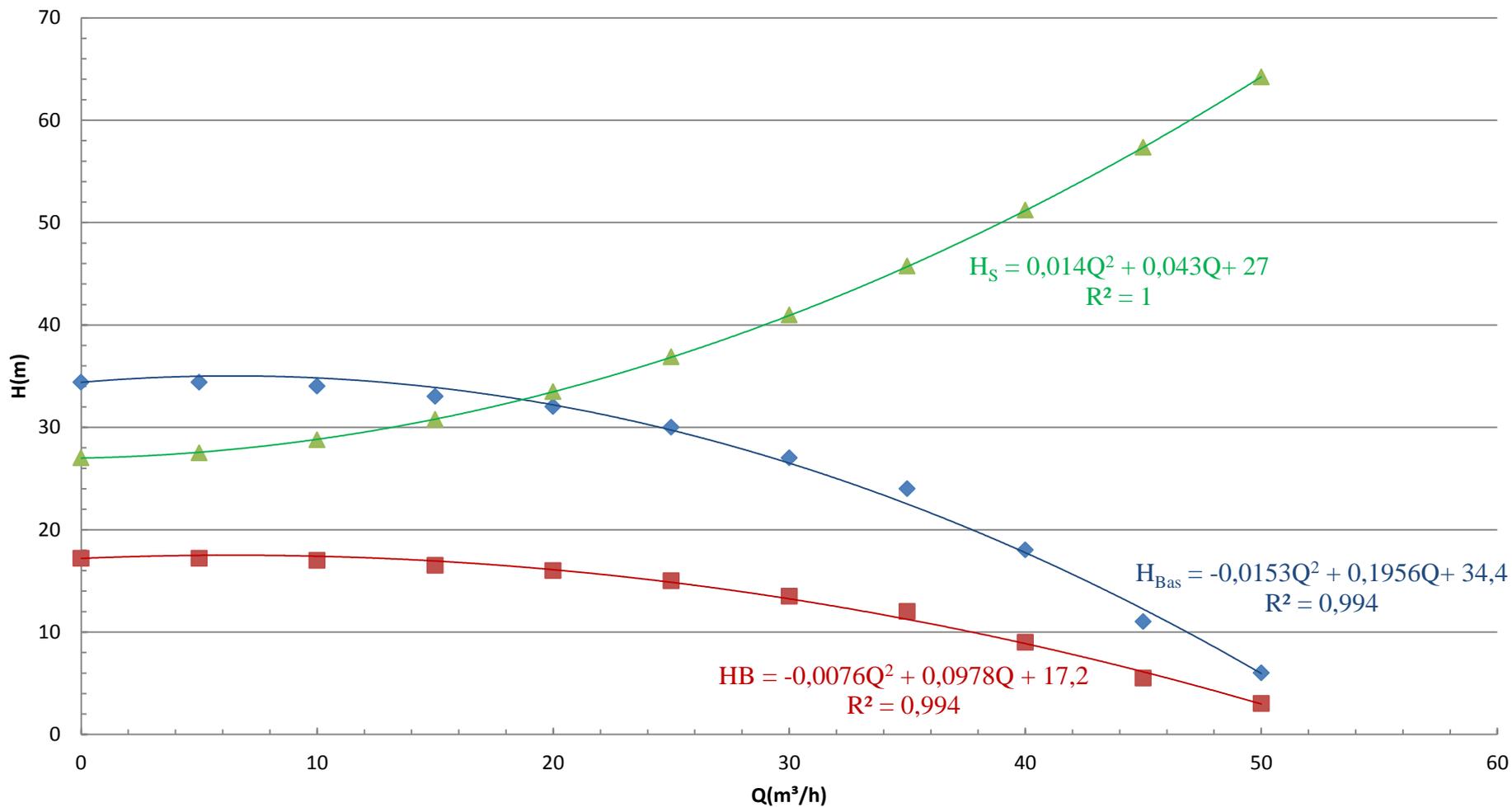


Agora é só achar o ponto de trabalho.

Tabela para determinação do ponto de trabalho

				Dr = 214 mm	Assoc. série
Q(m ³ /h)	f ₂ "	f ₃ "	H _S (m)	H _B (m)	H _{Bas} (m)
0	0	0	27	17,2	34,4
5	0,0275	0,0293	27,5	17,2	34,4
10	0,0244	0,0253	28,8	17	34
15	0,023	0,0235	30,8	16,5	33
20	0,0223	0,0224	33,5	16	32
25	0,0218	0,0217	36,9	15	30
30	0,0214	0,0212	41,0	13,5	27
35	0,0211	0,0208	45,7	12	24
40	0,0209	0,0205	51,2	9	18
45	0,0207	0,0202	57,3	5,5	11
50	0,0206	0,02	64,2	3	6

Ponto de trabalho

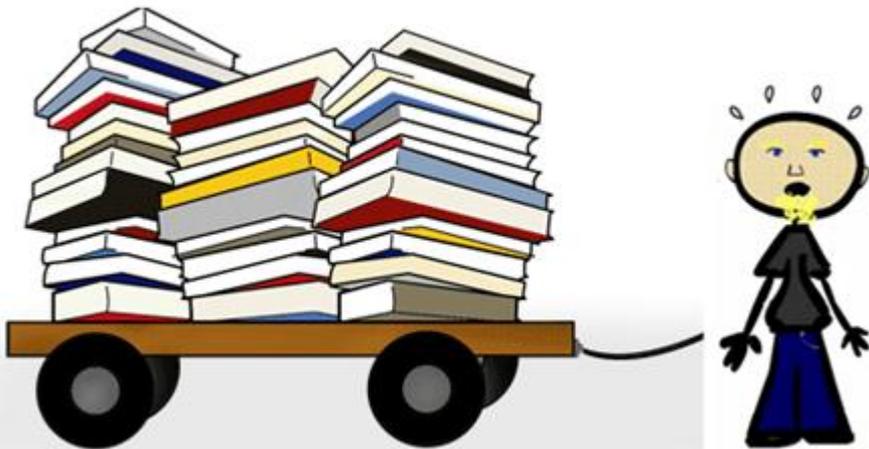


◆ HBas (m) ■ Uma bomba ▲ CCI — Polinômio (HBas (m)) — Polinômio (Uma bomba) — Polinômio (CCI)

$$0,014 \times Q^2 + 0,043 \times Q + 27 = -0,0153 \times Q^2 + 0,1956 \times Q + 34,4$$

$$0,0293 \times Q^2 - 0,1526 - 7,4 = 0$$

$$Q_{\tau} = \frac{0,1526 + \sqrt{0,1526^2 + 4 \times 0,0293 \times 7,4}}{2 \times 0,0293} \cong 18,7 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$



Portanto o problema
foi resolvido com a
associação em série.

Exercício extra

Dadas as características de duas bombas:

Bomba A	Q(m ³ /h)	300	350	400	450	500
	H _B (m)	16,3	15,4	14,2	12,9	11,1
	η _B (%)	73	78	80	79	75

Bomba B	Q(m ³ /h)	300	350	400	450	500
	H _B (m)	14,8	14,5	14,1	13,4	12,3
	η _B (%)	73,2	77,4	79,6	80	77,6

e sabendo-se que a instalação de bombeamento em questão tem uma carga estática igual a 18,2 m; $L_{\text{total}} = L + \Sigma Leq = 850$ m e uma tubulação com um único diâmetro de aço 40 com DN = 18", pede-se determinar o ponto de trabalho da associação em série das bombas para a instalação dada.