

# Aula 10 de ME5330

Cálculo do custo de operação



Nesse ponto, vamos ampliar a nossa visão sobre os motores elétricos, abordando:

1. Conceito de motores elétrico.
2. Suas classificações básicas.
3. Seus conceitos básicos.



# Motores elétricos

20/09/2010 - v6

São máquinas que transformam energia elétrica em energia mecânica.

## primeira classificação

- motores de corrente contínua
- motores de corrente alternada
  - síncronos
  - assíncronos

## síncronos

- funcionam com a velocidade fixa
- são de alto custo e utilizados para altas potências

## assíncronos

a velocidade embora permaneça próxima a um determinado valor, apresenta pequena variação em função da carga a que o motor é submetido



são simples e robustos e de baixo custo

## conceitos básicos

- potência mecânica ✓
- velocidade síncrona ✓
- características dos motores normalizados ✓
- potência aparente ✓
- potência ativa ✓
- potência reativa ✓
- fator de potência ✓
- potência total ✓
- rendimento do motor elétrico ✓
- consumo de energia nos motores elétricos ✓

A potência mecânica é a grandeza física que determina a quantidade de energia concedida por uma fonte a cada unidade de tempo



$$N_{\text{mec}} = \frac{\Delta E}{\Delta t} = \frac{\Delta(F \times s)}{\Delta t} = F \times v$$

$$v = \frac{2\pi nr}{60}$$

C = conjugado (ou torque)

$$C = F \times r$$

r = raio do rotor

$$N_{\text{mec}} = C \times \frac{2\pi}{60} \times n = F \times r \times \frac{2\pi}{60} \times n$$

Velocidade de rotação síncrona ( $n_s$ )



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

p = número de pólos

2 pólos = 3600 rpm

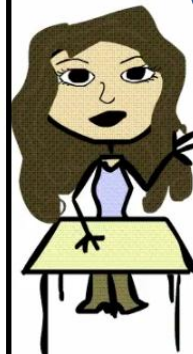
4 pólos = 1800 rpm

6 pólos = 1200 rpm

8 pólos = 900 rpm

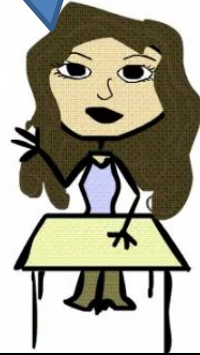
Isto porque o decreto número 4508 de 11 de dezembro de 2002 do Ministério de Minas e Energia estabelece que os motores elétricos devem ter uma frequência nominal igual a 60 Hz.

Geralmente os motores síncronos só são usados para potências > que 500CV



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

Ela é menor?



Sim e a diminuição é originada pelo escorregamento ( $s$ ), que geralmente é da ordem de 3 a 5%

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

A potência aparente é a potência instantânea desenvolvida por um dispositivo de dois terminais e é igual ao produto da diferença de potencial entre os terminais e a corrente que passa através do dispositivo.



Circuitos monofásico  $\rightarrow N_{\text{apar.}} = V \times I$

Circuitos trifásicos  $\rightarrow N_{\text{apar.}} = \sqrt{3} \times V \times I$

$$[N_{\text{apar}}] = \text{VA}$$

A potência ativa é a capacidade do circuito em produzir trabalho, ou seja, ela é a parte da potência aparente que realmente é transformada em energia.

Circuitos monofásico  $\rightarrow N_a = VI \cos \phi$

Circuitos trifásicos  $\rightarrow N_a = \sqrt{3} \times VI \cos \phi$

$[N_a] = \text{W} \rightarrow \phi = \text{ângulo de fase}$



Potência reativa é parte da potência aparente que é armazenada não realizando trabalho



Circuitos monofásico  $\rightarrow N_R = VI \sin \phi$

Circuitos trifásicos  $\rightarrow N_R = \sqrt{3} \times VI \sin \phi$

$[N_a] = VA_R \rightarrow \phi = \text{ângulo de fase}$

$$N_{\text{apar.}}^2 = N_a^2 + N_R^2$$

Fator de potência é um índice que indica quanto de energia total foi transformada em trabalho e quanto foi utilizada em magnetização. Ele mostra o grau de eficiência do uso dos sistemas elétricos.

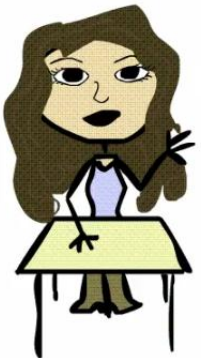


$$\cos \phi = \frac{N_a}{N_{\text{apar}}} \rightarrow \text{ex : } \cos \phi = 0,80$$

$\therefore 80\% \Rightarrow$  transformada em trabalho

$20\% \Rightarrow$  transformada em magnetização

Valores baixos de fator de potência evidenciam um mau aproveitamento e representam uma sobrecarga para todo o sistema elétrico.

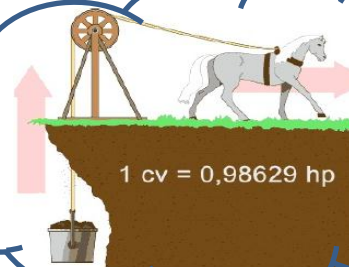


Agora entendo porque o Artigo número 64 da Resolução ANEEL número 456 de 29 de novembro de 2000 estabelece que o fator de potência deve permanecer igual ou superior a 0,92 .

Calcular	Corrente contínua	Corrente alternada	
		monofásica	trifásica
Potência efetiva no eixo do motor em kW	$N_B = \frac{V \times I \times \eta_m}{1000}$	$N_B = \frac{V \times I \times \eta_m \times \cos \phi}{1000}$	$N_B = \frac{\sqrt{3} \times V \times I \times \eta_m \times \cos \phi}{1000}$
Potência fornecida em kW	$N_m = \frac{V \times I}{1000}$	$N_m = \frac{V \times I \times \cos \phi}{1000}$	$N_m = \frac{\sqrt{3} \times V \times I \times \cos \phi}{1000}$
Corrente absorvida a plena carga, ampères (no eixo do motor)	$I = \frac{N_B \times 1000}{V \times \eta_m}$	$I = \frac{N_B \times 1000}{V \times \cos \phi \times \eta_m}$	$I = \frac{N_B \times 1000}{\sqrt{3} \times V \times \cos \phi \times \eta_m}$

### EXPRESSÕES ELÉTRICAS

$$\eta_{\text{global}} = \frac{N}{N_m}$$



Exercício 1: Qual a potência mecânica necessária para acionar uma polia de raio igual a 0,5 m a uma rotação de 1750 rpm, com uma força de 30 kgf?



Resposta: 36,7 CV

Exercício 2: Determine o porcentual de escorregamento de um motor de 4 pólos com rotação nominal de 1750 rpm, alimentado por uma frequência de 60 Hz.



Resposta: 2,8%



Exercício 3: Determine as potências aparente, ativa e reativa para um motor trifásico alimentado a uma tensão de 440V, corrente de 46,5 A e fator de potência de 0,7.



Respostas:  
 $N_{\text{apar}} = 35,4 \text{ KVA}$   
 $N_a = 24,8 \text{ kW}$   
 $N_R = 25,3 \text{ KVA}_R$

Exercício 4: Para alimentar uma carga de 25kW com fator de potência igual a 0,70, são necessários 35,7 kVA. Determinar para a mesma carga de 25 kW, mas com fator de potência igual a 0,92, a potência aparente e a diferença de porcentual no fornecimento de potência.

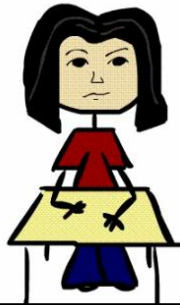


Respostas:  
 $N_{\text{apar}} = 27,2 \text{ KVA}$   
 $\Delta N = 23,8\%$

Uma das maneiras para se selecionar o motor elétrico



Adotamos o rendimento do motor igual a 90% e calculamos a potência nominal de referência.



Isso mesmo!



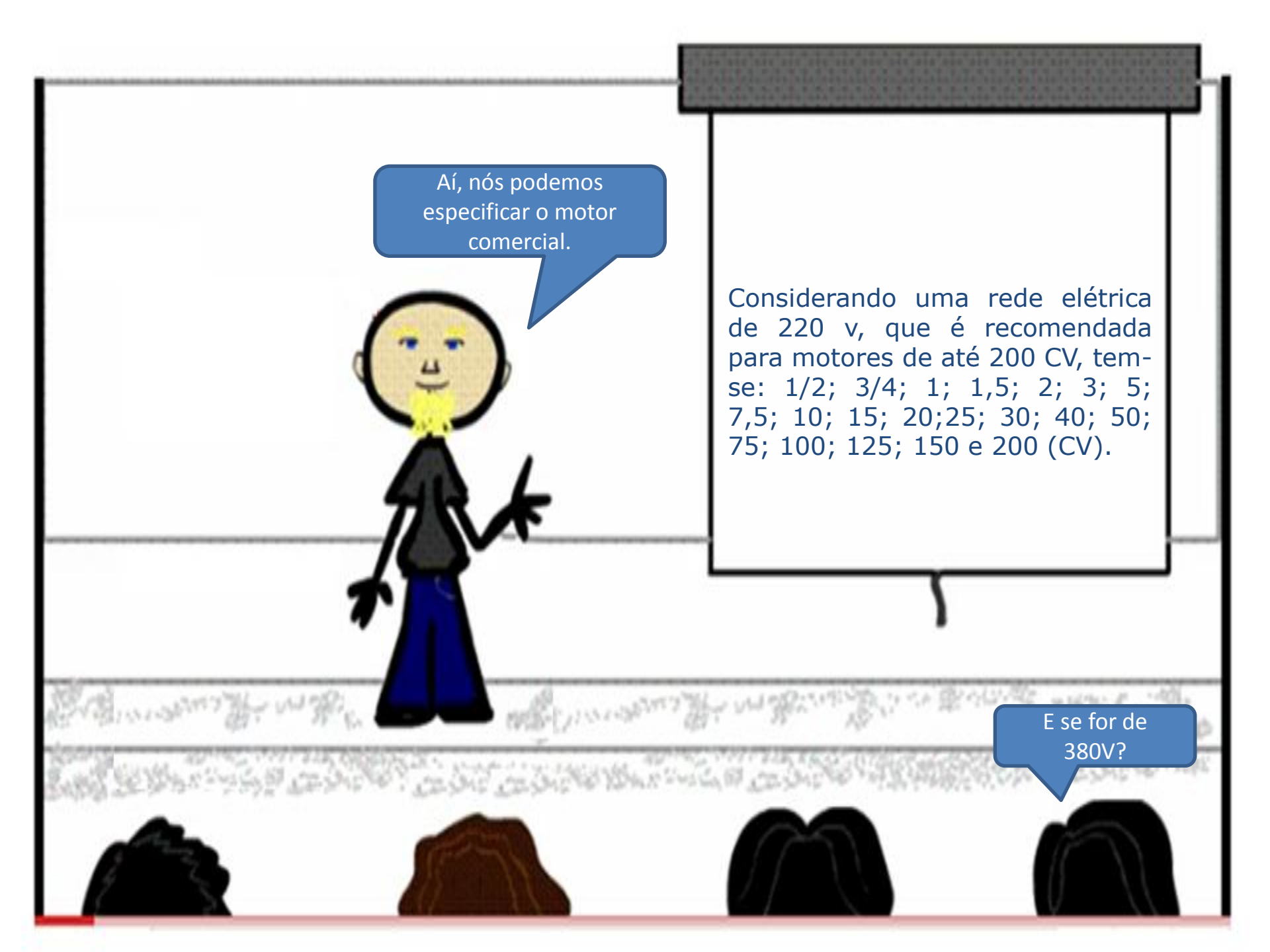
Pode-se então determinar a potência do motor elétrico de referência, já que ela é igual a potência da bomba (potência mecânica) dividida pelo rendimento do motor elétrico.



Isso mesmo!

$$N_{m_{ref}} = \frac{N_{B_{\tau}}}{\eta_m} = \frac{\gamma \times Q_{\tau} \times H_{B_{\tau}}}{0,9 \times \eta_{B_{\tau}}}$$





Aí, nós podemos especificar o motor comercial.

Considerando uma rede elétrica de 220 v, que é recomendada para motores de até 200 CV, tem-se: 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 (CV).

E se for de 380V?

Se for 380V,  
temos:



motores em CV  $\rightarrow$  1/2 . . .  
200; 250; 300; 350; 425; 475;  
530; 600; 675; 750; 850; 950;  
1000.



Especificado o  
motor elétrico,  
podemos calcular o  
seu consumo de  
energia.

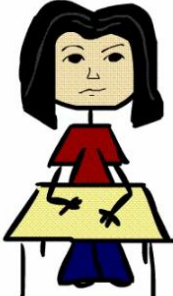
Sim, mas podemos também calcular o  
rendimento real do motor elétrico!



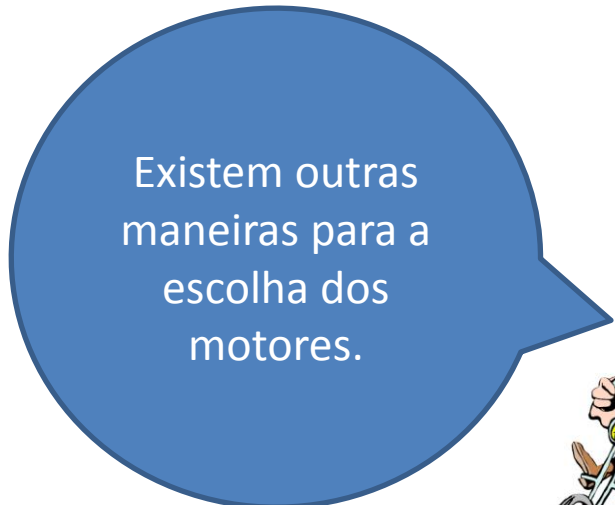
$$\eta_{m_{\text{real}}} = \frac{N_{B_{\tau}}}{N_{m_{\text{comercial}}}}$$

$$\text{Consumo}_{\text{energia}_{\text{ex.mensal}}} = A$$



$$A = N_{m_{\text{comercial}}} (\text{kW}) \times a \left( \frac{\text{h}}{\text{dia}} \right) \times b \left( \frac{\text{dia}}{\text{mes}} \right)$$



Só existe essa  
maneira para  
sua  
especificação?



Existem outras  
maneiras para a  
escolha dos  
motores.



Uma outra  
maneira está  
sintetizada no  
próximo slide.


O motor que aciona a bomba deverá trabalhar sempre com uma folga ou margem de segurança a qual evitará que o mesmo venha, por uma razão qualquer, operar com sobrecarga. Portanto, recomenda-se que a potência necessária ao funcionamento da bomba ( $N_B$ ) seja acrescida de uma folga, conforme especificação a seguir (para motores elétricos):

Potência exigida pela Bomba ( $N_B$ )	Margem de segurança recomendada (%)
até 2 cv	50%
de 2 a 5 cv	30%
de 5 a 10 cv	20%
de 10 a 20 cv	15%
acima de 20 cv	10%

Para motores a óleo diesel recomenda-se uma margem de segurança de 25% e a gasolina, de 50% independente da potência calculada.

A TABELA ACIMA PODE SER LIDA NA PÁGINA 69 DO LIVRO BOMBAS E INSTALAÇÕES DE BOMBEAMENTO ESCRITO POR A. J. MACINTYRE E EDITADO PELA LTC EM 2008.

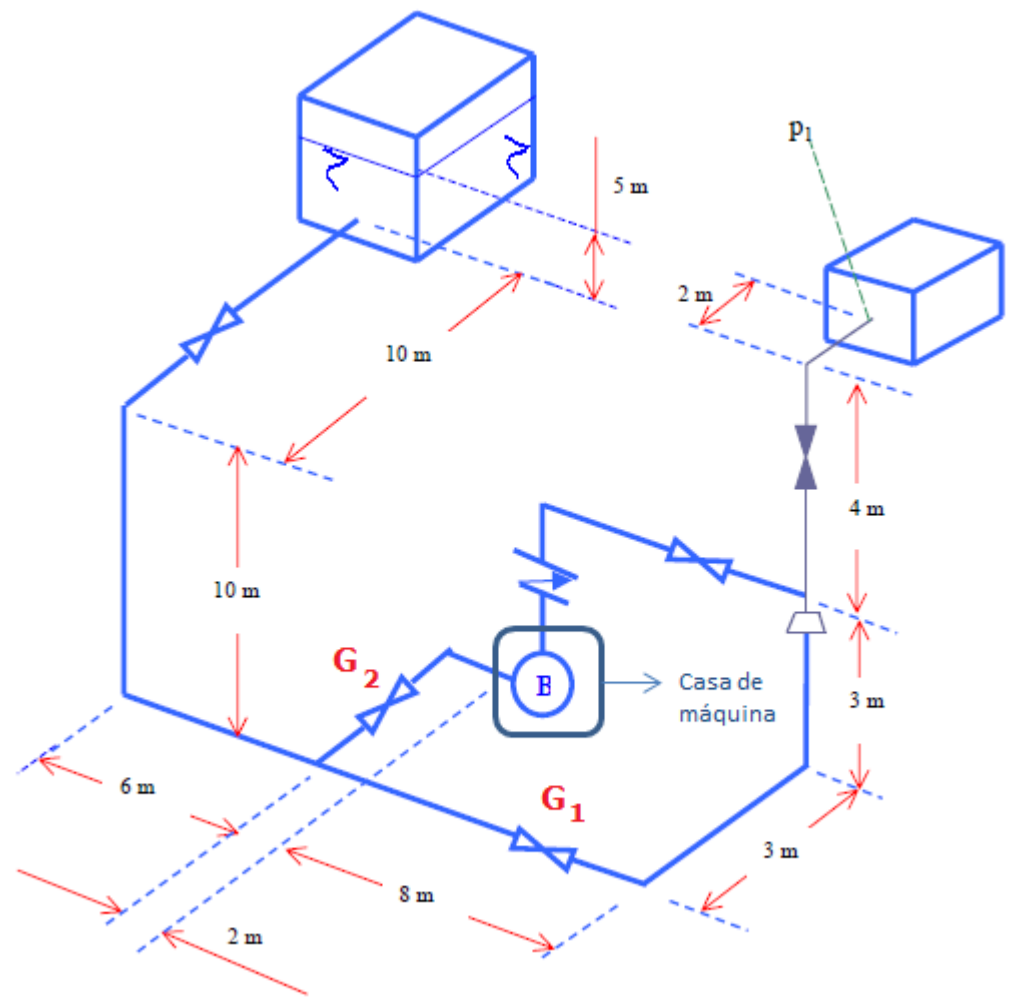




Para preparar o próximo assunto a ser estudado proponho o exercício a seguir.

7.12.15 A instalação da figura deve atender um tanque de processo e a pressão na entrada deste tanque (1) deve ser  $p_1 = 1,5 \text{ kgf / cm}^2$ , se o escoamento for por gravidade ( $G_2$  - fechada). A bomba H 50 - C com diâmetro de rotor igual a 214 mm será acionada sempre que o processo exigir uma pressão  $p_1 = 3,5 \text{ kgf/cm}^2$  ( $G_1$  - fechada). Pede-se:

- a) a equação da CCI para as duas possibilidades mencionadas acima;
- b) o ponto de trabalho para as possibilidades de funcionamento da instalação



**Nota:** **—** = 3" Sch 40

**—** = 2" Sch 40



$L_{eq}$ (m)	v. gaveta	v. globo	Joelho 90°	Tê – para ramal	Tê – passagem direta	redução	retenção	Saida do reserv.
2” $D_i = 52,5\text{mm}$	0,3	16,0	1,7	3,6	1,0	0,2	3,4	-
3” $D_i = 77,9\text{mm}$	0,5	26,0	2,8	5,8	1,5	1,5	5,5	2,8

Notas:

1ª - A tabela I fornece os valores para a construção das seguintes curvas características para o diâmetro do rotor igual a 185 mm.

$Q \left( \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right)$	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
$H_B$ (m)	24	23,5	23	22,5	22	21,5	21	20,5	19	17	15
$\eta_B$ (%)	-	-	32,5	45	55	61,25	66	69	67,5	63	57,5

Tabela I

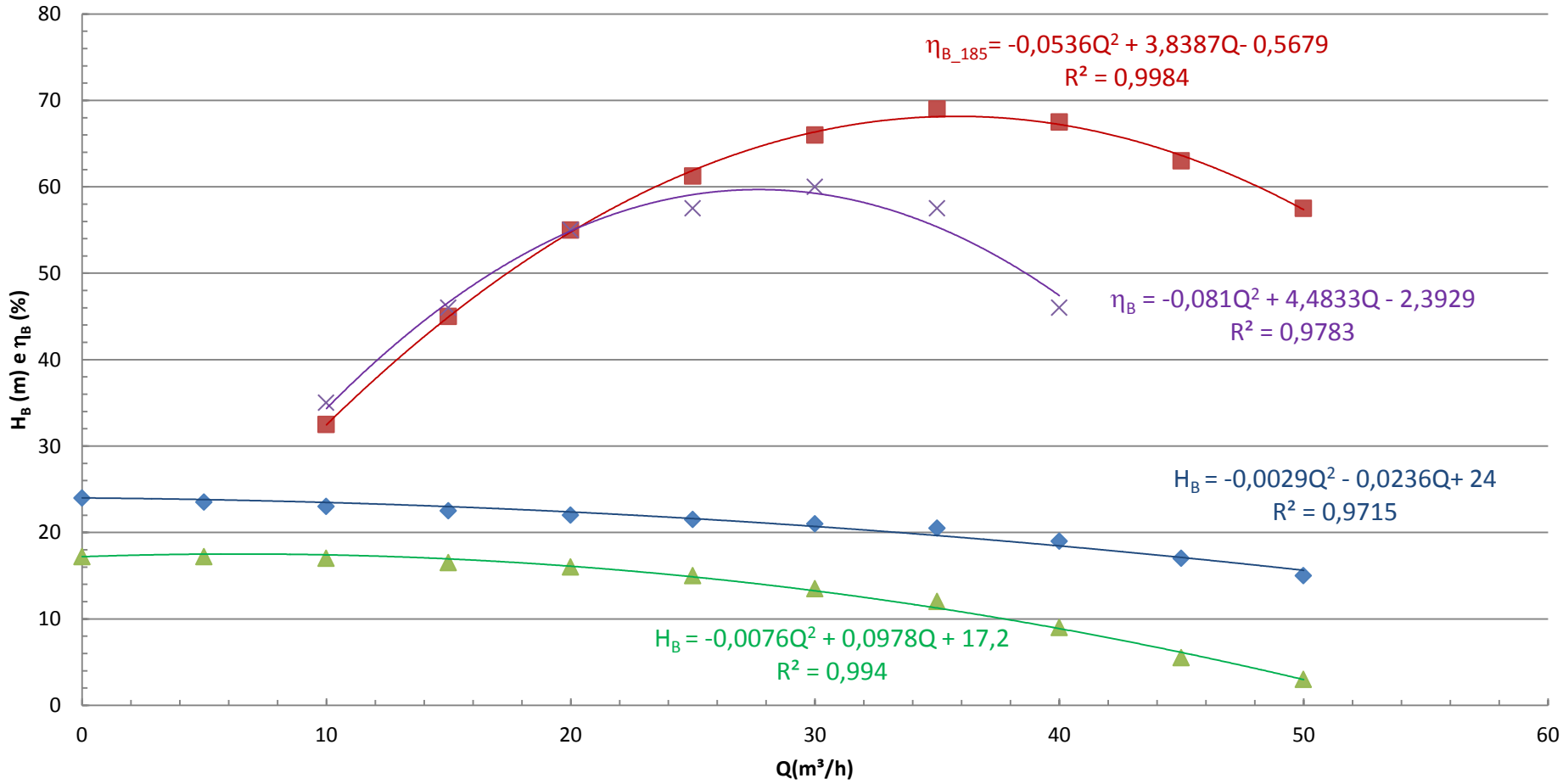
Considere a água a 22°C e a rugosidade do aço igual a 4,6 e-5 m

2ª - A tabela II fornece os valores para a construção das seguintes curvas características para o diâmetro do rotor igual a 214 mm.

$Q \left( \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right)$	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
$H_B$ (m)	17,2	17,2	17	16,5	16	15	13,5	12	9	5,5	3
$\eta_B$ (%)	-	-	35	46	55	57,5	60	57,5	46	-	-

Tabela II

# $H_B = f(Q)$ e $\eta_B = f(Q)$



- ◆ HB185 (m)
- rend\_185
- ▲ CCB\_214
- × rend\_214
- Polinômio (HB185 (m))
- Polinômio (rend\_185)
- Polinômio (CCB\_214)
- Polinômio (rend\_214)

INICIAMOS A SOLUÇÃO CALCULANDO A CARGA ESTÁTICA DA INSTALAÇÃO CONSIDERADA, NO CASO EXISTEM DUAS SITUAÇÕES POSSÍVEIS: UMA COM A VÁLVULA 2 FECHADA E A 1 ABERTA E A OUTRA COM A 2 ABERTA E A 1 FECHADA!

$$H_{\text{estática}} = (z_{\text{final}} - z_{\text{inicial}}) + \left( \frac{P_{\text{final}} - P_{\text{inicial}}}{\gamma} \right)$$



# Situação 1 = válvula 2 fechada e a 1 aberta

$$H_{\text{estática}} = (7 - 15) + \left( \frac{1,5 \times 10^4 \times 9,8 - 0}{997,8 \times 9,8} \right)$$

$$H_{\text{estática}} \cong 7,0\text{m}$$

Como a carga estática deu positiva, podemos afirmar que não existe o escoamento em queda livre.

A equação abaixo mostra a equação da CCI supondo que haveria o escoamento em queda livre.

$$H_S = 7 + \frac{Q^2}{19,6 \times (21,7 \times 10^{-4})^2} + f_{3''} \times \frac{(42 + 16,5)}{0,0779} \times \frac{Q^2}{19,6 \times (47,7 \times 10^{-4})^2} + f_{2''} \times \frac{(6 + 18,9)}{0,0525} \times \frac{Q^2}{19,6 \times (21,7 \times 10^{-4})^2}$$

$$H_S = 7 + 10834,8 \times Q^2 + f_{3''} \times 1683936,0 \times Q^2 + f_{2''} \times 5138833,1 \times Q^2$$

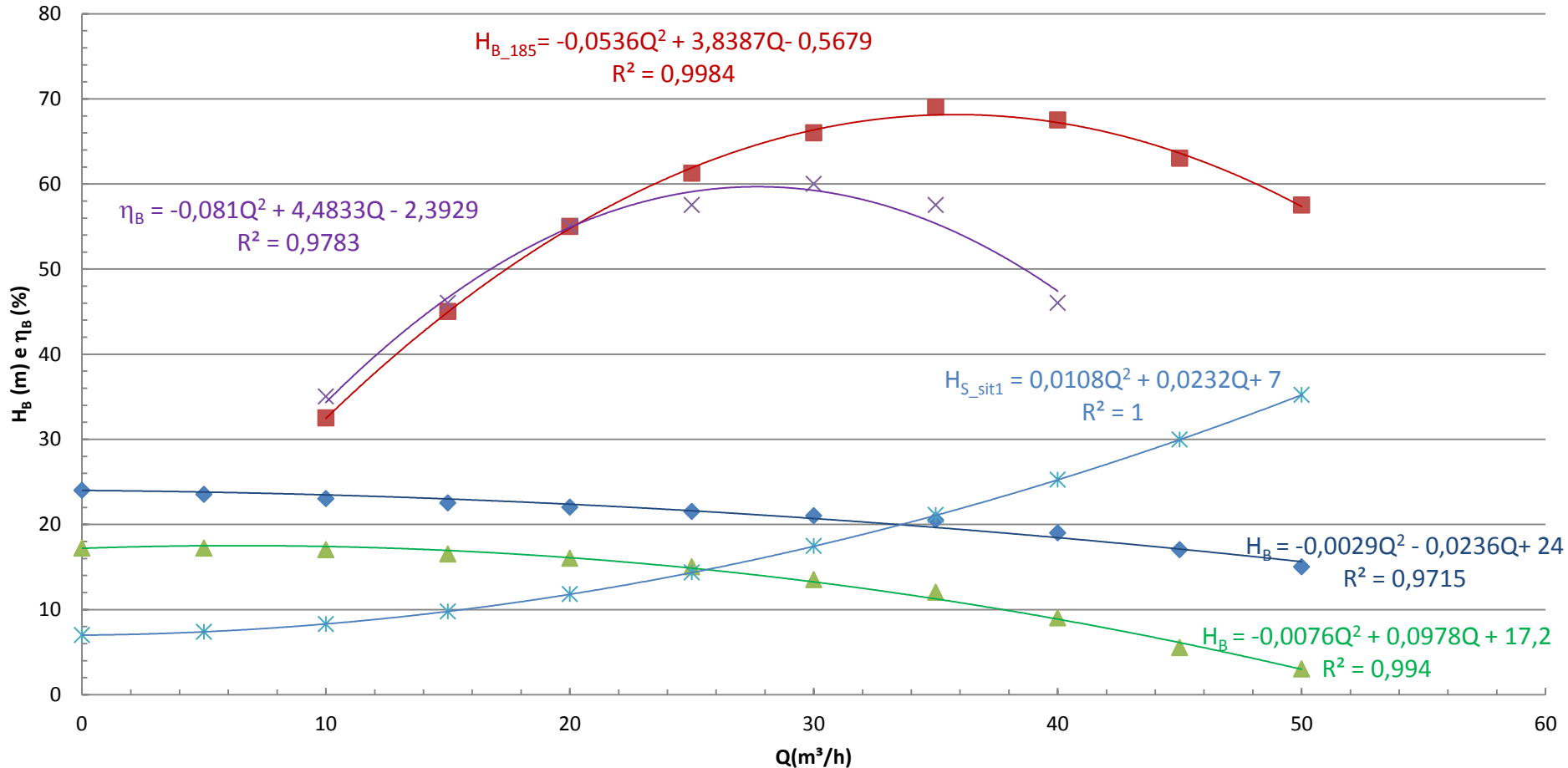


# Solução gráfica

Q(m <sup>3</sup> /h)	H <sub>B185</sub> (m)	η <sub>B185</sub> (%)	H <sub>B214</sub> (m)	η <sub>B214</sub> (%)	f <sub>3"</sub>	f <sub>2"</sub>	H <sub>S_sit1</sub> (m)
0	24		17,2		0	0	7
5	23,5		17,2		0,0263	0,0252	7,4
10	23	32,5	17	35	0,0231	0,0228	8,3
15	22,5	45	16,5	46	0,0217	0,0218	9,8
20	22	55	16	55	0,0209	0,0212	11,8
25	21,5	61,25	15	57,5	0,0204	0,0209	14,4
30	21	66	13,5	60	0,0200	0,0206	17,4
35	20,5	69	12	57,5	0,0197	0,0204	21,1
40	19	67,5	9	46	0,0195	0,0203	25,3
45	17	63	5,5		0,0193	0,0202	30,0
50	15	57,5	3		0,0191	0,0201	35,2

# Verificamos que não existe vazão em queda livre para a situação 1, a não ser com bombas!

$$H_B = f(Q) \text{ e } \eta_B = f(Q)$$



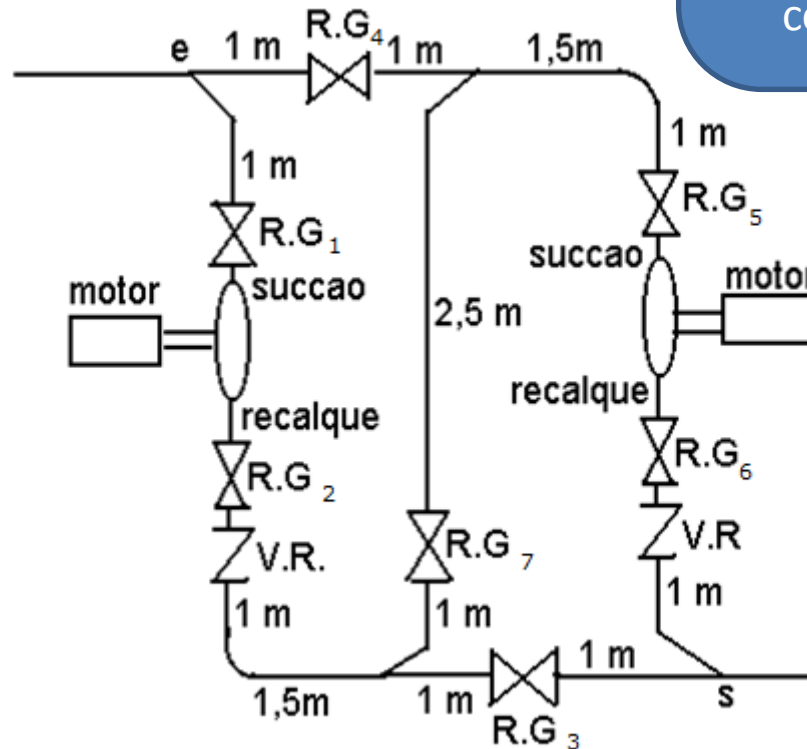
- ◆ HB185 (m)
- rend\_185
- ▲ CCB\_214
- × rend\_214
- ✱ CCI\_sit1
- Polinômio (HB185 (m))
- Polinômio (rend\_185)
- Polinômio (CCB\_214)
- Polinômio (rend\_214)
- Polinômio (CCI\_sit1)

Mas para obtê-lo  
devemos refletir  
sobre a instalação  
das bombas e as  
eventuais  
alterações na CCI.



É dado o detalhe da casa de máquina, onde as ligações possíveis das bombas encontram-se representadas na figura a seguir, em uma vista de cima.

Pelo que eu percebi nós deveremos corrigir as equações da CCI anteriores, isto porque tivemos alteração tanto no L, como na  $\Sigma Leq$ !



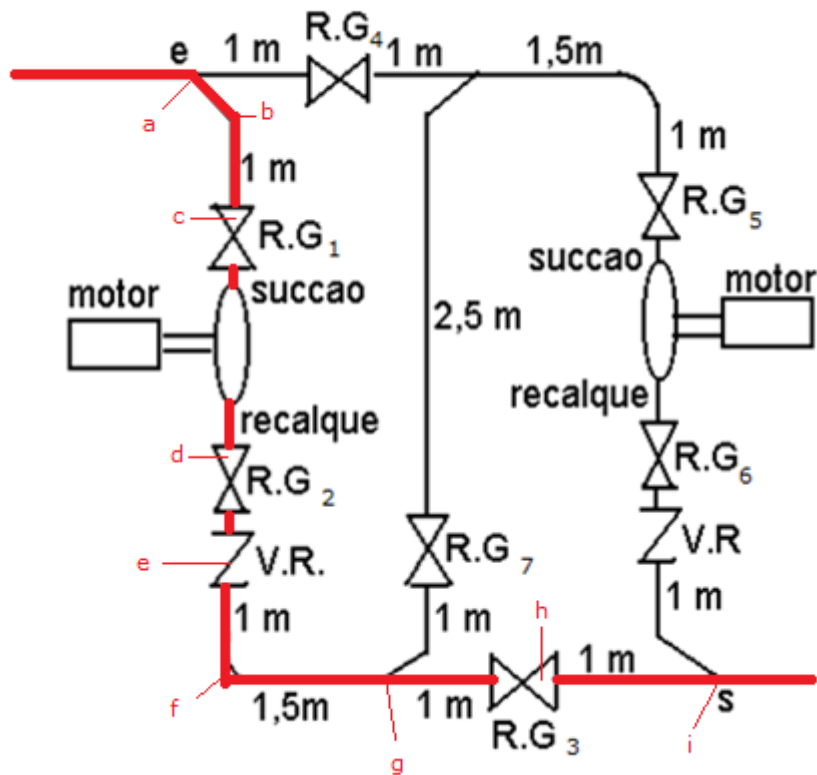


Isso mesmo e sabendo que a instalação na casa de máquina trabalha com um único diâmetro e que os tubos são de aço 40 com diâmetro nominal de 3", obtenha o ponto de trabalho operando com a bomba H50-C com o diâmetro de rotor igual a 214 mm e 185 mm para a situação 1, ou seja, para a pressão na seção final igual a 1,5 kgf/cm<sup>2</sup>. Explique as operações com as válvulas gaveta para viabilizar o funcionamento.



PRIMEIRA POSSIBILIDADE DE FUNCIONAMENTO: REGISTROS GAVETAS FECHADOS: 4, 5, 6 E 7 E REGISTROS GAVETAS ABERTOS: 1, 2 E 3. Nesse caso opera-se com uma só bomba.

### LEGENDA



- a = tê de saída de lado (Tupy)
- b = joelho (fêmea) de 90° (Tupy)
- c, d, h = registros ou válvulas gaveta (Mipel)
- e = válvula de retenção com portinhola (Mipel)
- f = curva (fêmea) de 90° (Tupy)
- g, i = tê de passagem direta (Tupy)

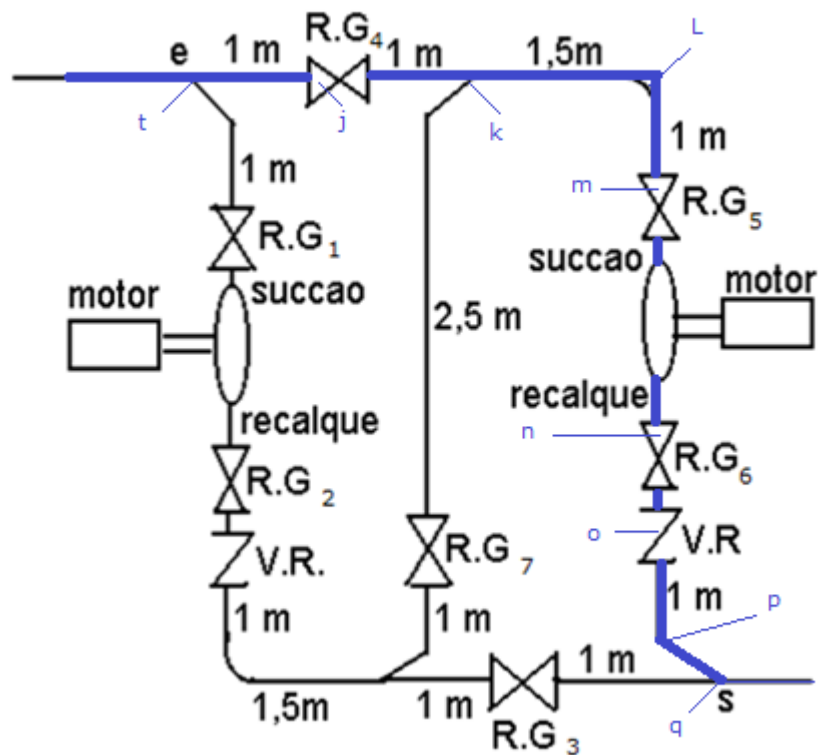
Singularidades	Diâmetro nominal	Leq (m)
a	3"	4,11
b	3"	2,82
c, d, h	3"	1,03
e	3"	3,95
f	3"	1,64
g, i	3"	0,50

$$L_{CM} = 5,5 \text{ m e a}$$

$$\Sigma leq = 16,61 \text{ m}$$

SEGUNDA POSSIBILIDADE DE FUNCIONAMENTO: REGISTROS GAVETAS FECHADOS: 1, 2, 3 E 7 E REGISTROS GAVETAS ABERTOS: 4, 5 E 6. Nesse caso opera-se com uma só bomba.

### LEGENDA



t, k = tê de passagem direta (Tupy)

p = joelho (fêmea) de 90° (Tupy)

j, m, n = registros ou válvulas gaveta (Mipel)

o = válvula de retenção com portinhola (Mipel)

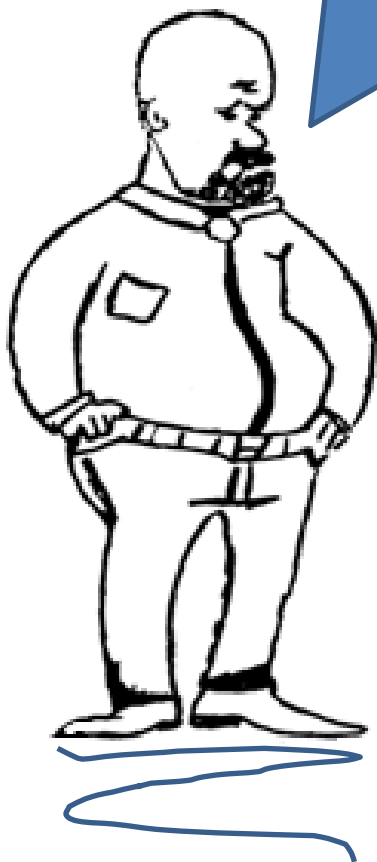
L = curva (fêmea) de 90° (Tupy)

q = tê de passagem de lado (Tupy)

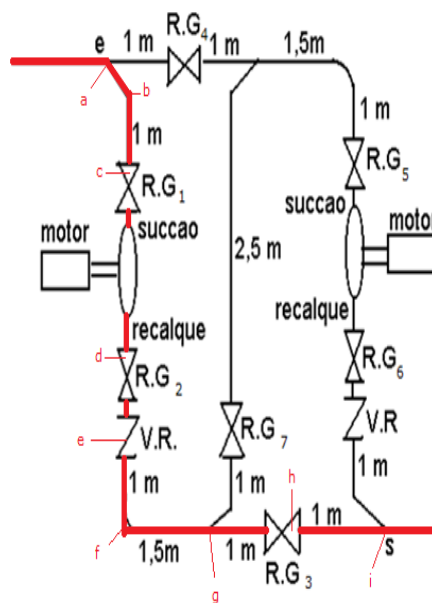
Singularidades	Diâmetro nominal	Leq (m)
q	3"	4,11
p	3"	2,82
j, m, n	3"	1,03
o	3"	3,95
L	3"	1,64
t, k	3"	0,50

$L_{CM} = 5,5 \text{ m e a}$   
 $\Sigma leq = 16,61 \text{ m}$

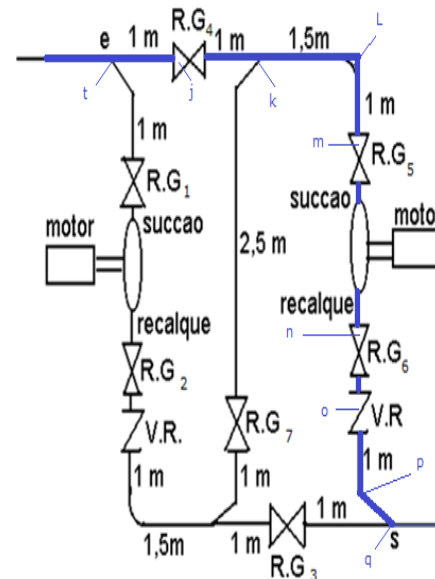
EM RELAÇÃO A CASA DE MÁQUINA AS  
DUAS POSSIBILIDADES SÃO IDÊNTICAS,  
POIS EM AMBAS SE TEM O MESMO  
COMPRIMENTO TOTAL DE TUBULAÇÃO E  
A MESMA SOMATÓRIA DE  
COMPRIMENTOS EQUIVALENTES.



Primeira  
possibilidade



Segunda  
possibilidade



# Solução para a situação 1

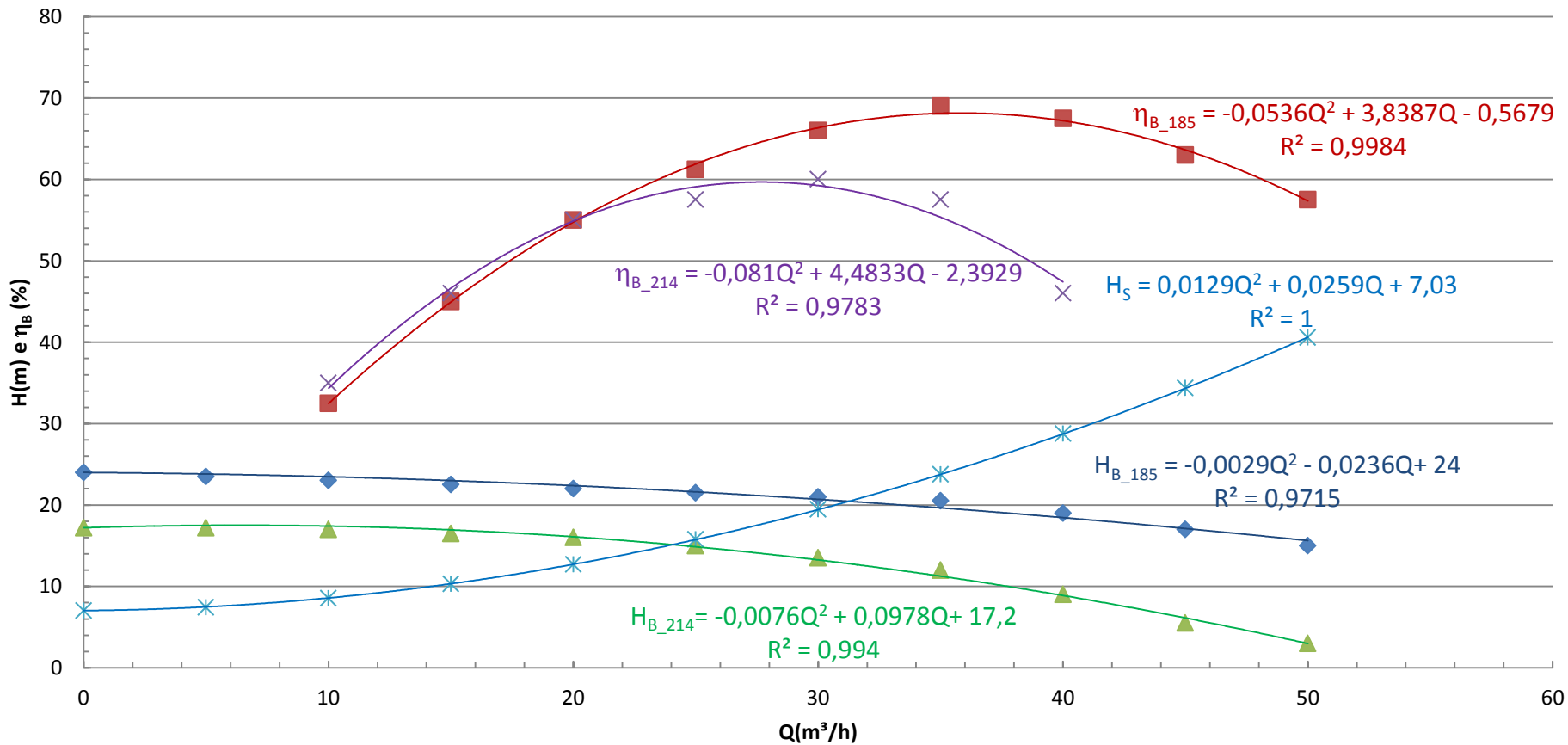
$$H_S = 7,03 + \frac{Q^2}{19,6 \times (21,7 \times 10^{-4})^2} + f_{3''} \times \frac{(42 + 26,8 + 5,5 + 16,61)}{0,0779} \times \frac{Q^2}{19,6 \times (47,7 \times 10^{-4})^2} + f_{2''} \times \frac{(6 + 21,3)}{0,0525} \times \frac{Q^2}{19,6 \times (21,7 \times 10^{-4})^2}$$

$$H_S = 7,03 + 10834,8 \times Q^2 + f_{3''} \times 2616865,3 \times Q^2 + f_{2''} \times 5634142,2 \times Q^2$$

Q(m³/h)	H <sub>B185</sub> (m)	h <sub>B185</sub> (%)	H <sub>B214</sub> (m)	h <sub>B214</sub> (%)	f <sub>3''</sub>	f <sub>2''</sub>	H <sub>s</sub> (m)
0	24		17,2		0	0	7,0
5	23,5		17,2		0,0263	0,0252	7,4
10	23	32,5	17	35	0,0231	0,0228	8,5
15	22,5	45	16,5	46	0,0217	0,0218	10,3
20	22	55	16	55	0,0209	0,0212	12,7
25	21,5	61,25	15	57,5	0,0204	0,0209	15,8
30	21	66	13,5	60	0,02	0,0206	19,4
35	20,5	69	12	57,5	0,0197	0,0204	23,8
40	19	67,5	9	46	0,0195	0,0203	28,8
45	17	63	5,5		0,0193	0,0202	34,4
50	15	57,5	3		0,0191	0,0201	40,6

# Solução para a situação 1 (cont.)

## Ponto de trabalho



- ◆ HB185 (m)
- rend\_185
- ▲ HB\_214
- × rend\_214
- \* CCI
- Polinômio (HB185 (m))
- Polinômio (rend\_185)
- Polinômio (HB\_214)
- Polinômio (rend\_214)
- Polinômio (CCI)

## Ponto de trabalho parcial para a bomba com diâmetro de rotor igual a 185 mm

$H_S = H_{B_{as}} \rightarrow$  ponto de trabalho

$$0,0129Q^2 + 0,0259Q + 7,03 = -0,0029Q^2 - 0,0236Q + 24$$

$$0,0158Q^2 + 0,0495Q - 16,97 = 0$$

$$Q_\tau = \frac{-0,0495 + \sqrt{0,0495^2 + 4 \times 0,0158 \times 16,97}}{2 \times 0,0158} \cong 31,2 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

$$H_{B_\tau} = 0,0129 \times 31,2^2 + 0,0259 \times 31,2 + 7,03 = 20,4\text{m}$$

$$\eta_{B_\tau} = -0,0536 \times 31,2^2 + 3,8387 \times 31,2 - 0,5679 \cong 67,0\%$$

$$N_{B_\tau} = \frac{997,8 \times 9,8 \times \left( \frac{31,2}{3600} \right) \times 20,4}{0,67} \cong 2580,3\text{W}$$

# Ponto de trabalho parcial para a bomba com diâmetro de rotor igual a 214 mm

$$H_S = H_{B_{as}} \rightarrow \text{ponto de trabalho}$$

$$0,0129Q^2 + 0,0259Q + 7,03 = -0,0076Q^2 + 0,0978Q + 17,2$$

$$0,0205Q^2 - 0,0719Q - 10,17 = 0$$

$$Q_\tau = \frac{0,0719 + \sqrt{0,0719^2 + 4 \times 0,0205 \times 10,17}}{2 \times 0,0205} \cong 24,1 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

$$H_{B_\tau} = 0,0205 \times 24,1^2 + 0,0259 \times 24,1 + 7,03 = 19,6\text{m}$$

$$\eta_{B_\tau} = -0,081 \times 24,1^2 + 4,4833 \times 24,1 - 2,3929 \cong 58,6\%$$

$$N_{B_\tau} = \frac{997,8 \times 9,8 \times \left( \frac{24,1}{3600} \right) \times 19,6}{0,586} \cong 2189,5\text{W}$$



Vamos analisar  
a situação 2.



# Situação 2 = válvula 1 fechada e a 2 aberta

$$H_{\text{estática}} = (7 - 15) + \left( \frac{3,5 \times 10^4 \times 9,8 - 0}{997,8 \times 9,8} \right)$$

$$H_{\text{estática}} \cong 27,1\text{m}$$

Como a carga estática é maior que a carga no shut off, podemos afirmar que não existe o ponto de trabalho para a bomba escolhida.



$$H_S = 27,1 + \frac{Q^2}{19,6 \times (21,7 \times 10^{-4})^2} + f_{3''} \times \frac{(42 + 26,8)}{0,0779} \times \frac{Q^2}{19,6 \times (47,7 \times 10^{-4})^2} + f_{2''} \times \frac{(6 + 21,3)}{0,0525} \times \frac{Q^2}{19,6 \times (21,7 \times 10^{-4})^2}$$

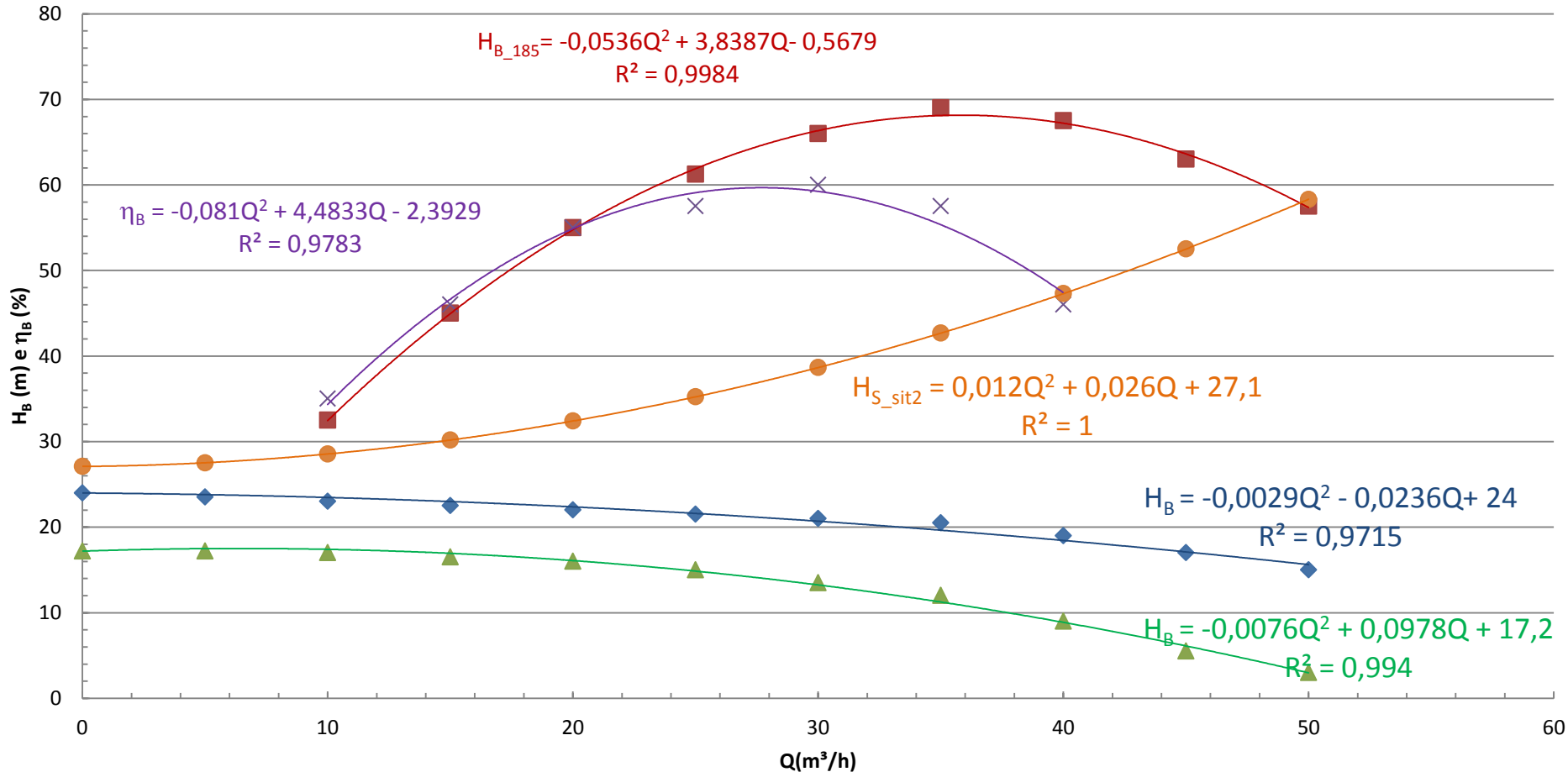
$$H_S = 27,1 + 10834,9 \times Q^2 + f_{3''} \times 1980423,9 \times Q^2 + f_{2''} \times 5634142,3 \times Q^2$$

# Solução gráfica

Q(m <sup>3</sup> /h)	H <sub>B185</sub> (m)	η <sub>B185</sub> (%)	H <sub>B214</sub> (m)	η <sub>B214</sub> (%)	f <sub>3"</sub>	f <sub>2"</sub>	H <sub>S_sit2</sub> (m)
0	24		17,2		0	0	27,1
5	23,5		17,2		0,0263	0,0252	27,5
10	23	32,5	17	35	0,0231	0,0228	28,5
15	22,5	45	16,5	46	0,0217	0,0218	30,2
20	22	55	16	55	0,0209	0,0212	32,4
25	21,5	61,25	15	57,5	0,0204	0,0209	35,2
30	21	66	13,5	60	0,0200	0,0206	38,7
35	20,5	69	12	57,5	0,0197	0,0204	42,7
40	19	67,5	9	46	0,0195	0,0203	47,3
45	17	63	5,5		0,0193	0,0202	52,5
50	15	57,5	3		0,0191	0,0201	58,3

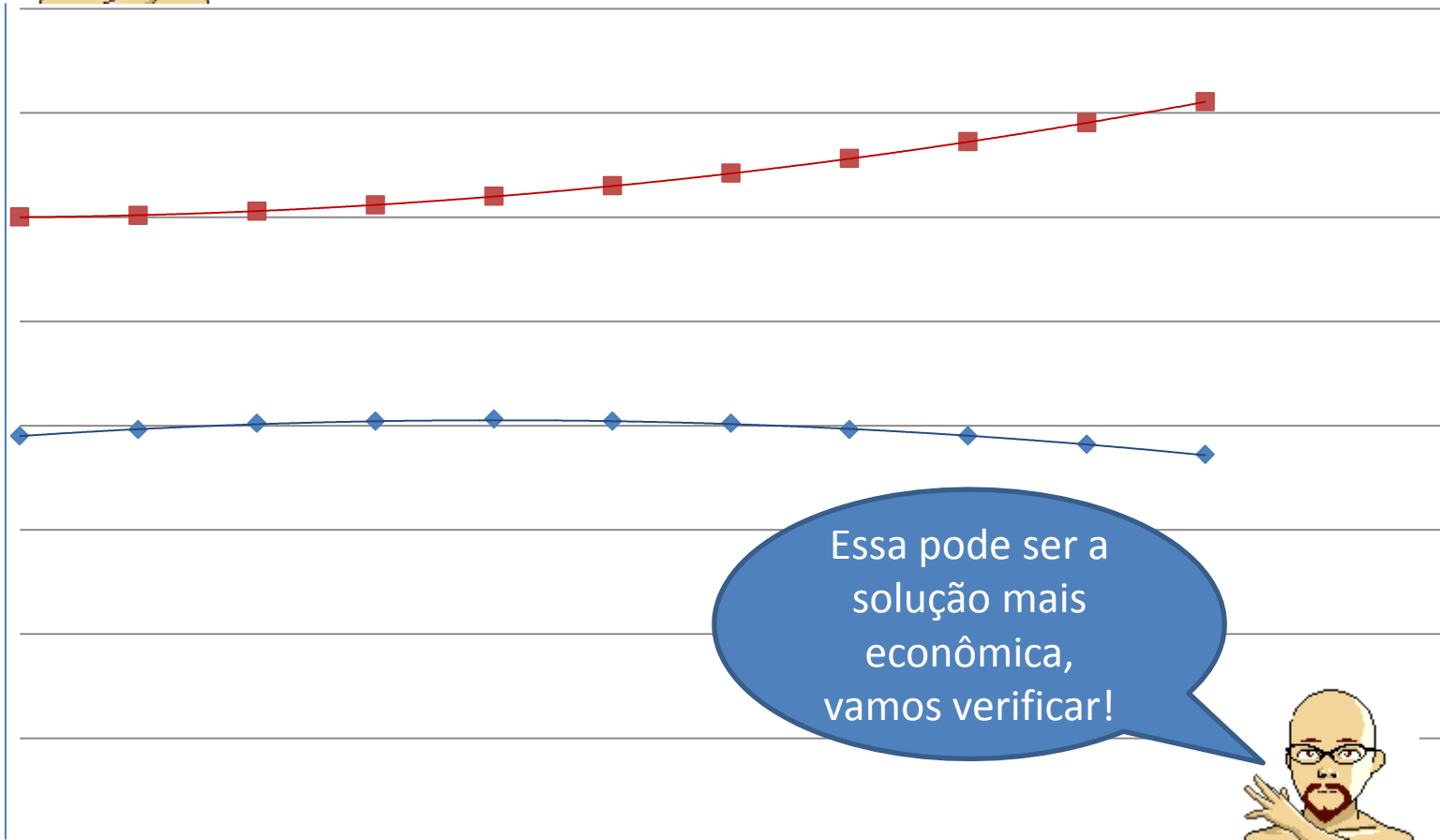
# Verificamos que também não existe ponto de trabalho para a situação 2

$$H_B = f(Q) \text{ e } \eta_B = f(Q)$$



- ◆ HB185 (m)
- rend\_185
- ▲ CCB\_214
- × rend\_214
- CCI\_sit2
- Polinômio (HB185 (m))
- Polinômio (rend\_185)
- Polinômio (CCB\_214)
- Polinômio (rend\_214)
- Polinômio (CCI\_sit2)

Como para a situação 2 não existe o ponto de trabalho, ou seja, uma única bomba não consegue recalcar a água para a situação onde a pressão na seção final é  $3,5 \text{ kgf/cm}^2$  e como já existe uma bomba igual como reserva, vamos verificar se a associação em série das bombas resolve o problema.



Essa pode ser a solução mais econômica, vamos verificar!

