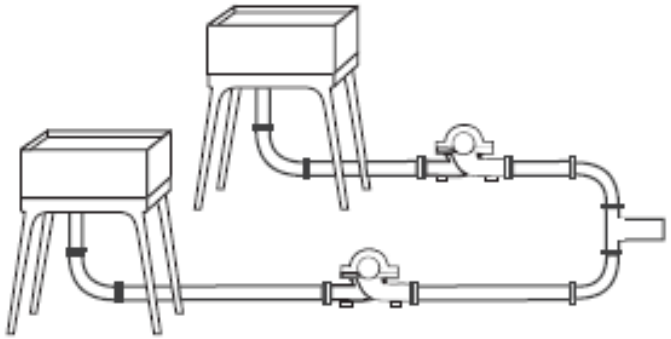
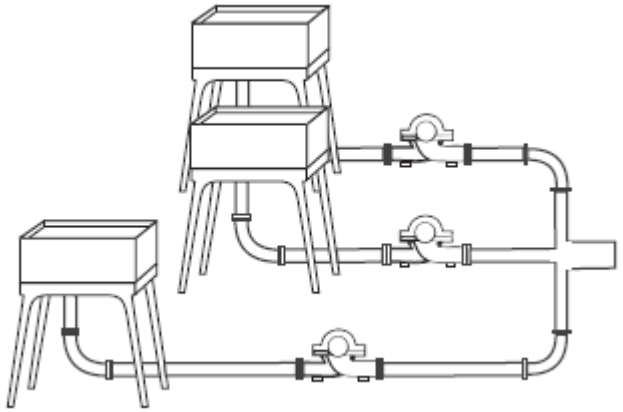
Aula 11 de ME5330 – associação em paralelo de bombas



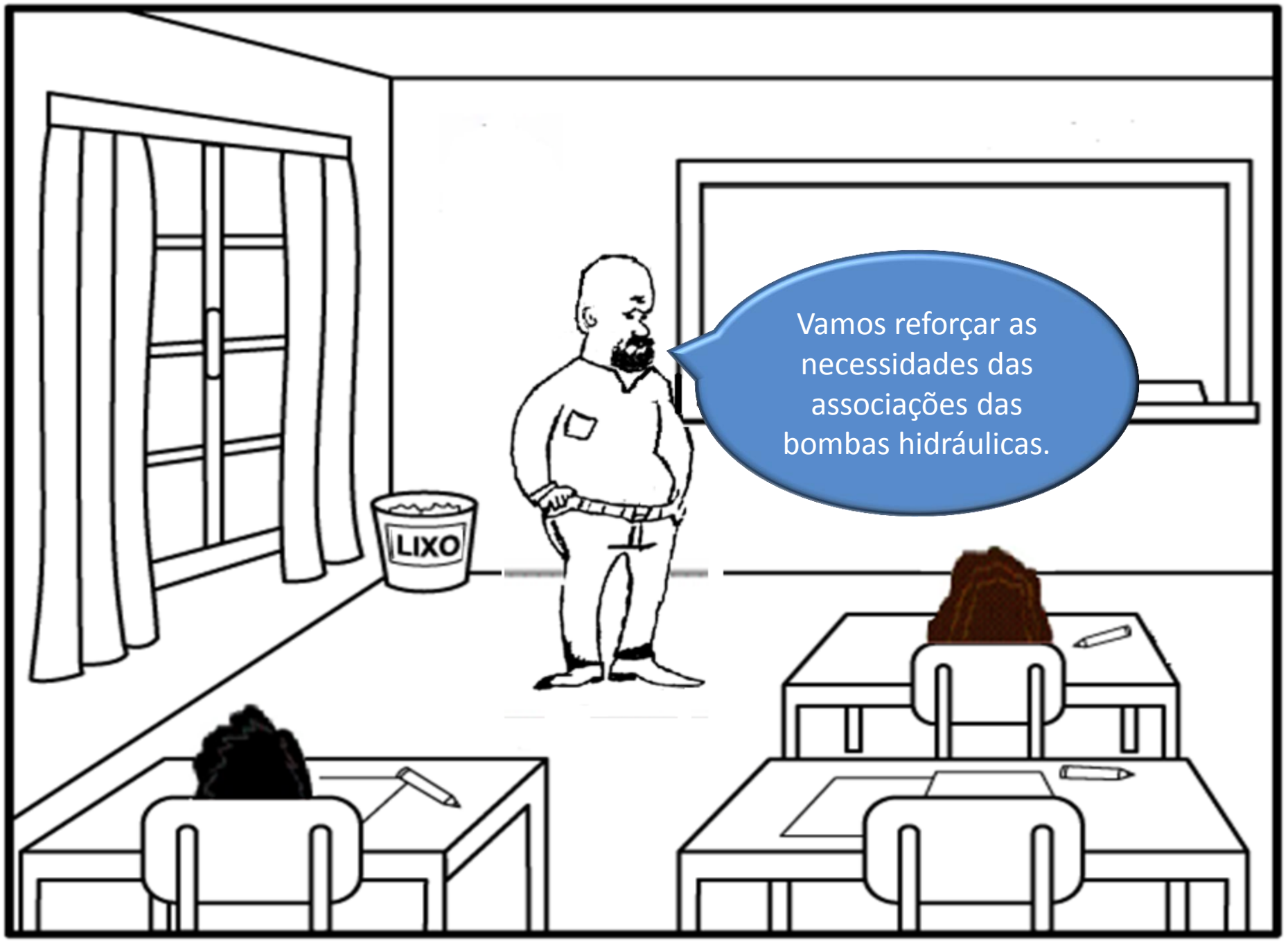


07 de maio de 2013

Quando pensar em uma associação em paralelo?

Quando há a necessidade de aumentar a vazão de forma não continua!

Ou quando se deseja uma vazão não proporcional a carga manométrica


Vamos reforçar as necessidades das associações das bombas hidráulicas.
LIXO

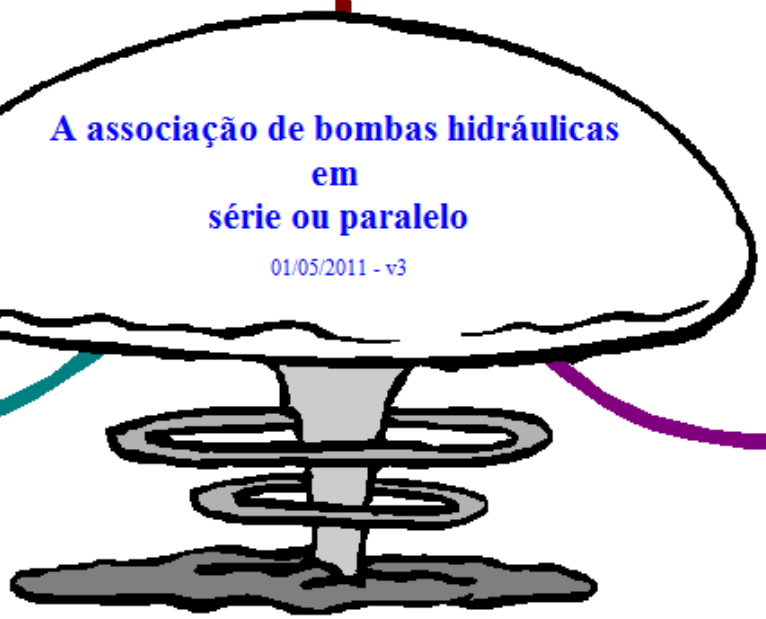
EM SÉRIE VISA ATENDER A DEMANDA DE UMA CARGA MAIOR

recurso adotado pelo projetista visando

- redução de custos do projeto
- aumento de segurança de operação
- flexibilidade do processo de manutenção

A associação de bombas hidráulicas em série ou paralelo

01/05/2011 - v3



associação em série

oleodutos

irrigação e abastecimento

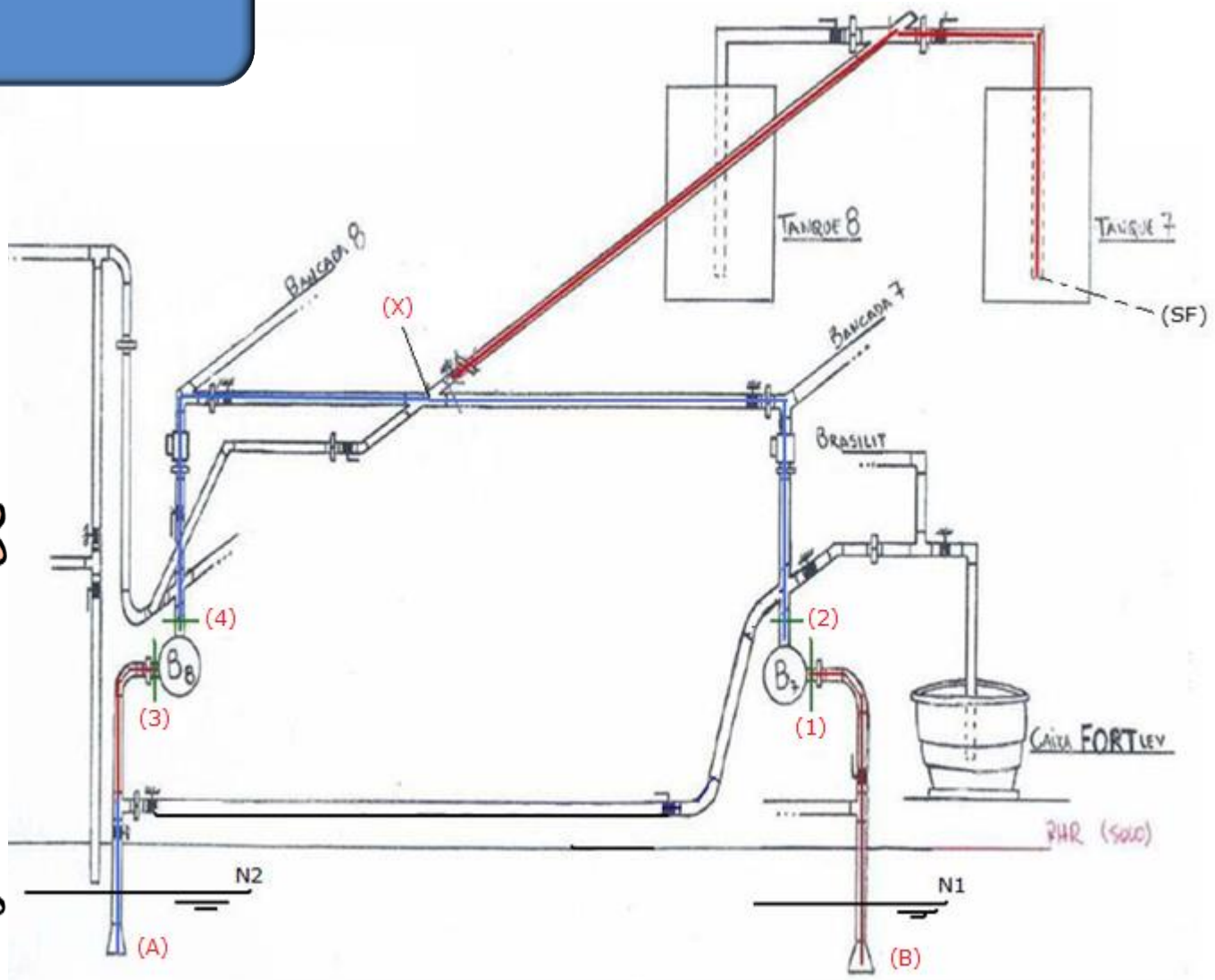
associação em paralelo

EM PARALELO VISA ATENDER UMA VAZÃO MAIOR, QUE PODE NÃO SER CONTINUA

Hoje vamos refletir sobre a associação em paralelo de bombas.

Como os transdutores de pressão não estão funcionando, alteramos as bancadas

Esquematicamente

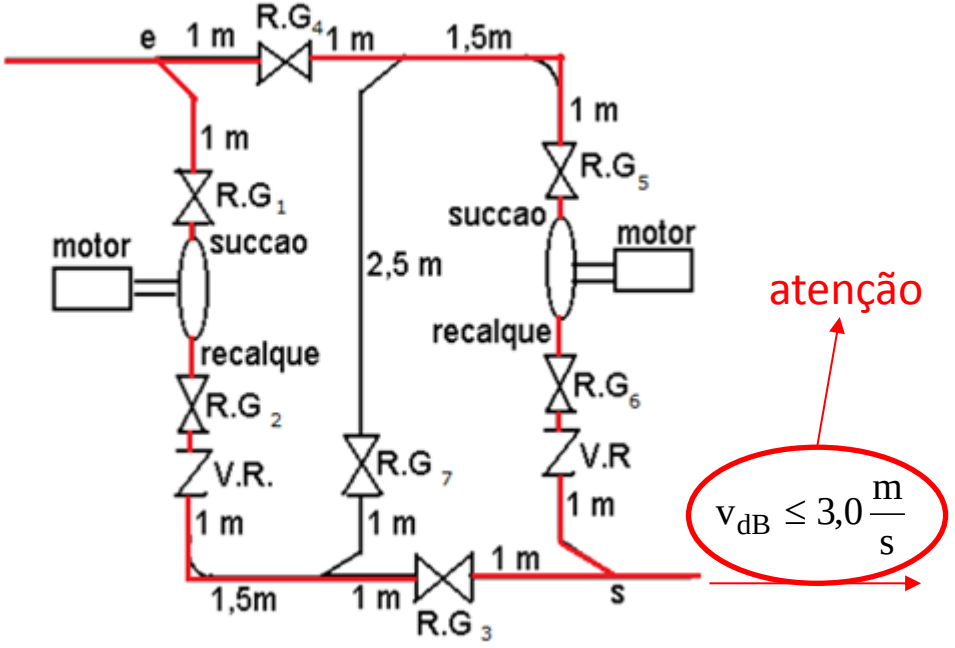


Aqui é importante se pensar na alimentação pela tubulação do centro, pois se houver acentuadas perda de carga na linha, o aumento da vazão com duas ou mais bombas em paralelo será pequeno e, portanto, pouco compensador.

A figura abaixo especifica as recomendações para as velocidades em uma associação em paralelo.

$v_{aB} \leq 2{,}0 \frac{m}{s}$

atenção



atenção

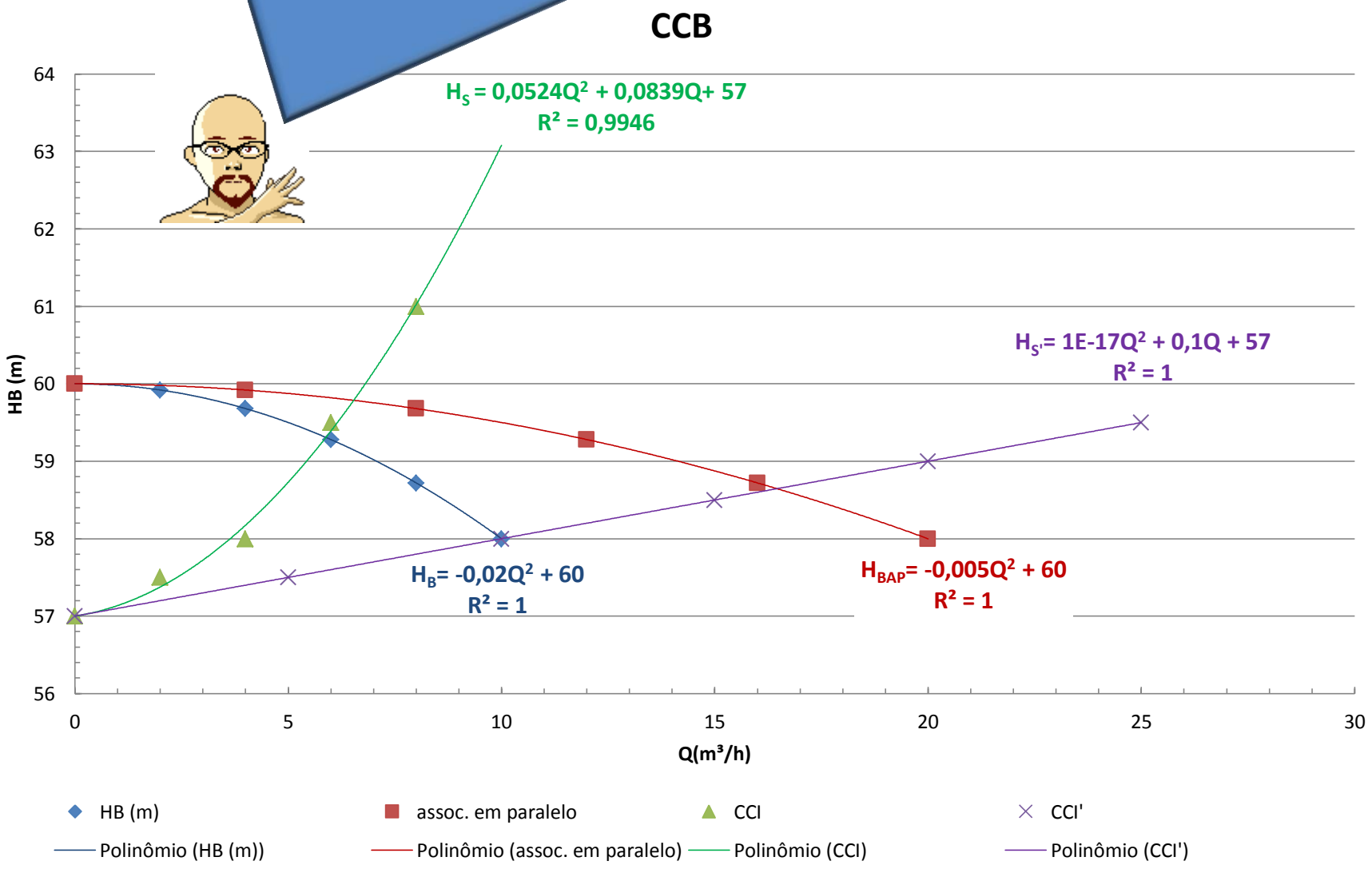
$v_{dB} \leq 3{,}0 \frac{m}{s}$

O próximo slide objetiva possibilitar a visualização do que foi mencionado anteriormente, lembrando que para a obtenção da curva $H_{Bap} = f(Q_{ap})$, devemos para a mesma carga manométrica somar as vazões.

$$H_{B_{ap}} = H_{B_{B1}} = H_{B_{B2}}$$

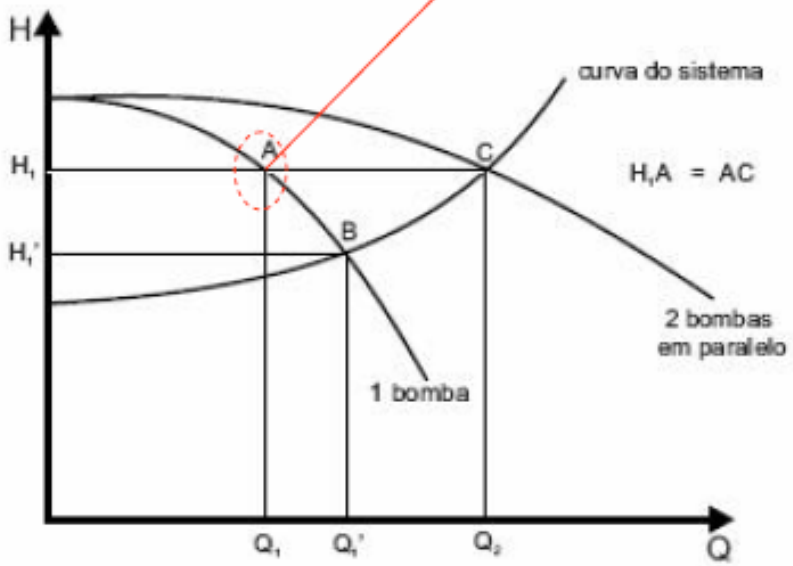
$$Q_{ap} = Q_{B1} + Q_{B2}$$

Observe que para a perda acentuada (CCI verde) a contribuição para o aumento da vazão na associação em paralelo é muito pequena.

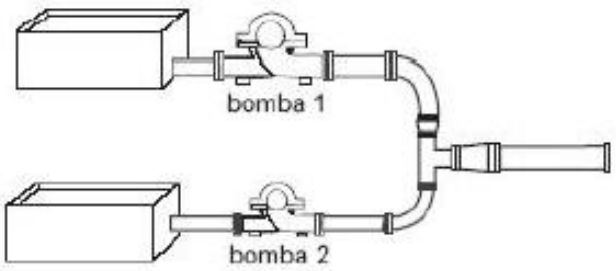


Na associação de bombas hidráulicas iguais, tem-se a curva característica da associação obtida como mencionado no slide anterior e como mostrado a seguir:

$$\eta_{B_{ap}} = \eta_{B_1} = \eta_{B_2}$$

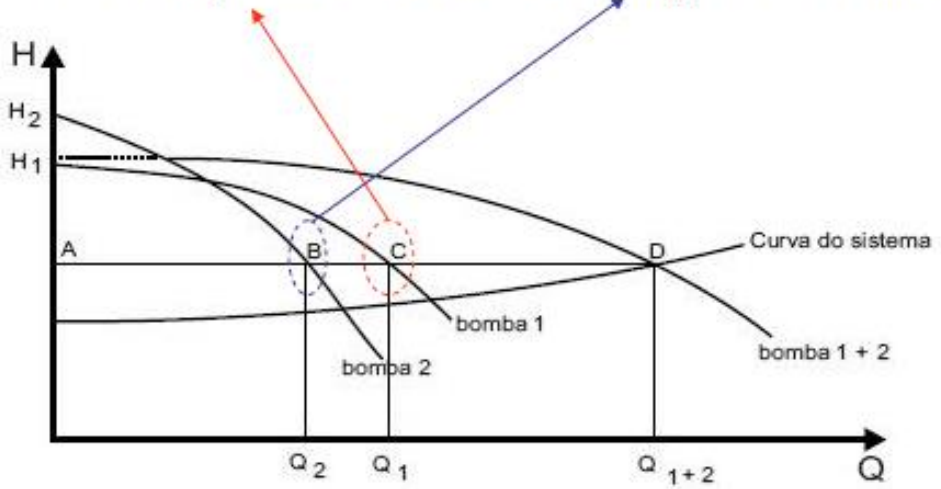


Observe que a vazão Q_2 é menor que $2*Q_1'$



$$\eta_{B_{ap}} = \frac{Q_{ap}}{\frac{Q_1}{\eta_{B_1}} + \frac{Q_2}{\eta_{B_2}}}$$

onde η_{B_1} se lê no ponto C e η_{B_2} se lê no ponto B

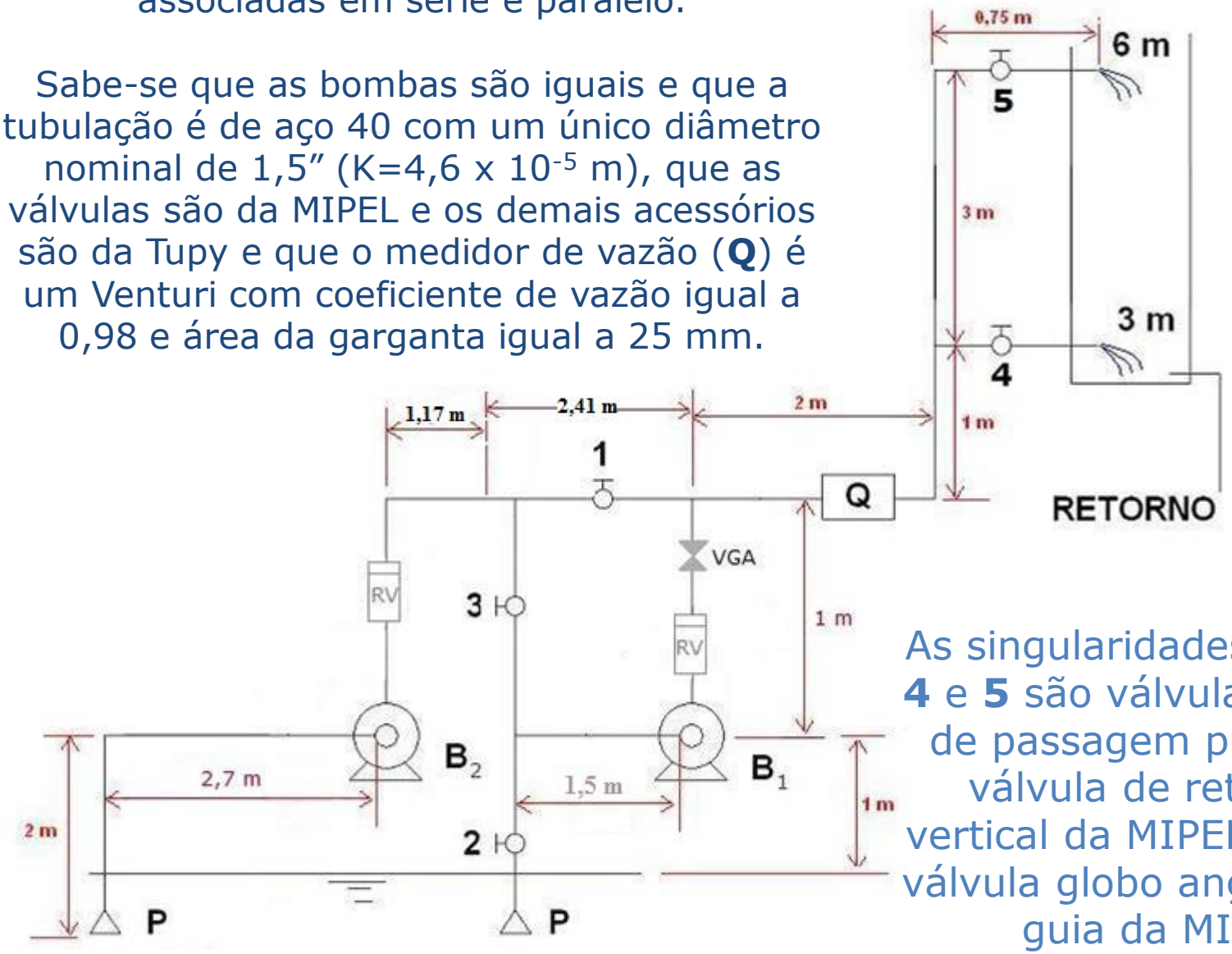


BOMBAS DE DUPLA SUCÃO OU ADMISSÃO PODEM SUBSTITUIR AS ASSOCIAÇÕES EM PARALELO DE DUAS BOMBAS.

É MUITO IMPORTANTE SE ANALISAR O RENDIMENTO E A RESERVA CONTRA A CAVITAÇÃO AO SE TRABALHAR COM BOMBAS ASSOCIADAS, BOMBAS DE MULTIESTÁGIOS E A BOMBA DE DUPLA SUCÇÃO OU ADMISSÃO

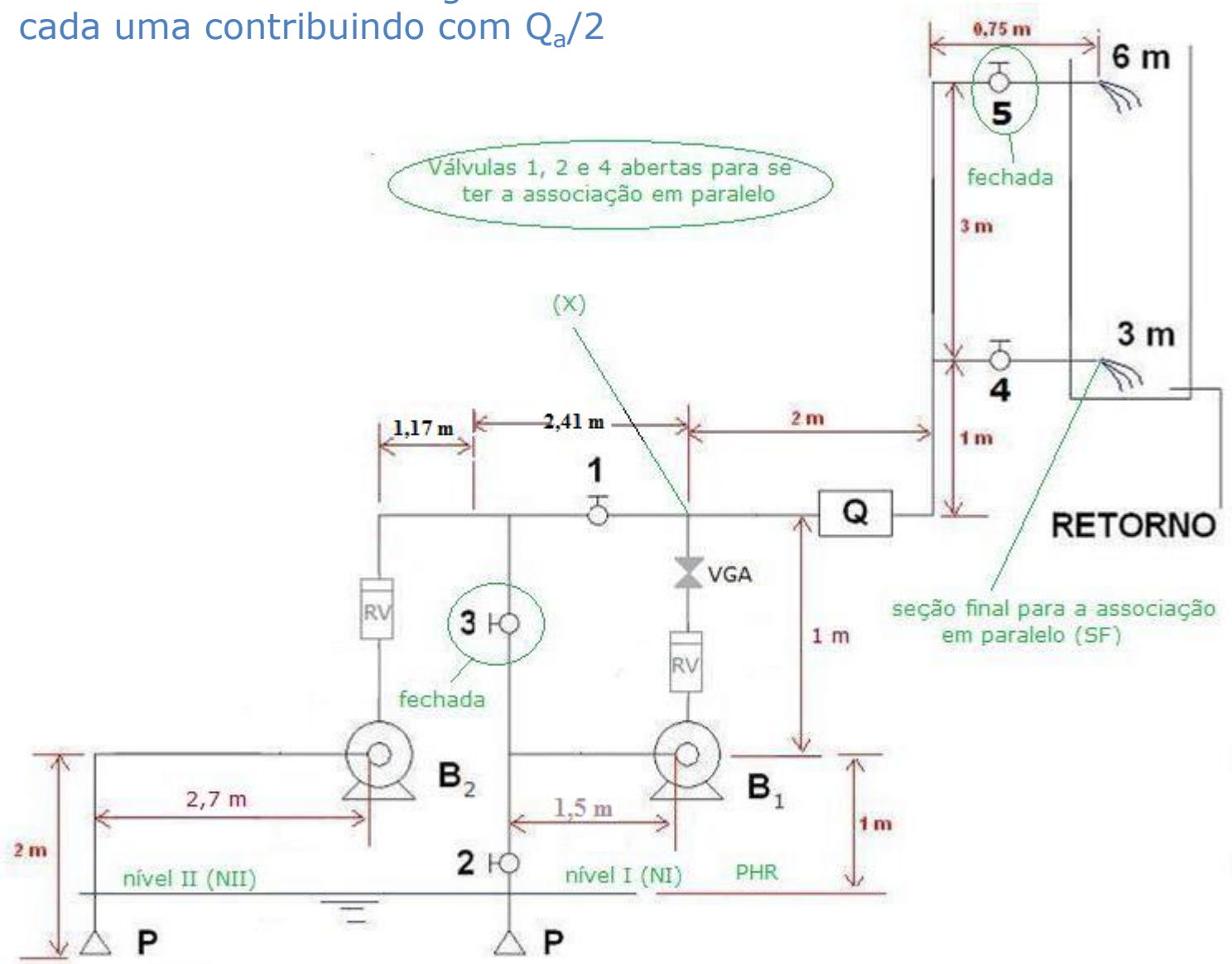
87⁰ - Considere a instalação ao lado, que pode operar só com uma bomba, com bombas associadas em série e paralelo.

Sabe-se que as bombas são iguais e que a tubulação é de aço 40 com um único diâmetro nominal de 1,5” (K=4,6 x 10^{-5} m), que as válvulas são da MIPEL e os demais acessórios são da Tupy e que o medidor de vazão (**Q**) é um Venturi com coeficiente de vazão igual a 0,98 e área da garganta igual a 25 mm.



As singularidades **1**, **2**, **3**, **4** e **5** são válvulas esferas de passagem plena, RV válvula de retenção vertical da MIPEL e VGA é válvula globo angular sem guia da MIPEL

É melhor em uma associação em paralelo de duas bombas iguais se ter cada uma contribuindo com $Q_a/2$



SÓ EXISTIRÃO VAZÕES IGUAIS ATRAVÉS DAS BOMBAS ASSOCIADAS SE A PERDA DE CARGA ANTES DAS MESMAS E DEPOIS DELAS ATÉ O PONTO QUE AS VAZÕES SE SOMAM FOREM IGUAIS!

Para demonstrar as condições anteriores, parte-se dos dados a seguir:

singularidade	Leq (m)
Válvula globo angular sem guia	4,88
válvula de pé com crivo	17,07
cotovelo de 90°	1,41
válvula de retenção	17,07
T de saída lateral	2,06
T de passagem direta	0,25
T de saída bilateral	2,50
válvula esfera	0,55
venturi	$K_{Sventuri}$
Saída de tub.	1,0

água	T (°C)	ρ (kg/m³)	998,2
	20	γ (N/m³)	9782,36
		ν (m²/s)	1,00E-06

D (mm)	A (cm²)
40,8	13,1

g (m/s²)	9,8

$$K_{SVenturi} = \left[\frac{1}{C_v^2} - 1\right] \times \left[1 - \left(\frac{A_{G\,arg\,anta}}{A_{Tubo}}\right)^2\right]$$

$$K_{SVenturi} = \left[\frac{1}{0{,}98^2} - 1\right] \times \left[1 - \left(\frac{25}{40{,}8}\right)^4\right]$$

$$K_{SVenturi} \cong 0{,}0355$$

Perdas de NI até a entrada da bomba B_1

$$H_{paB_1} = f \times \frac{(3{,}5 + 17{,}07 + 0{,}55 + 2{,}06)}{0{,}0408} \times \frac{Q_1^2}{2 \times 9{,}8 \times (13{,}1 \times 10^{-4})^2}$$

$$H_{paB_1} = f \times 16890970{,}59 \times Q_1^2$$

Perdas de NII até a entrada da bomba B_2

$$H_{paB_2} = f \times \frac{(4{,}7 + 17{,}07 + 1{,}41)}{0{,}0408} \times \frac{Q_2^2}{2 \times 9{,}8 \times (13{,}1 \times 10^{-4})^2}$$

$$H_{paB_2} = f \times 16890970{,}59 \times Q_2^2$$

CQD e onde $Q_1 = Q_2 = Q_{ap}/2$

Perdas da saída da bomba B_1 até (X)

$$H_{psB_1-X} = f \times \frac{(1 + 17{,}07 + 4{,}88)}{0{,}0408} \times \frac{Q_1^2}{2 \times 9{,}8 \times (13{,}1 \times 10^{-4})^2}$$

$$H_{psB_1-X} = f \times 16723372{,}53 \times Q_1^2$$

Perdas da saída da bomba B_2 até (X)

$$H_{psB_2-X} = f \times \frac{(1 + 17{,}07 + 1{,}41 + 1{,}17 + 0{,}25 + 0{,}55 + 1{,}5)}{0{,}0408} \times \frac{Q_2^2}{2 \times 9{,}8 \times (13{,}1 \times 10^{-4})^2}$$

$$H_{psB_2-X} = f \times 16723372{,}53 \times Q_2^2$$

Obtendo a equação da CCI

$$\gamma \times \frac{Q_{ap}}{2} \times H_{NI} + \gamma \times \frac{Q_{ap}}{2} \times H_{NII} + \gamma \times \frac{Q_{ap}}{2} \times H_{B1} + \gamma \times \frac{Q_{ap}}{2} \times H_{B1} = \gamma \times Q_{ap} \times H_{SF} + \sum N_{dissipadas}$$

$$\sum N_{dissipadas} = \gamma \times \frac{Q_{ap}}{2} \times H_{paB1} + \gamma \times \frac{Q_{ap}}{2} \times H_{paB2} + \gamma \times \frac{Q_{ap}}{2} \times H_{ps_{B1-X}} + \gamma \times \frac{Q_{ap}}{2} \times H_{ps_{B2-X}} + \gamma \times Q_{ap} \times H_{pX-SF}$$

Agora é aplicar no exercício proposto

$$H_S = H_{SF} + \frac{1}{2} \times 16890970{,}59 \times f_{Qap/2} \times \left(\frac{Q_{ap}}{2}\right)^2 + \frac{1}{2} \times 16890970{,}59 \times f_{Qap/2} \times \left(\frac{Q_{ap}}{2}\right)^2 +$$

$$\frac{1}{2} \times 16723372{,}53 \times f_{Qap/2} \times \left(\frac{Q_{ap}}{2}\right)^2 + \frac{1}{2} \times 16723372{,}53 \times f_{Qap/2} \times \left(\frac{Q_{ap}}{2}\right)^2 + H_{pX-SF}$$

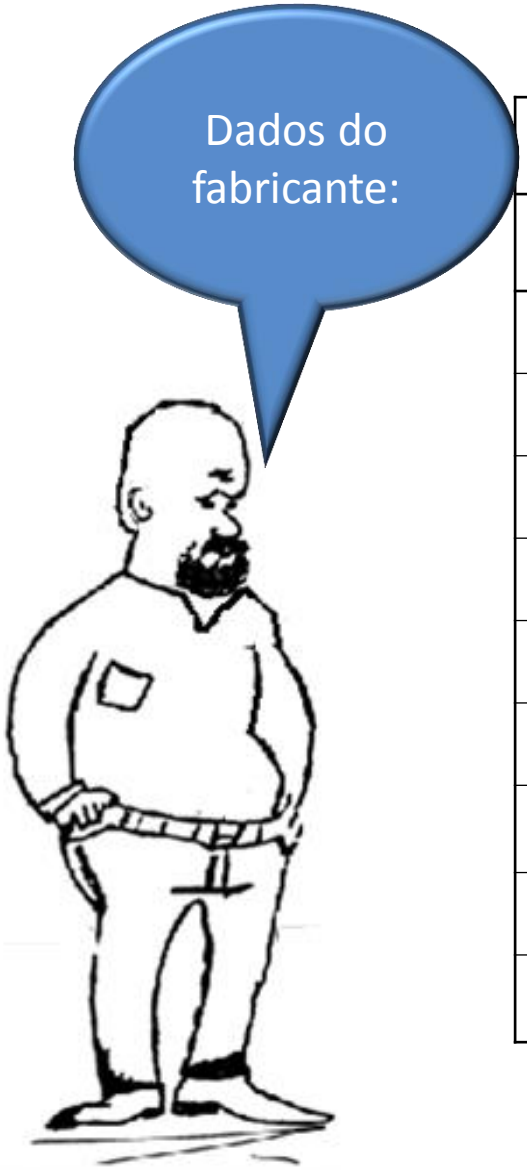
$$H_{pX-SF} = f_{Qap} \times \frac{(2+1+0{,}75+2{,}5+1{,}41+2{,}06+0{,}55+1)}{0{,}0408} \times \frac{Q_{ap}^2}{2 \times 9{,}8 \times \left(13{,}1 \times 10^{-4}\right)^2}$$

$$+ 0{,}0355 \times \frac{Q_{ap}^2}{2 \times 9{,}8 \times \left(13{,}1 \times 10^{-4}\right)^2}$$

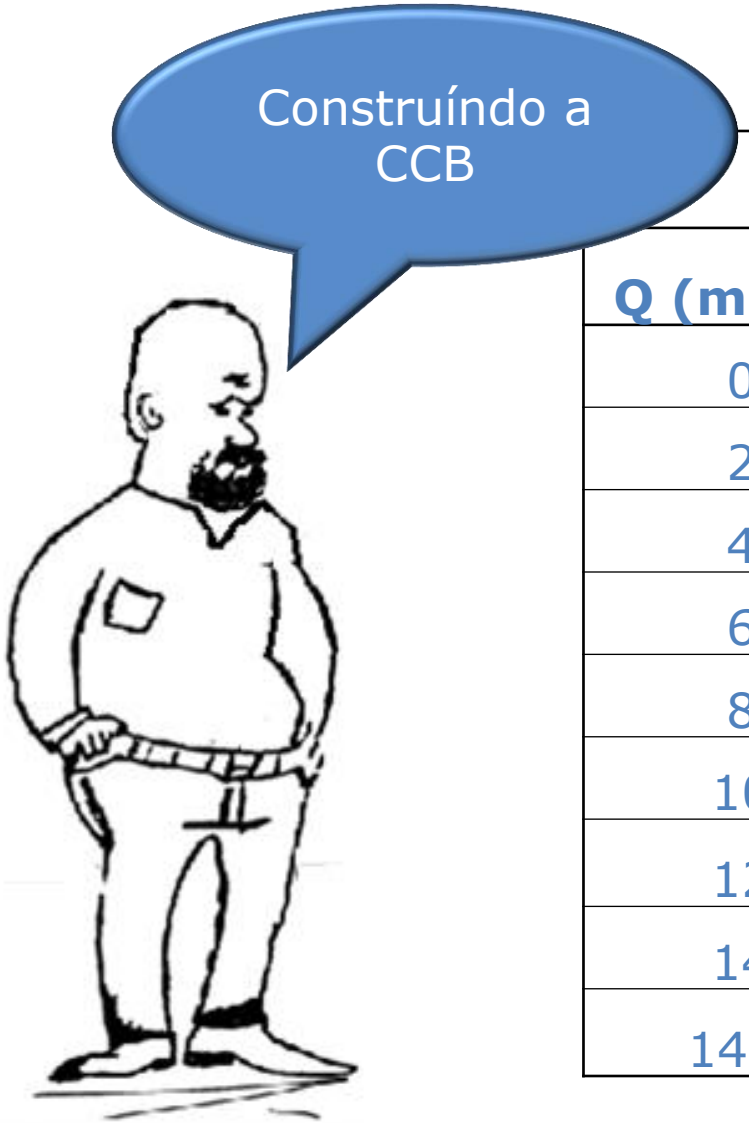
$$H_{pX-SF} = f_{Qap} \times 8212305{,}4 \times Q_{ap}^2 + 1055{,}5 \times Q_{ap}^2$$

$$H_{SF} = 3 + \frac{\alpha_{sf} \times Q_{ap}^2}{2 \times 9{,}8 \times \left(13{,}1 \times 10^{-4}\right)^2} = 3 + \alpha_{sf} \times 29730{,}5 \times Q_{ap}^2$$

$$H_S = 3 + \alpha_{sf} \times 29730{,}5 \times Q_{ap}^2 + 8403585{,}78 \times f_{Qap/2} \times Q_{ap}^2 + 8212305{,}4 \times f_{Qap} \times Q_{ap}^2 + 1055{,}5 \times Q_{ap}^2$$



CCB FABRICANTE		
Q (m³/h)	H_B (m)	η (%)
0	26	-
2	26,8	52
4	26,3	54
6	24,6	55,5
8	21,5	56
10	17,1	56
12	11,5	55,5
14	4,5	54
14,5	2,6	

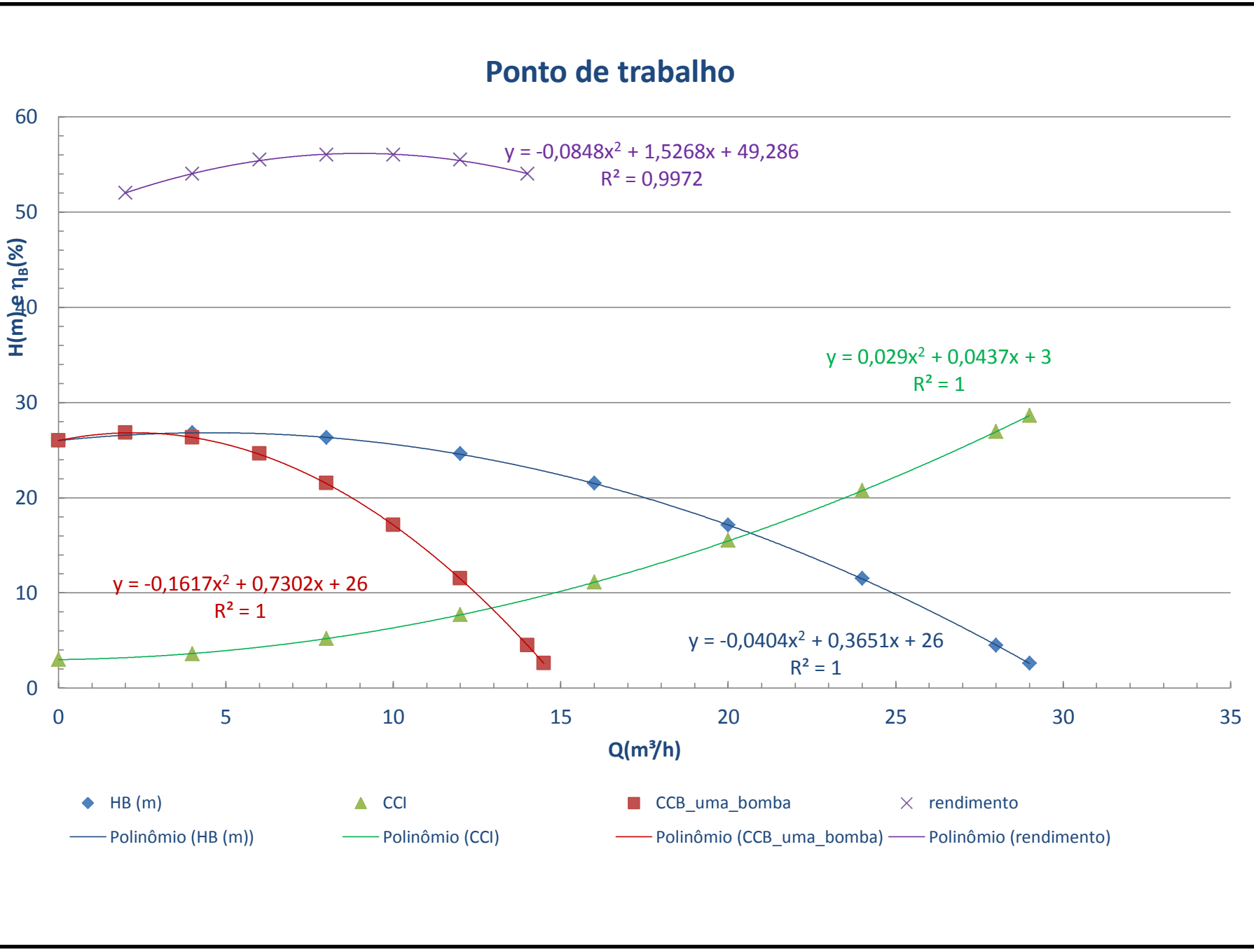


CCB FABRICANTE			
Q (m³/h)	Q_{ap} (m³/h)	H_B (m)	η (%)
0	0	26	-
2	4	26,8	52
4	8	26,3	54
6	12	24,6	55,5
8	16	21,5	56
10	20	17,1	56
12	24	11,5	55,5
14	28	4,5	54
14,5	29	2,6	

Completando
esse exercício.

Ao determinar os coeficientes de perda de carga distribuída constatamos que todos os números de Reynolds deram maiores que 4000, portanto $\alpha = 1,0$ e aí resultou a tabela abaixo que permite obter a representação gráfica da CCB e CCI.

Q (m³/h)	Q_{ap} (m³/h)	H_B (m)	η (%)	$f_{Q/2}$	f_Q	HS (m)
0	0	26	-	0	0	3
2	4	26,8	52	0,0292	0,0259	3,6
4	8	26,3	54	0,0259	0,0236	5,2
6	12	24,6	55,5	0,0244	0,0227	7,7
8	16	21,5	56	0,0236	0,0222	11,1
10	20	17,1	56	0,0231	0,0219	15,5
12	24	11,5	55,5	0,0227	0,0216	20,7
14	28	4,5	54	0,0224	0,0215	26,9
14,5	29	2,6		0,0224	0,0214	28,6


Ponto de trabalho
H(m) e ηB(%)
Q(m³/h)
y = -0,0848x² + 1,5268x + 49,286
R² = 0,9972
y = 0,029x² + 0,0437x + 3
R² = 1
y = -0,1617x² + 0,7302x + 26
R² = 1
y = -0,0404x² + 0,3651x + 26
R² = 1
HB (m)
CCI
CCB_uma_bomba
rendimento
Polinômio (HB (m))
Polinômio (CCI)
Polinômio (CCB_uma_bomba)
Polinômio (rendimento)

$$H_S = H_{B_{ap}}$$

$$0{,}029Q_{ap}^2 + 0{,}0437Q_{ap} + 3 = -0{,}0404Q_{ap}^2 + 0{,}3651Q_{ap} + 26$$

$$0{,}0694Q_{ap}^2 - 0{,}3214Q_{ap} - 23 = 0$$

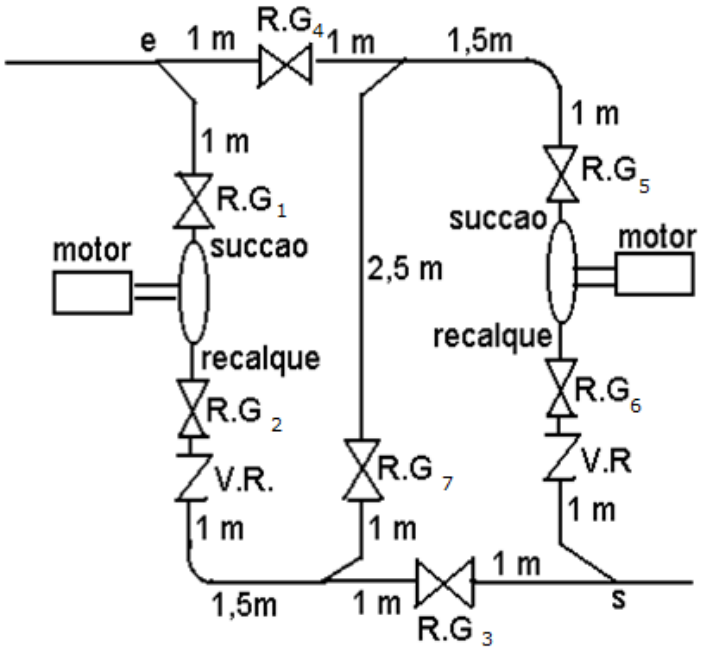
$$Q_{ap_\tau} = \frac{0{,}3214 + \sqrt{0{,}3214^2 + 4 \times 0{,}0694 \times 23}}{2 \times 0{,}0694} \cong 20{,}67 \frac{m^3}{h} \approx 20{,}7 \frac{m^3}{h}$$

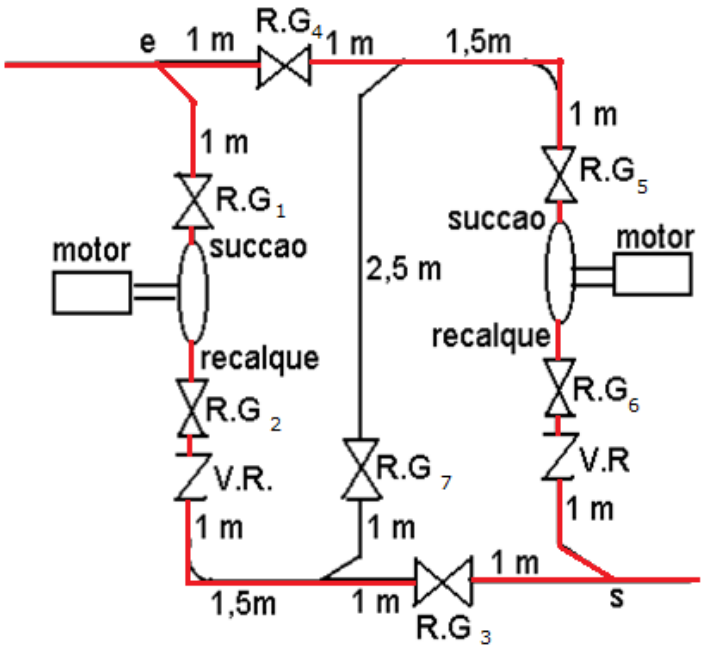
$$H_{B_{ap_\tau}} = 0{,}029 \times 20{,}7^2 + 0{,}0437 \times 20{,}7 + 3 \cong 16{,}4m$$

$$\eta_B = -0{,}0848 \times \left(\frac{20{,}7}{2}\right)^2 + 1{,}5268 \times \frac{20{,}7}{2} + 49{,}286 \cong 56{,}0\%$$

$$N_{B_{ap_\tau}} = \frac{9782{,}36 \times \left(\frac{20{,}7}{3600}\right) \times 16{,}4}{0{,}56} \cong 1647{,}3W$$

A seguir é mostrado uma outra possibilidade de se associar em paralelo duas bombas em uma casa de máquina





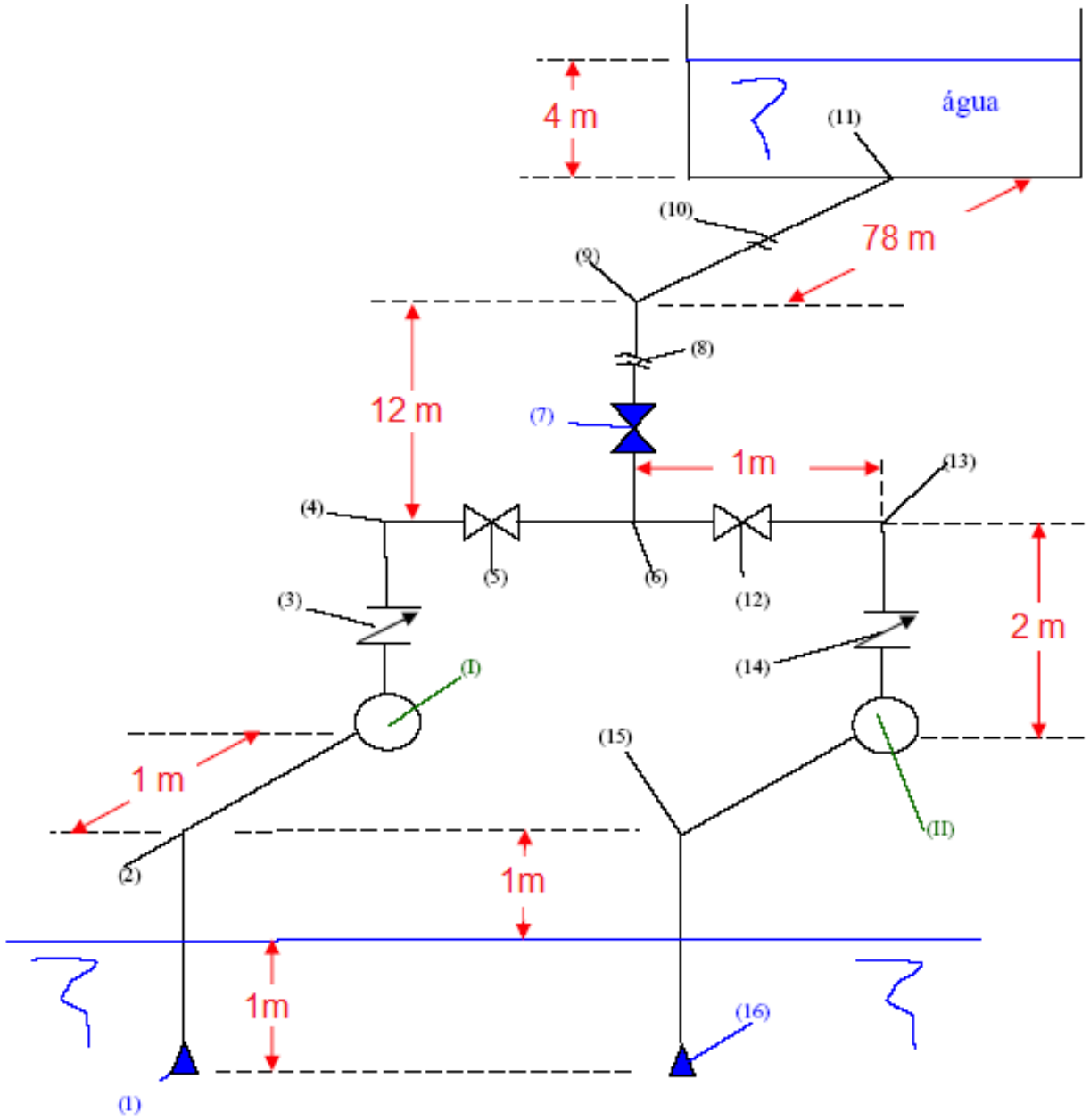
Vamos fazer
mais um
exercício!

A instalação representada a seguir pode operar com uma bomba ou com as duas bombas associadas em paralelo. Sabendo-se que as bombas são iguais e que apresentam as características indicadas na tabela (I), pede-se:

a. a potência útil do motor elétrico quando apenas uma bomba operar;
b. verificar o fenômeno de cavitação para a situação anterior, sabendo-se que a pressão de vapor da água para a situação descrita é igual a 0,0238 kgf/cm² (abs) e que a leitura barométrica é igual a 700 mmHg;
c. o ponto de trabalho para associação em paralelo das bombas;
d. a verificação do fenômeno de cavitação para esta nova situação.

Dados:

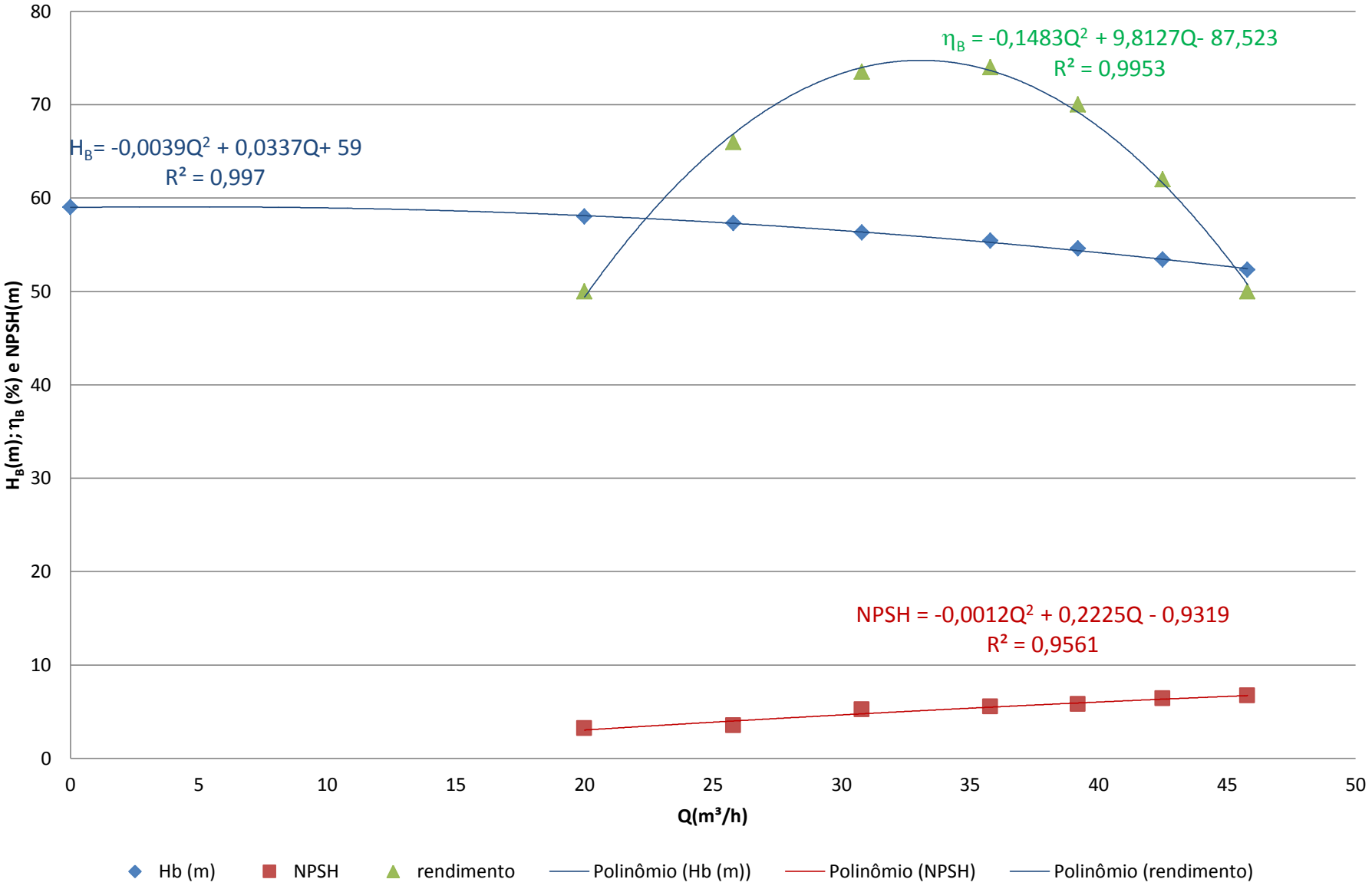
Tubulação de aço 40, que para a sucção tem um diâmetro nominal de 3" (D_{int} = 77,9 mm e A = 47,7 cm²) e para o recalque tem um diâmetro nominal de 2,5" (D_{int} = 62,7 mm e A = 30.9 cm²), água a 20^0C e aceleração da gravidade igual a 9,8 m/s².


água
4 m
(11)
(10)
78 m
(9)
(8)
12 m
(7)
1m
(13)
(4)
(5)
(6)
(12)
(3)
2 m
(14)
(I)
1 m
(15)
(II)
(2)
1m
1m
(16)
(1)

(1) e (16) - válvulas de pé com crivo de 3” – Leq = 20 m
(2) e (15) - joelhos fêmeas de 900 e de 3” – Leq = 2,82 m
(4), (9) e (13) - joelhos fêmeas de 900 e de 2,5” – Leq = 2,35 m
(3) e (14) - válvulas de retenção verticais de 2,5” – Leq = 8,1 m
(5) e (12) - válvulas gavetas de 2,5” – Leq = 0,4 m
(6) – tê de saída lateral de 2,5” para o funcionamento com uma bomba
Leq = 3,43 m
(6) – tê de saída lateral de 2,5” para o funcionamento da associação em paralelo
Leq = 4,16 m
(7) - válvula globo de 2,5” – Leq = 21 m
(8) e (10) - representação de corte no desenho da tubulação
(11) – saída da tubulação – Leq = 1,9 m
(I) e (II) - bombas centrífugas radiais que apresentam as informações nos gráficos em anexo.

Nota:

Os trechos de (1) a (6) e de (16) a (6) são idênticos e a tubulação é de aço considerada nova


η_B = -0,1483Q² + 9,8127Q- 87,523
R² = 0,9953
H_B= -0,0039Q² + 0,0337Q+ 59
R² = 0,997
NPSH = -0,0012Q² + 0,2225Q - 0,9319
R² = 0,9561
H_B(m); η_B (%) e NPSH(m)
Q(m³/h)
0
10
20
30
40
50
60
70
80
0
5
10
15
20
25
30
35
40
45
50
Hb (m)
NPSH
rendimento
Polinômio (Hb (m))
Polinômio (NPSH)
Polinômio (rendimento)

Solução

Trata-se de uma instalação com duas entradas e uma saída, adotando-se o PHR nos níveis de captação, tem-se:

$$\gamma \times Q_{ap} \times H_{s_{ap}} = \gamma \times Q_{ap} \times H_{distribuição} + 2 \times \gamma \times \frac{Q_a}{2} \times H_{p_{3"}} + 2 \times \gamma \times \frac{Q_a}{2} \times H_{p_{dB-6}} + \gamma \times Q_a \times H_{p_{6-11}}$$

Dividindo-se todos os membros por $\gamma_x Q_a$ resulta:

$$H_{sa} = H_{distribuição} + H_{p_{3"}} + H_{p_{depois\,da\,bomba\,até\,6}} + H_{p_{6-11}}$$

$$H_{p_{3"}} \rightarrow \text{calculado para } {Q_a}/{2}$$

$$H_{p_{depois\,da\,bomba\,até\,6}} \rightarrow \text{calculado para } {Q_a}/{2}$$

$$H_{p_{6-11}} \rightarrow \text{calculado para } Q_a$$

$$H_{p_{3"}} = f_{3"_{p/Q_a/2}} \times \frac{(3+20+2{,}82)}{0{,}0779} \times \frac{\left(Q_a/2\right)^2}{19{,}6 \times \left(47{,}7 \times 10^{-4}\right)^2}$$

$$H_{p_{3"}} = f_{3"_{p/Q_a/2}} \times 185808{,}7 \times Q_a^2$$

$$H_{p_{2{,}5"dB-6}} = f_{2{,}5"_{p/Q_a/2}} \times \frac{(3+8{,}1+2{,}35+0{,}4)}{0{,}0627} \times \frac{\left(Q_a/2\right)^2}{19{,}6 \times \left(30{,}9 \times 10^{-4}\right)^2}$$

$$H_{p_{2{,}5"dB-6}} = f_{2{,}5"_{p/Q_a/2}} \times 295086{,}5 \times Q_a^2$$

$$H_{p_{2{,}5"6-11}} = f_{2{,}5"_{p/Q_a}} \times \frac{(90+4{,}16+21+2{,}35+1{,}9)}{0{,}0627} \times \frac{(Q_a)^2}{19{,}6 \times \left(30{,}9 \times 10^{-4}\right)^2}$$

$$H_{p_{2{,}5"6-11}} = f_{2{,}5"_{p/Q_a/2}} \times 10176539{,}7 \times Q_a^2$$

$$H_{S_{ap}} = 19 + f_{3"_{p/Q_a/2}} \times 185808{,}7 \times Q_a^2 + f_{2{,}5"_{p/Q_a/2}} \times 295086{,}5 \times Q_a^2 + f_{2{,}5"_{p/Q_a}} \times 10176539{,}7 \times Q_a^2$$

A partir deste ponto se determina os coeficientes de perda de carga distribuída e traçam-se a CCI e a CCB para obtenção do ponto de trabalho.

propriedades do fluido transportado					
temp (ºC)		μ (kg/ms)	ρ (kg/m³)	pv (Pa)	ν (m²/s)
20		1,00E-03	998,2		1,004E-06

propriedades do local		
g =	9,8	m/s²
patm =		Pa

Para 3”

mat. tubo aço			
	espessura	Dint (mm)	A (cm²)
	40	77,9	47,7
	K(m)	DH/k	
	4,60E-05	1693	

Q m³/h
20
25,8
30,8
35,8
39,2
42,5
45,8

Q(m³/s) Q(L/s) Q(L/min)
deve transformar para m³/h

Q(m³/h)	v(m/s)	Re	$f_{Haaland}$	$f_{Swamee\ e\ Jain}$	$f_{Churchill}$	$f_{planilha}$
20,0	1,16	90368	0,0207	0,0211	0,0211	0,0209
25,8	1,50	116574	0,0201	0,0204	0,0204	0,0203
30,8	1,79	139166	0,0197	0,0200	0,0201	0,0199
35,8	2,08	161758	0,0194	0,0198	0,0198	0,0196
39,2	2,28	177121	0,0193	0,0196	0,0196	0,0195
42,5	2,47	192031	0,0191	0,0195	0,0195	0,0193
45,8	2,67	206942	0,0190	0,0193	0,0193	0,0192

propriedades do fluido transportado					
temp (ºC)		μ (kg/ms)	ρ (kg/m³)	pv (Pa)	ν (m²/s)
20		1,00E-03	998,2		1,004E-06

propriedades do local		
g =	9,8	m/s²
patm =		Pa

Para 2,5”
com Qa/2

mat. tubo aço			
	espessura	Dint (mm)	A (cm²)
	40	62,7	30,9
	K(m)	DH/k	
	4,60E-05	1363	

Q m³/h
20
25,8
30,8
35,8
39,2
42,5
45,8

Q(m³/s) Q(L/s) Q(L/min)
deve transformar para m³/h

Q(m³/h)	v(m/s)	Re	$f_{Haaland}$	$f_{Swamee\ e\ Jain}$	$f_{Churchill}$	$f_{planilha}$
20,0	1,80	112280	0,0207	0,0211	0,0211	0,0210
25,8	2,32	144841	0,0202	0,0206	0,0206	0,0205
30,8	2,77	172911	0,0200	0,0203	0,0203	0,0201
35,8	3,22	200981	0,0197	0,0201	0,0201	0,0199
39,2	3,52	220069	0,0196	0,0199	0,0199	0,0198
42,5	3,82	238595	0,0195	0,0198	0,0198	0,0197
45,8	4,12	257121	0,0194	0,0197	0,0197	0,0196

propriedades do fluido transportado					
temp (ºC)		μ (kg/ms)	ρ (kg/m³)	pv (Pa)	ν (m²/s)
20		1,00E-03	998,2		1,004E-06

propriedades do local		
g =	9,8	m/s²
patm =		Pa

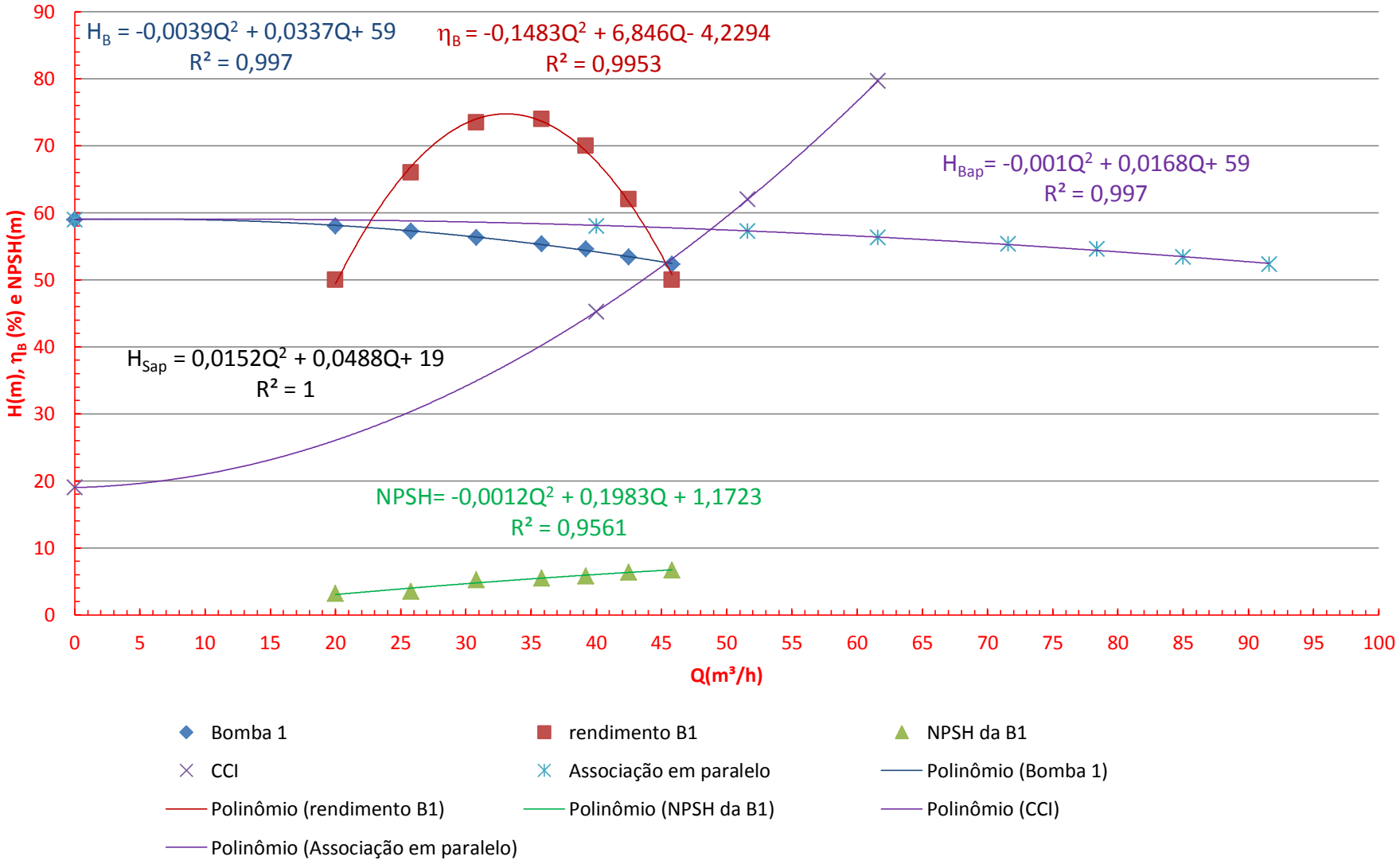
Para 2,5”
com Qa

mat. tubo aço			
	espessura	Dint (mm)	A (cm²)
	40	62,7	30,9
	K(m)	DH/k	
	4,60E-05	1363	

Q m³/h
40
51,6
61,6
71,6
78,4
85
91,6

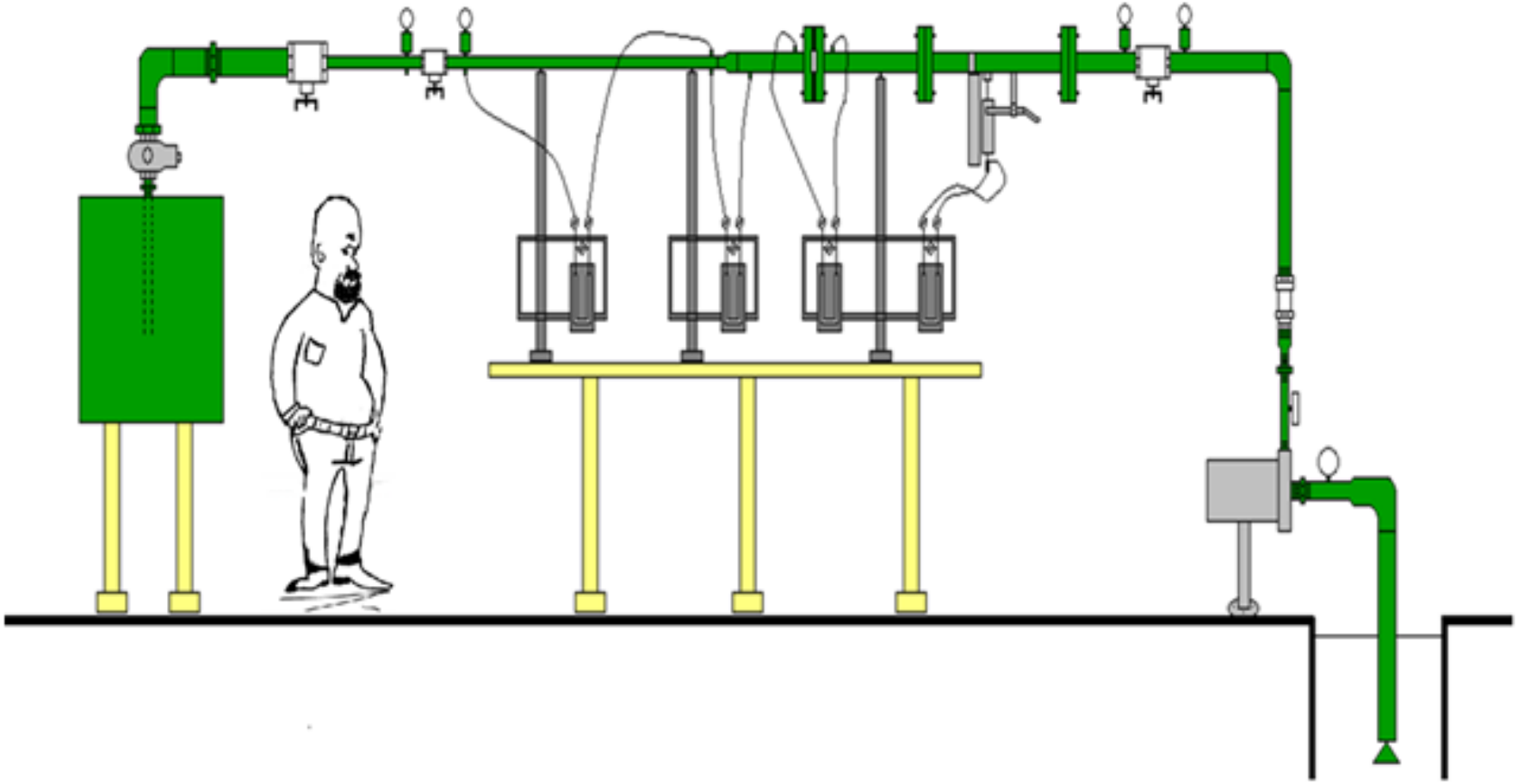
Q(m³/s) Q(L/s) Q(L/min)
deve transformar para m³/h

Q(m^3/h)	v(m/s)	Re	$f_{Haaland}$	$f_{Swamee\ e\ Jain}$	$f_{Churchill}$	$f_{planilha}$
40,0	3,60	224560	0,0196	0,0199	0,0199	0,0198
51,6	4,64	289683	0,0193	0,0196	0,0196	0,0195
61,6	5,54	345823	0,0192	0,0194	0,0194	0,0193
71,6	6,44	401963	0,0190	0,0193	0,0193	0,0191
78,4	7,05	440138	0,0190	0,0192	0,0192	0,0191
85,0	7,64	477190	0,0189	0,0191	0,0191	0,0190
91,6	8,23	514243	0,0189	0,0191	0,0191	0,0190


$H_B = -0,0039Q^2 + 0,0337Q + 59$
$R^2 = 0,997$
$\eta_B = -0,1483Q^2 + 6,846Q - 4,2294$
$R^2 = 0,9953$
$H_{Bap} = -0,001Q^2 + 0,0168Q + 59$
$R^2 = 0,997$
$H_{Sap} = 0,0152Q^2 + 0,0488Q + 19$
$R^2 = 1$
$NPSH = -0,0012Q^2 + 0,1983Q + 1,1723$
$R^2 = 0,9561$
H(m), η_B (%) e NPSH(m)
Q(m³/h)
Bomba 1
rendimento B1
NPSH da B1
CCI
Associação em paralelo
Polinômio (Bomba 1)
Polinômio (rendimento B1)
Polinômio (NPSH da B1)
Polinômio (CCI)
Polinômio (Associação em paralelo)

A vazão aumentou muito pouco, por que?
Porque o dimensionamento da tubulação após a seção 6 está inadequado, já que temos velocidades muito altas!

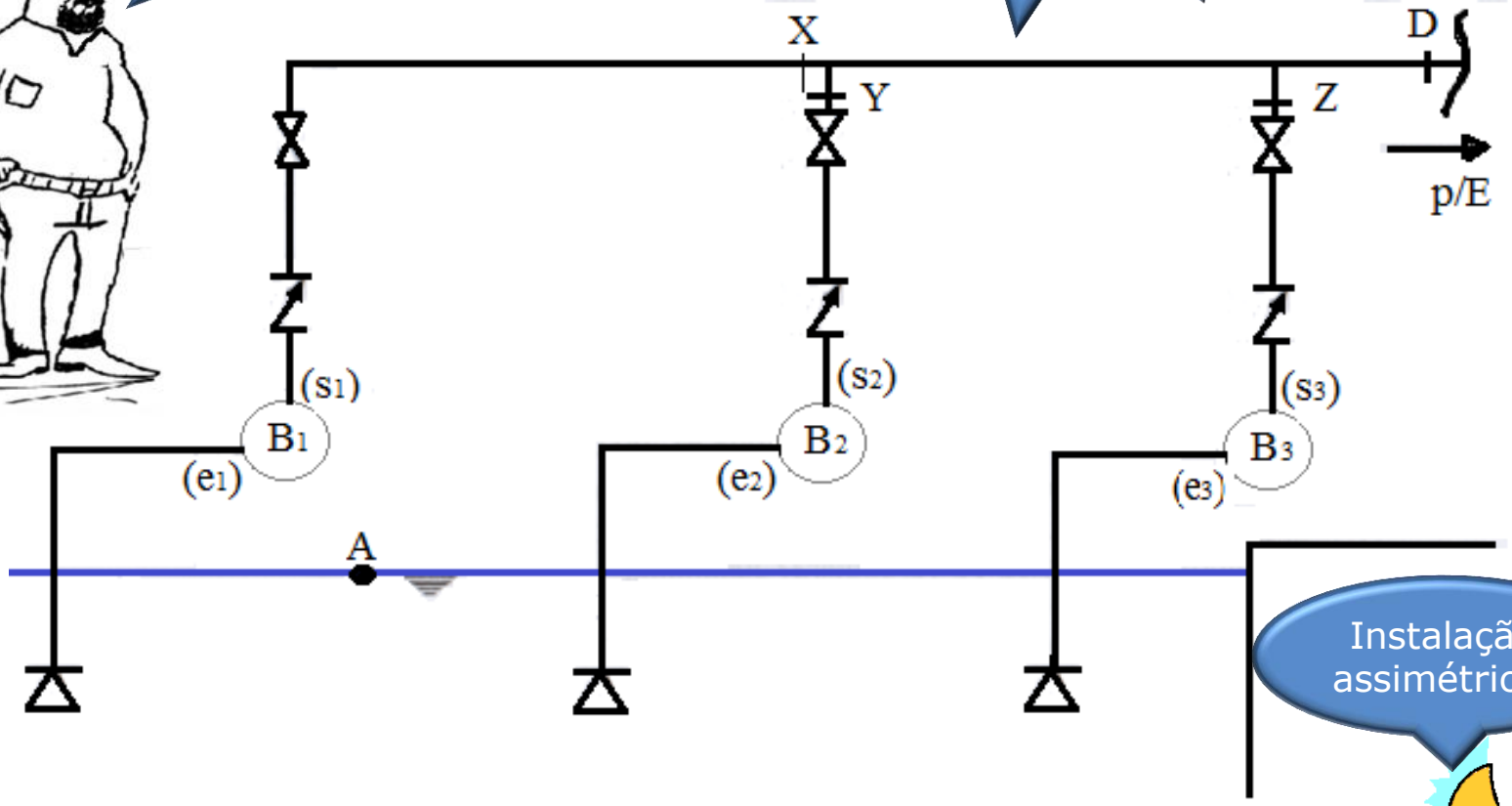
Proponha alterações na instalação anterior para melhorar a vazão obtida com a associação em paralelo e resolva os itens c) e d) novamente. Resolva também o item a) e b) e compare as CCIs para o funcionamento da bomba só e para a associação em paralelo.



Estudamos até agora a situação onde as bombas foram instaladas de forma simétrica e quando temos a mesma perda de carga até as vazões se encontrarem..
E quando isto não acontecer?

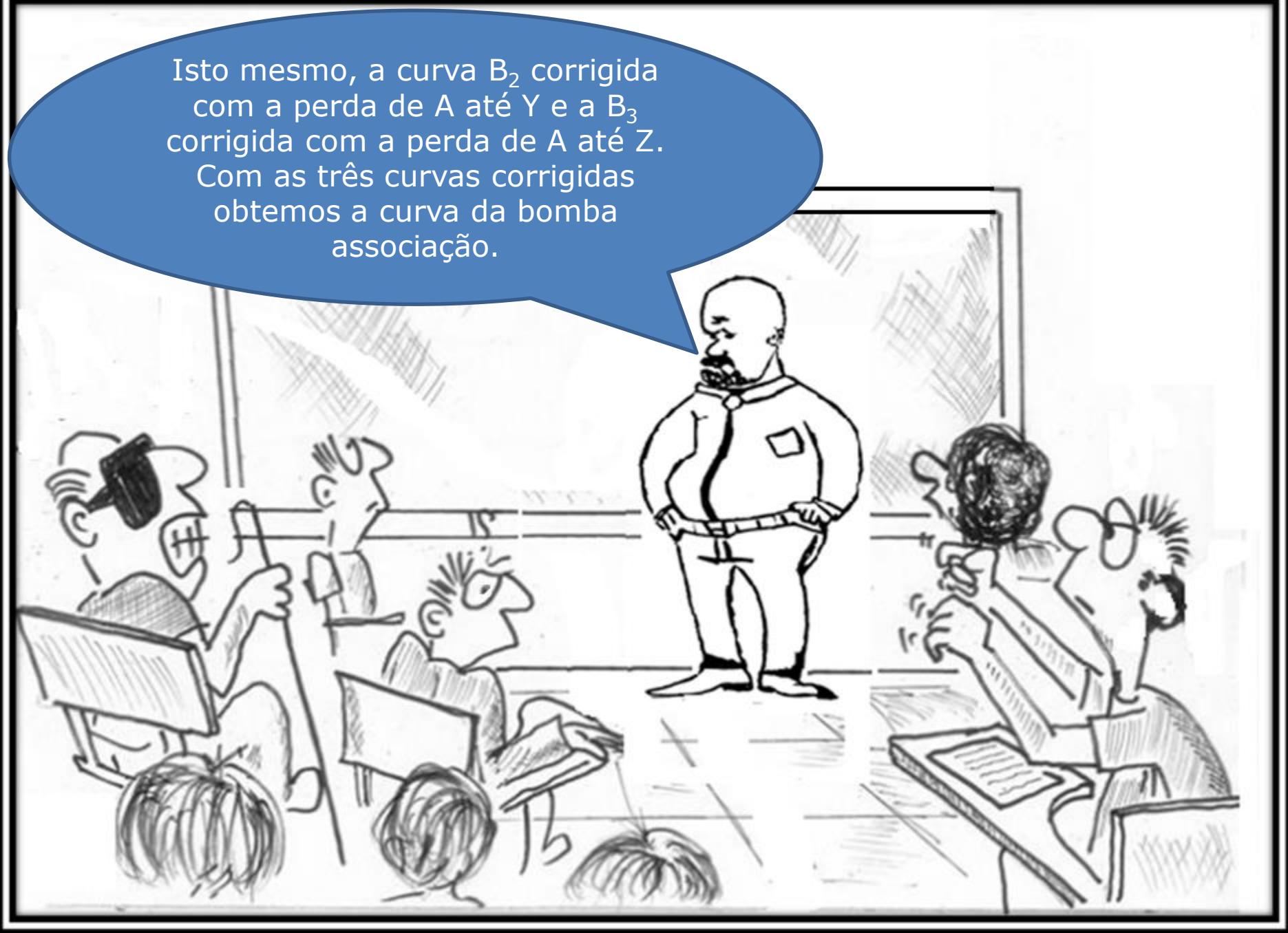
Considere esta nova situação.

E = nível de um reservatório aberto!



Instalação assimétrica!

Neste caso antes da associação em paralelo corrigimos as curvas das bombas.
A curva da B_1 é corrigida com a perda de A até X.


Isto mesmo, a curva B_2 corrigida com a perda de A até Y e a B_3 corrigida com a perda de A até Z. Com as três curvas corrigidas obtemos a curva da bomba associação.

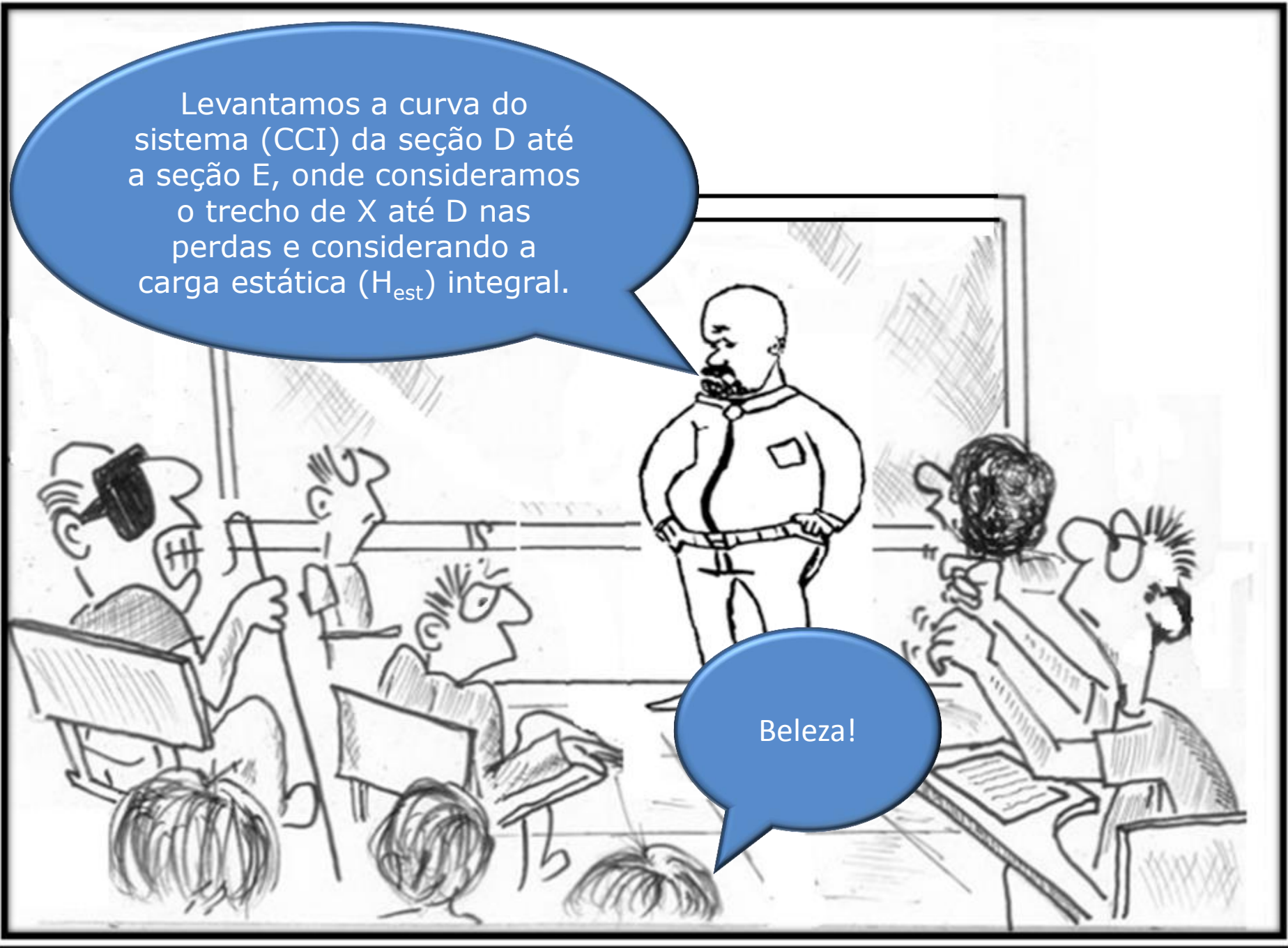
Q_1 (m)	H_{B1} (m)	H_{pA-X} (m)	H_{B1cor} (m)								

Para cada vazão, temos:

$$H_{B_{corrigido}} = H_B - H_{pA-X}$$

Adotando-se o mesmo procedimento para a B2 e B3, traçamos as novas três curvas corrigidas!

E como obtemos o ponto de trabalho?


Levantamos a curva do sistema (CCI) da seção D até a seção E, onde consideramos o trecho de X até D nas perdas e considerando a carga estática (H_{est}) integral.
Beleza!