

Décima terceira aula de ME5330

Primeiro semestre de 2015



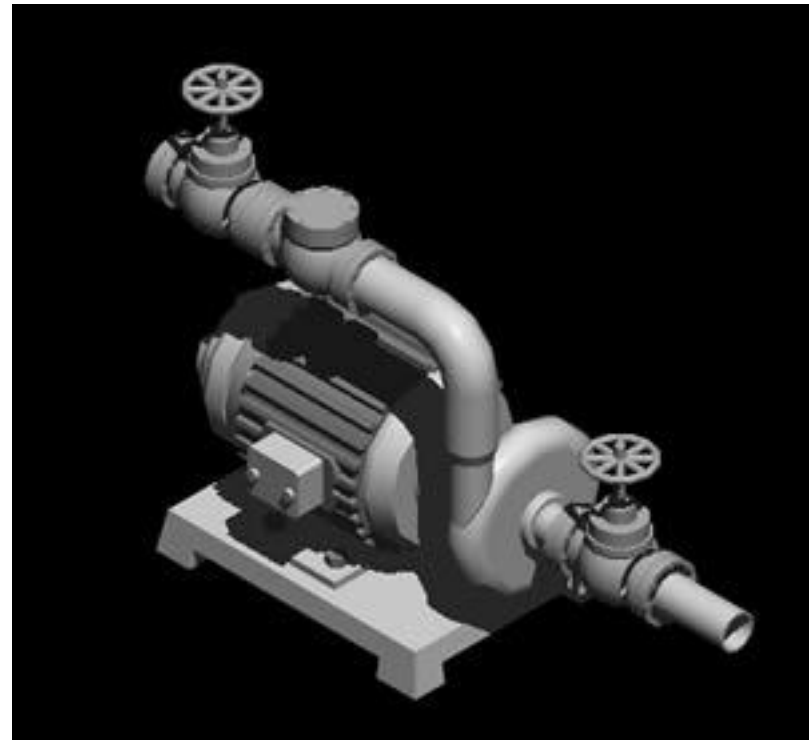
Vamos estudar as
correções das curvas
dadas pelo
fabricante para o
fluido considerado
viscoso!






Mas todos os fluidos não são viscosos?

Sim todos o fluidos são viscosos, mas estaremos refletindo sobre um novo questionamento: as curvas do fabricante são obtidas para que fluido?



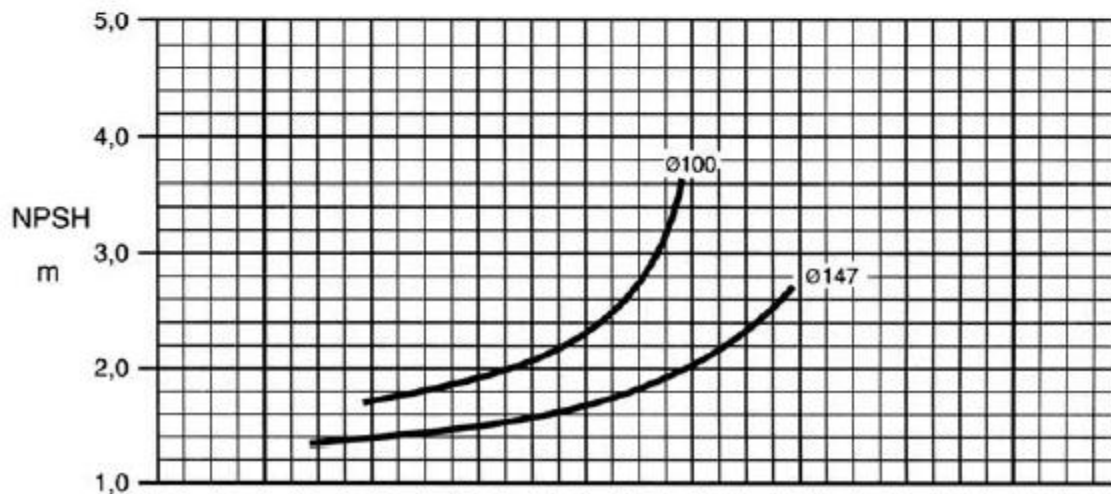
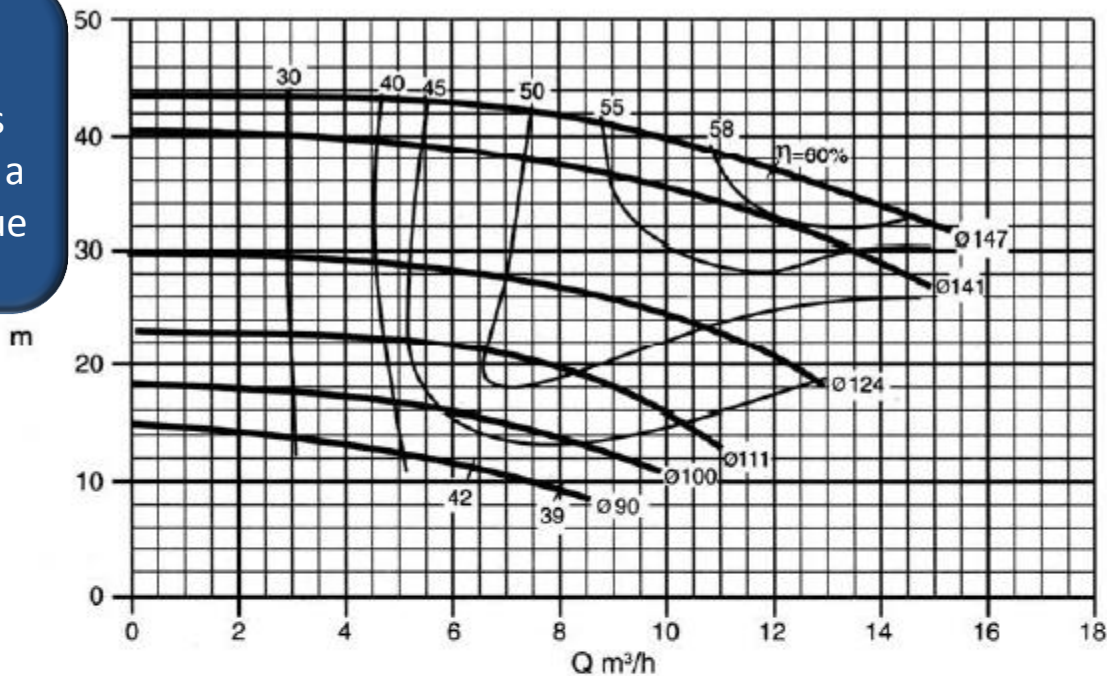


Vamos evocar a resposta de um dos fabricantes de bombas, por exemplo a resposta dada pela KSB

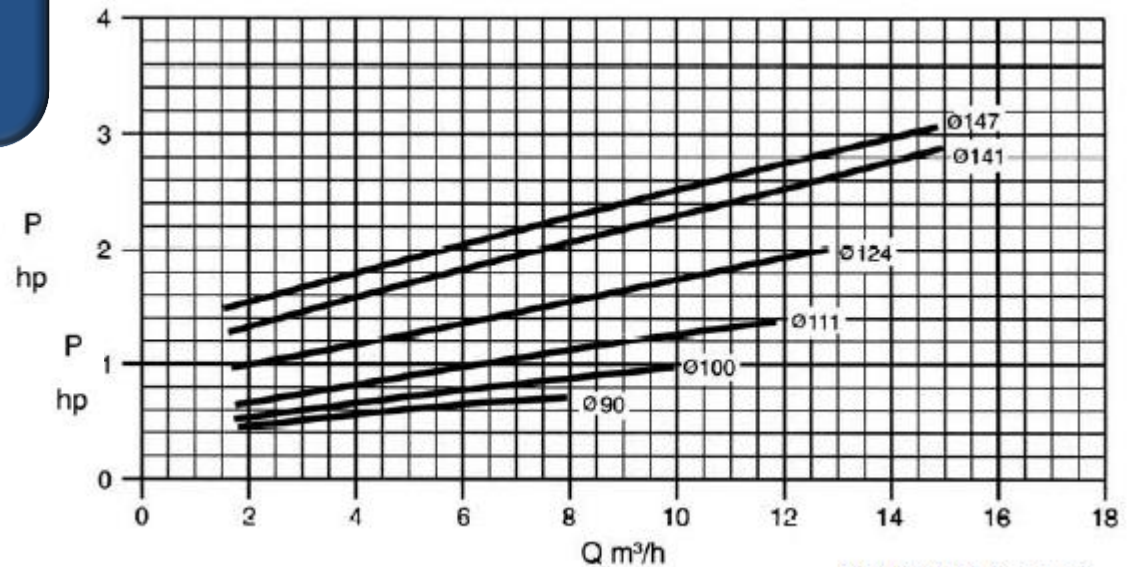
Os valores de altura manométrica e vazão são válidos para fluídos com densidade (ρ) igual a $1,0 \text{ kg/dm}^3$ e viscosidade cinemática (ν) até $20 \text{ mm}^2/\text{s}$.

Se a densidade for diferente $1,0 \text{ kg/dm}^3$, porém o intervalo da viscosidade for respeitado, os dados de potência necessária deverão ser multiplicados pelo valor do peso específico correspondente ($\gamma = \rho \cdot g$).

Exemplo de CCB onde estes gráficos não se alteram para densidades diferentes de 1 kg/dm^3 se a viscosidade for inferior que $20 \text{ mm}^2/\text{s}$.



Esta já é alterada para densidades diferentes de 1 kg/dm^3 se mesmo que a viscosidade fique inferior que $20 \text{ mm}^2/\text{s}$.



K2740/42/44.462-B-001

Dados válidos para densidade de 1 kg/dm^3 e viscosidade cinemática até $20 \text{ mm}^2/\text{s}$.

Data applies to a density of 1 kg/dm^3 and Kinematic viscosity up to $20 \text{ mm}^2/\text{s}$.

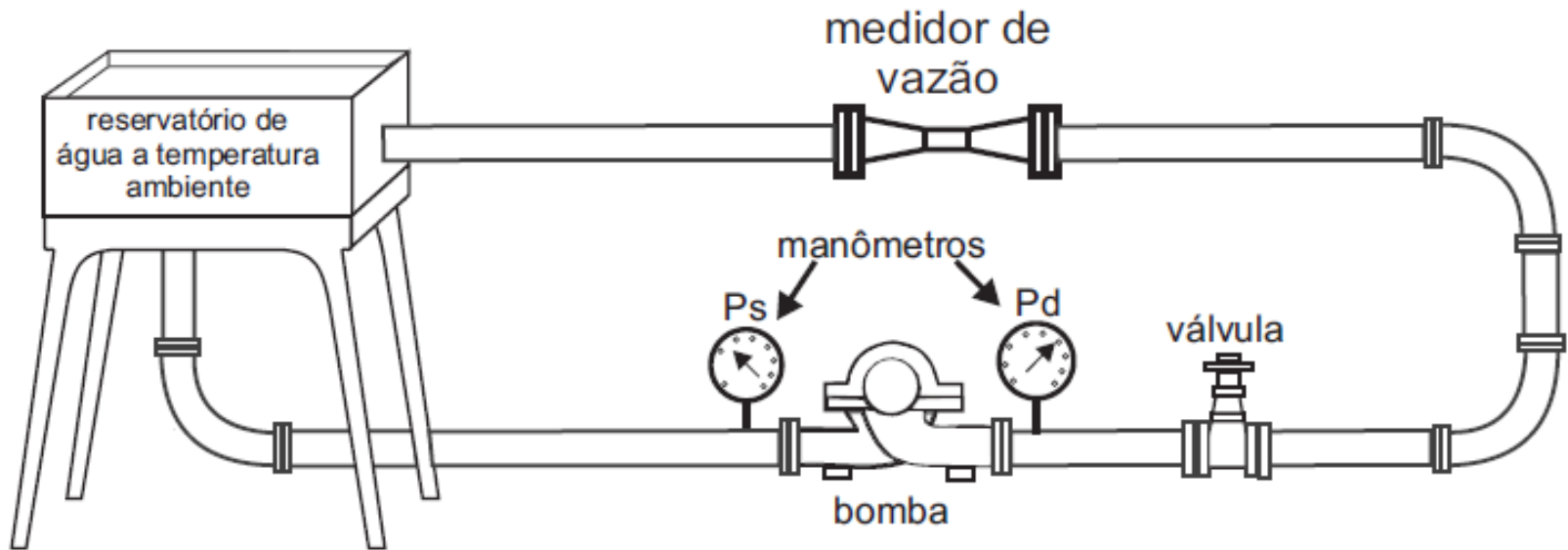
Datos válidos para densidad 1 kg/dm^3 y viscosidad cinemática hasta $20 \text{ mm}^2/\text{s}$.

Garantia das características de funcionamento conforme ISO 9906 anexo A.

Operating data according to ISO 9906 annex A.

Garantía de las características de funcionamiento según ISO 9906 suplemento A.

Exemplo de bancada que a KSB utilizou para obter as curvas anteriores.



Importante observar que a carga manométrica da bomba só depende da perda de carga e esta é a menor possível, além disto trabalham com a água, segundo eles, com as seguintes propriedades:

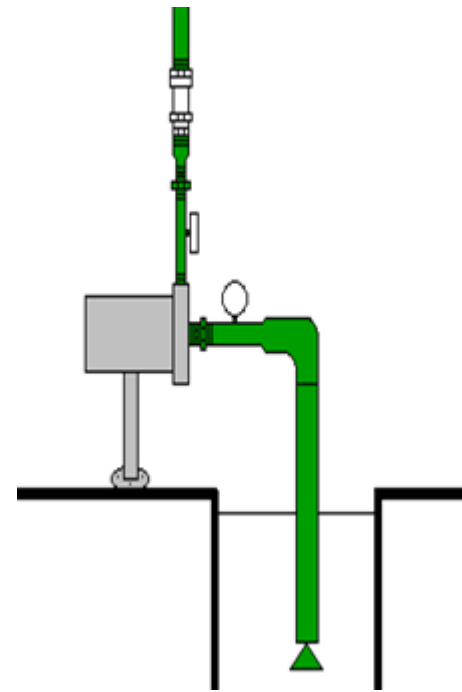
$$\rho = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \rightarrow \text{massa específica}$$

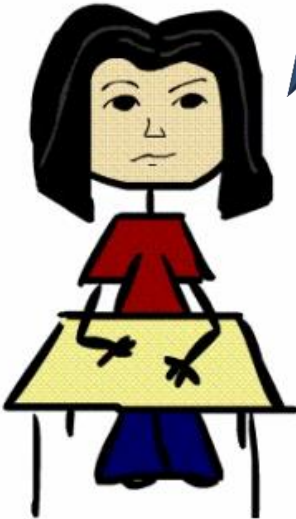
$$\nu \rightarrow \text{viscosidade cinemática até } 2 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$





A seção de entrada e saída do fabricante também são diferentes das bancadas



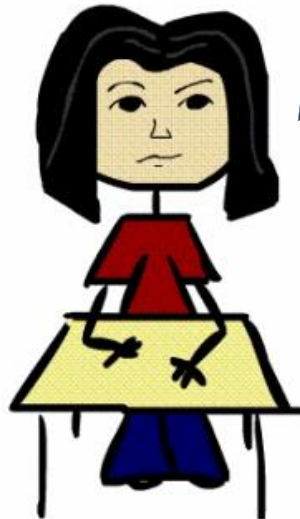


Estes são alguns dos motivos que originam diferenças entre as curvas que obtemos e as obtidas pelo fabricantes, certo?



Isto mesmo!

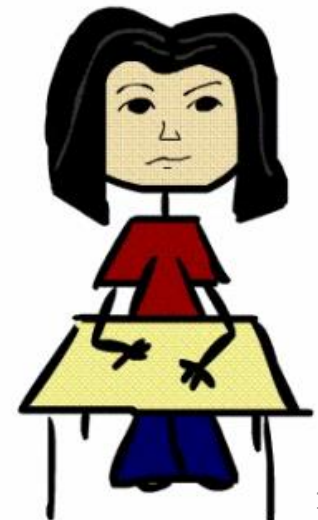
Além das diferenças criadas pelas diferenças anteriores, se for transportado um fluido que não seja a água, ou mesmo se for água com massa específica diferente de 1000 kg/m^3 , porém com a viscosidade cinemática até $2 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$, o que devemos fazer mesmo?



No caso da massa específica ser diferente de 1000 kg/m^3 , porém a viscosidade cinemática ser até $2 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ só devemos corrigir a potência da bomba



$$N_B = \frac{\gamma \times Q_\tau \times H_{B_\tau}}{\eta_{B_\tau}}$$



Segundo Archibald Joseph Macintyre em seu livro BOMBAS E INSTALAÇÕES DE BOMBEAMENTO 2ª edição revisada página 166 existe alteração do rendimento




$$\eta_{B_t} = 1 - (1 - \eta_{B_0}) \times \left(\frac{v_t}{v_0} \right)^n$$

$v_0 \rightarrow$ viscosidade para t_0

$\eta_{B_0} \rightarrow$ rendimento da bomba para t_0

$v_t \rightarrow$ viscosidade para t

$$0,05 \leq n \leq 0,1$$

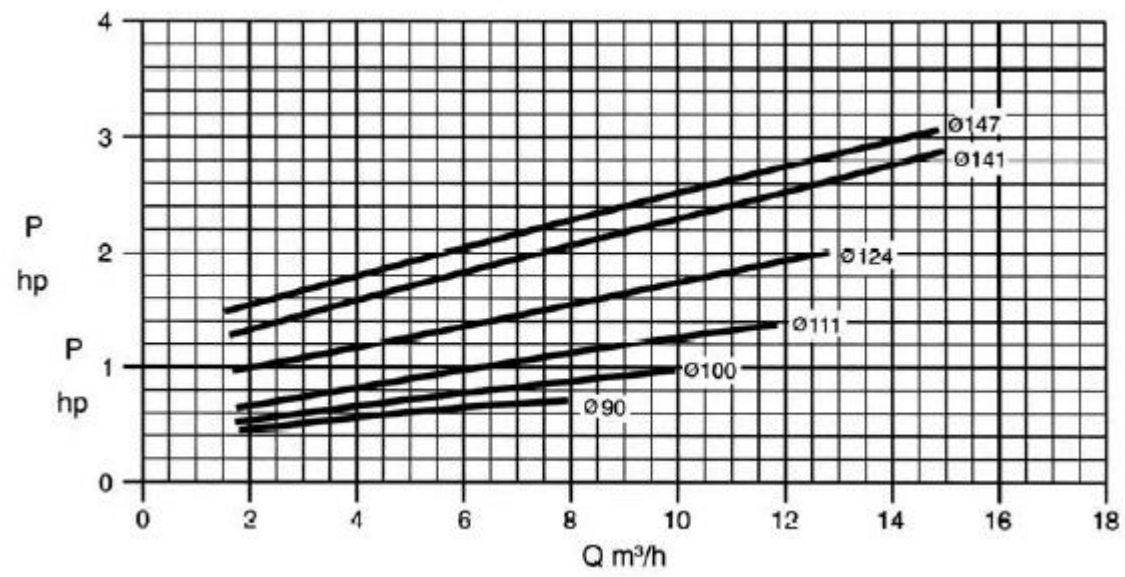
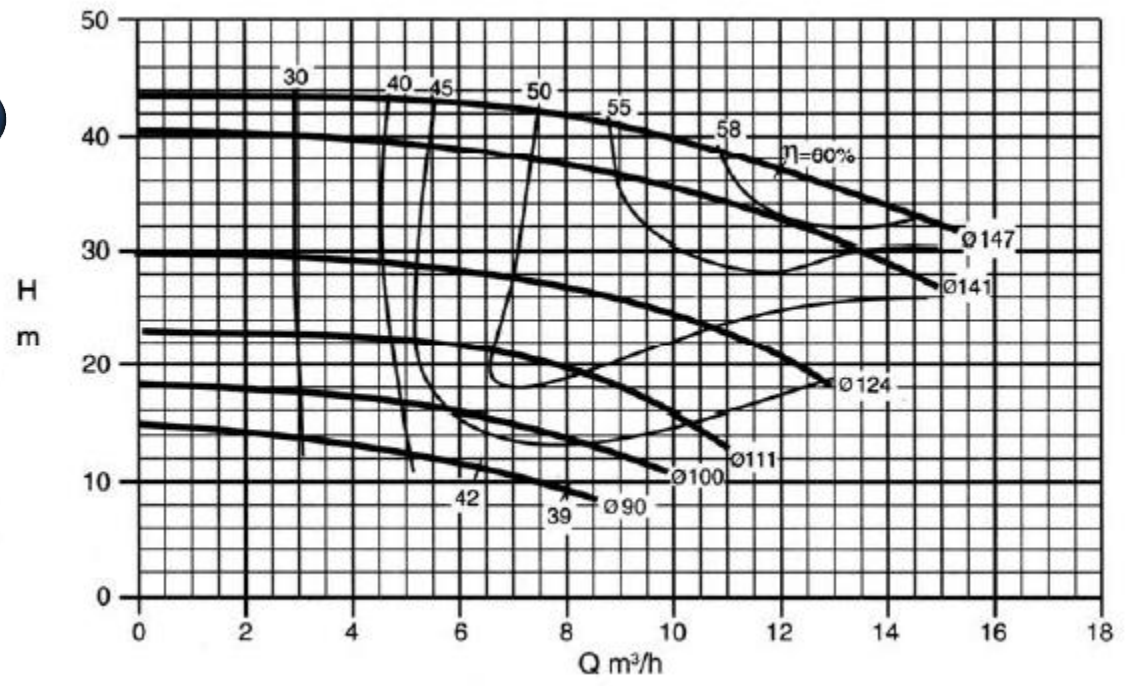


Diante da informação
transmitida pelo Macintyre
caberia um trabalho de pesquisa!



Lá vem!

Obtidos para t_0



Trabalho:

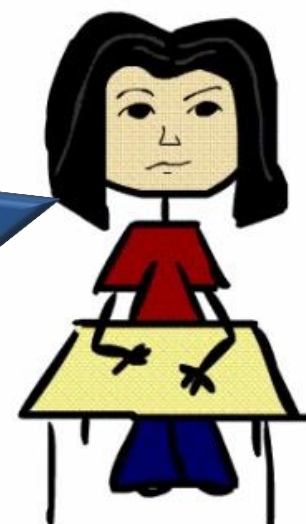


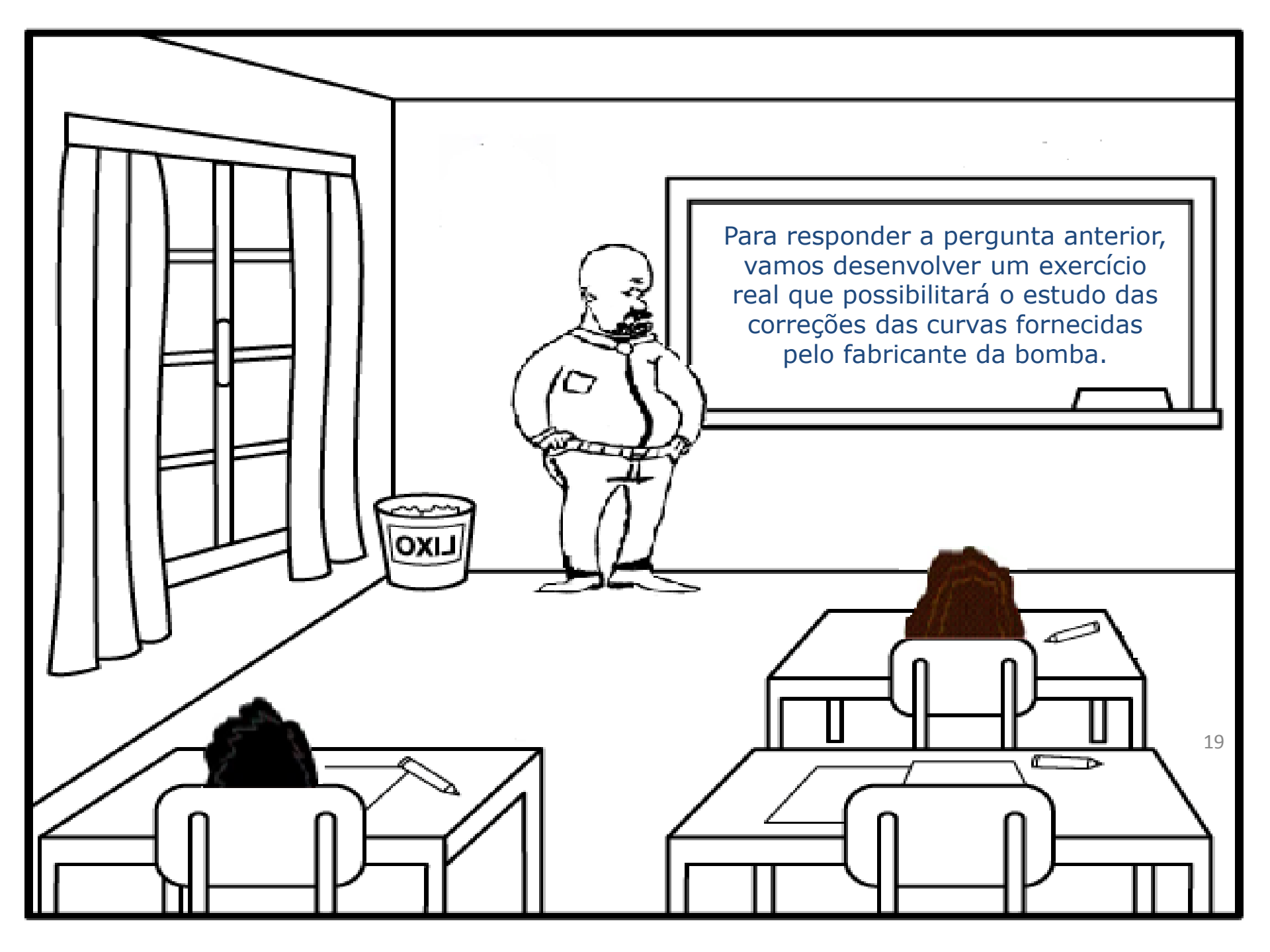
1. Para o par (Q e H_B) ler o N_B e aí calcular o η_B e compará-lo com o fornecido na curva, portanto isto feito na temperatura t_0
2. Para o mesmo par (Q e H_B) calcular a nova N_{B_nova} só que considerando o peso específico (γ) para a temperatura t
3. Com a nova potência (N_{B_nova}) calcular o novo rendimento que deve ser comparado com o obtido na equação empírica mencionada pelo Macyntire.

$$\eta_{B_t} = 1 - (1 - \eta_{B_0}) \times \left(\frac{v_t}{v_0} \right)^n$$



E se a viscosidade
for superior a 2×10^{-5}
 m^2/s ?





Para responder a pergunta anterior,
vamos desenvolver um exercício
real que possibilitará o estudo das
correções das curvas fornecidas
pelo fabricante da bomba.

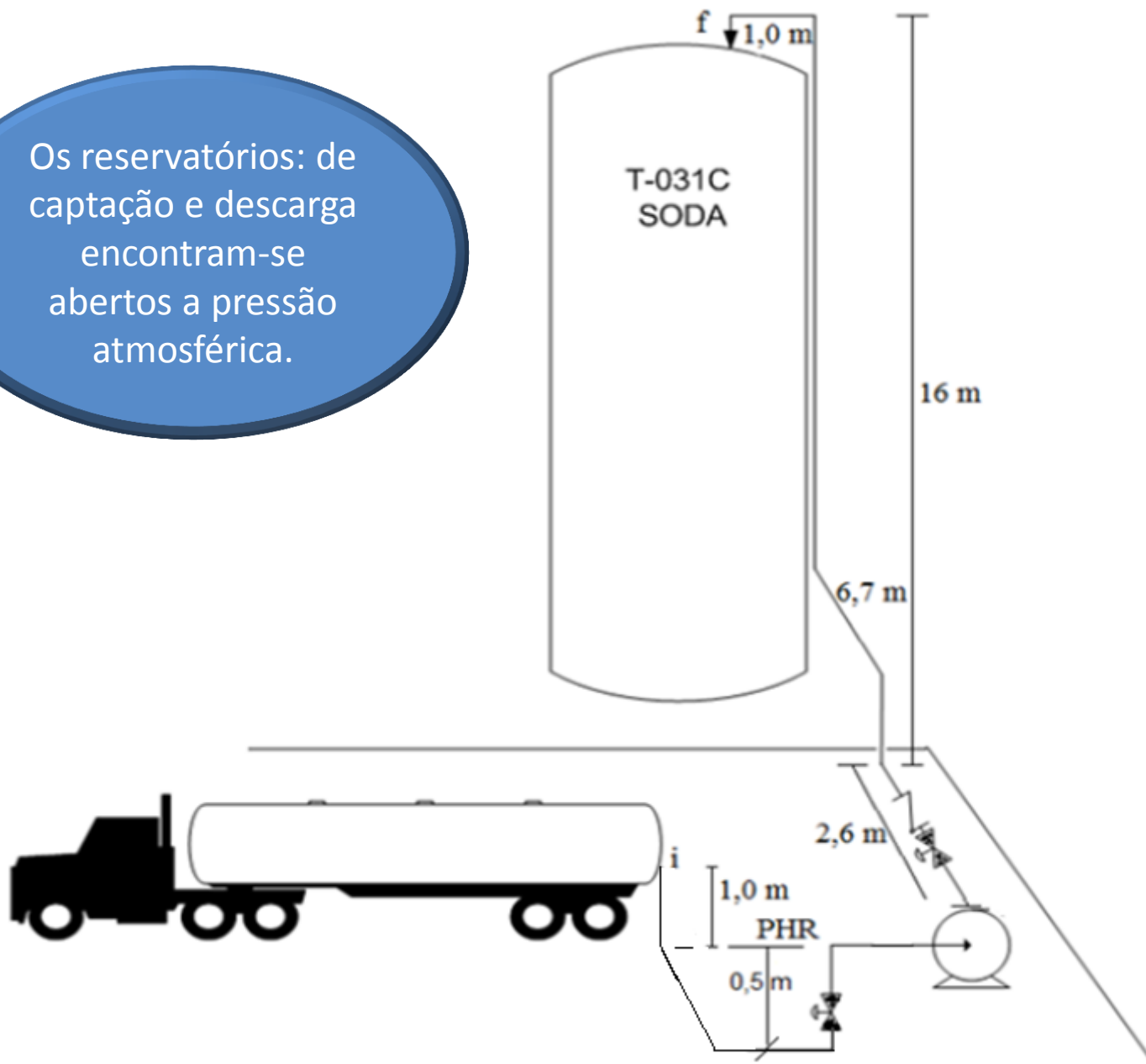
Este exemplo prático nos foi encaminhado pelo engenheiro Tobias Alexandre Romanelli de Carvalho, que foi nosso monitor por quatro semestres .



Uma empresa que produz silicato de sódio utiliza como matéria prima em seu processo soda cáustica 50%. Devido o aumento da produção necessita trocar a bomba de descarregamento de soda cáustica conforme instalação indicada no próximo slide.



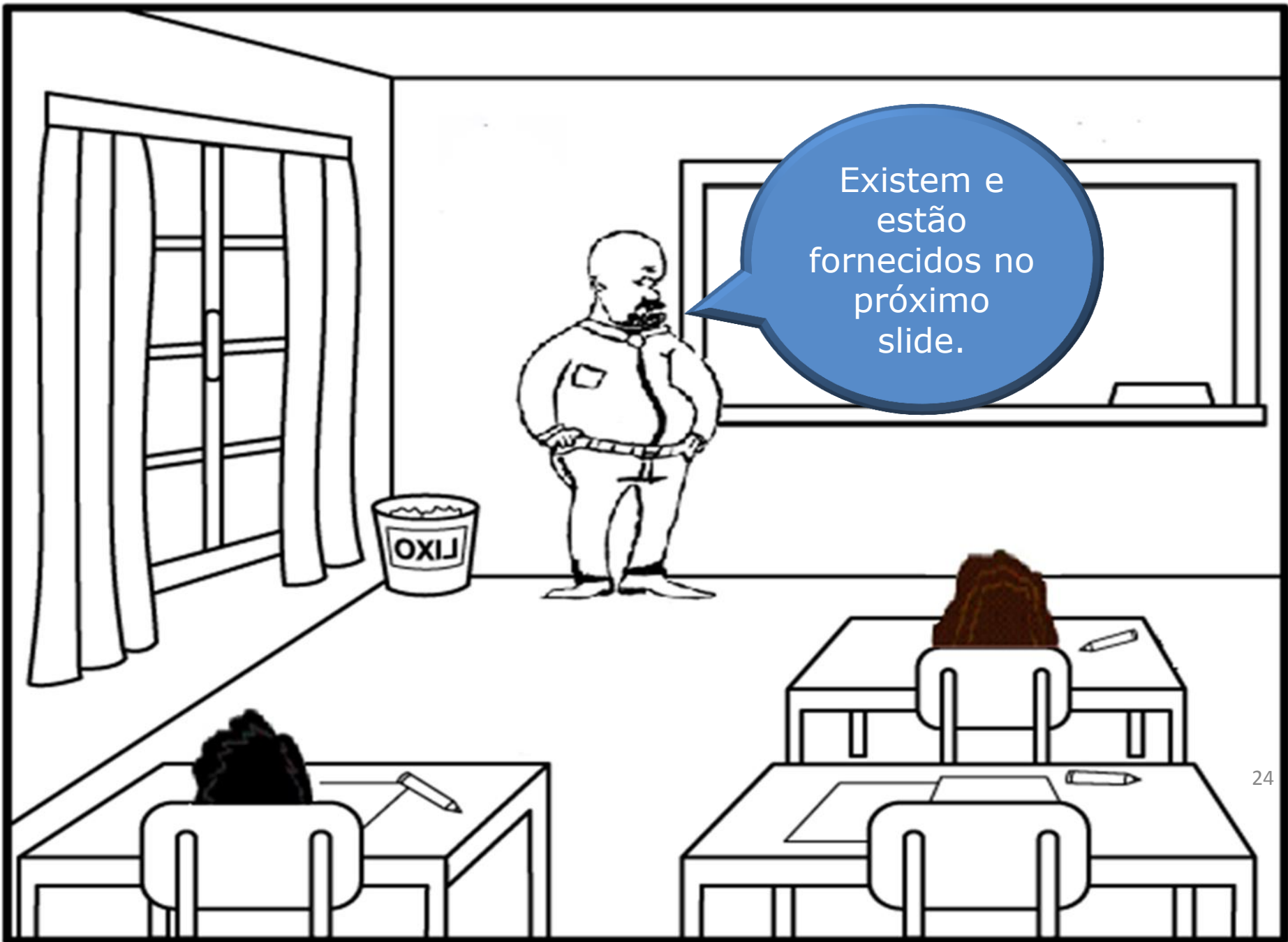
Os reservatórios: de captação e descarga encontram-se abertos a pressão atmosférica.



Sabendo que a vazão desejada é $41 \text{ m}^3/\text{h}$, pede-se dimensionar as tubulações e escrever a equação da CCI e aí selecionar a bomba.

Não existem outros dados?

LIXO

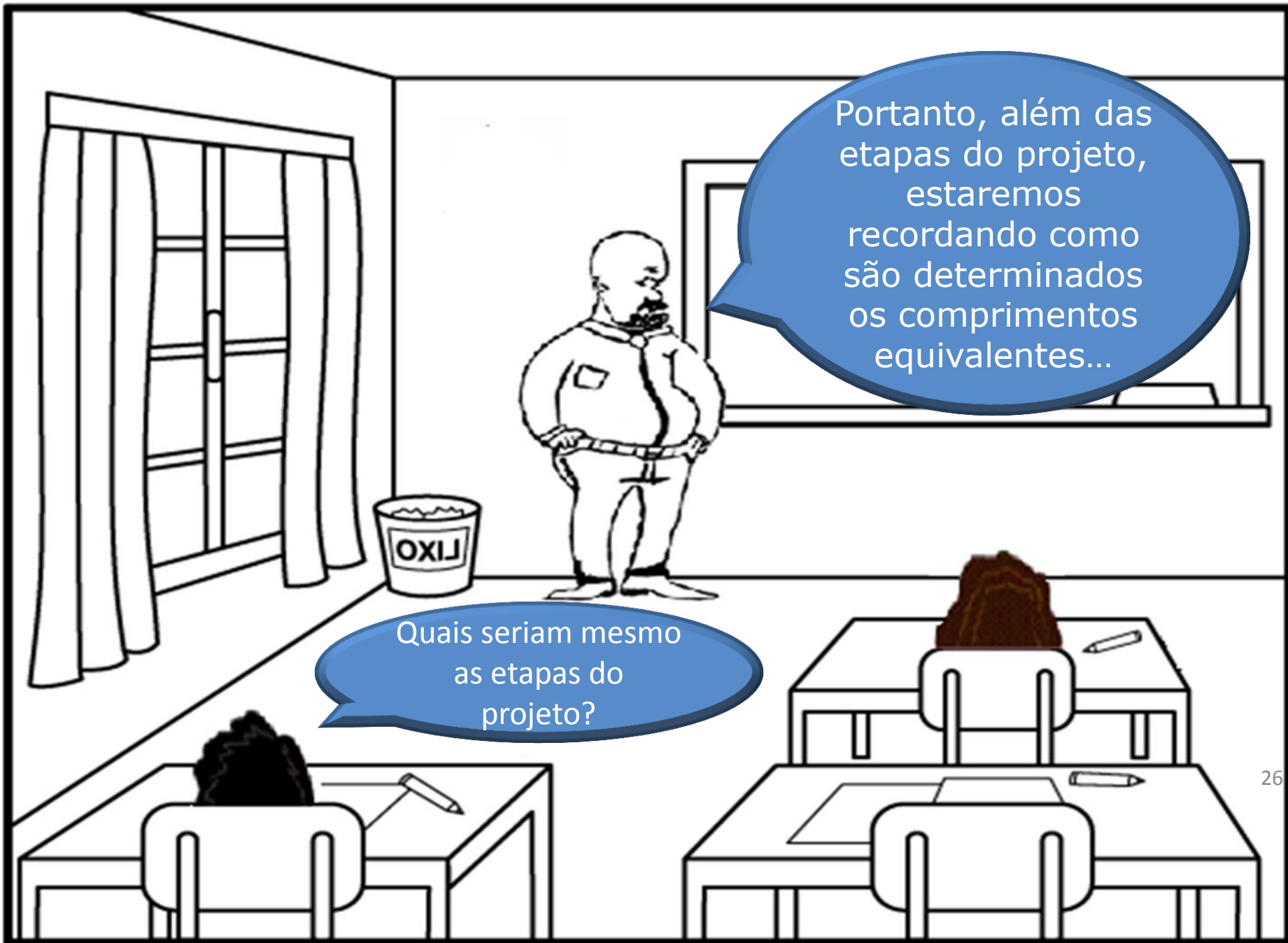


Temperatura (°C)	Densidade (kg/m ³)	Viscosidade (mPas)	Pressão de vapor (mm Hg)
20	1530	100	14

Dados:	Leq (m)	Patm (mmHg)	Comprimento	L(m)
Curva			Antes da bomba (aB)	3,2
Válvula globo		700	Depois da bomba (dB)	19,6
Válvula retenção				

Na verdade são curvas e válvulas globo





Portanto, além das etapas do projeto, estaremos recordando como são determinados os comprimentos equivalentes...

Quais seriam mesmo as etapas do projeto?

Novamente as etapas básicas de um projeto de bombeamento



Das etapas anteriores, temos:

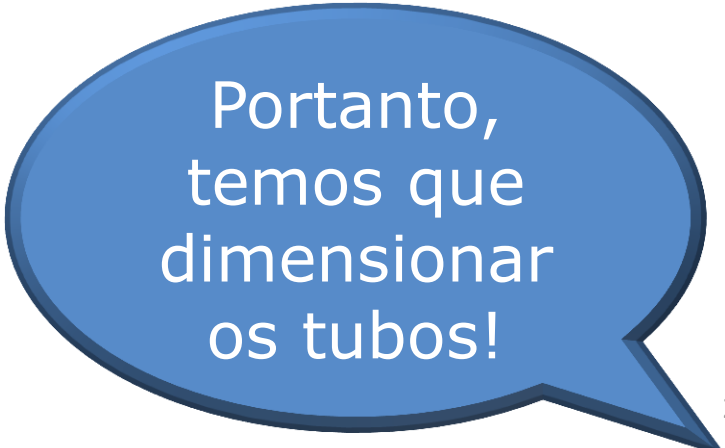
1. O fluido: soda cáustica 50%
2. Temperatura do escoamento: 20°C
3. Condições de captação:

$$H_i = z_i + \frac{p_i}{\gamma} + \frac{y_i \times \alpha_i \times Q^2}{2g \times A_i^2} = 1\text{m}$$

4. Condições de descarga:

$$H_f = z_f + \frac{p_f}{\gamma} + \frac{y_f \times \alpha_f \times Q^2}{2g \times A_f^2} = 16 + \frac{\alpha_f \times Q^2}{19,6 \times A_f^2}$$

5. Vazão desejada: 41 m³/h
6. Esboço da instalação.




Portanto,
temos que
dimensionar
os tubos!



Para o dimensionamento dos tubos, iniciamos sempre com a tubulação após a bomba (tubulação de recalque) e para isto lembramos que:

$$Q_{\text{desejada}} = V_{\text{econômica}} \times \frac{\pi \times D_{\text{referência}}^2}{4}$$



A velocidade econômica pode ser obtida na página:

<http://www.escoladavida.eng.br/mecfluquimica/dimensionamento%20da%20tubula%C3%A7%C3%A3o.pdf>

Fluido	Velocidade (m/s)
Água - redes em cidades	1 a 3
- redes industriais	2 a 4
- alimentação de caldeiras	4 a 8
- sucção de bombas	0,75 a 1,8
Água salgada	1,5 a 2,5
Ar comprimido	15 a 20
Vapor - até 2 kgf/cm ² saturado	20 a 40
- de 2 a 10 kgf/cm ²	40 a 80
- mais de 10 kgf/cm ²	80 a 200
Hidrocarbonetos líquidos em instalações industriais	
- linhas de sucção	1 a 2
- linhas de recalque	1,5 a 2,5
Hidrocarbonetos gasosos em instalações industriais	25 a 30
Acetileno	20 a 25
Amônia - líquida	2
- gás	25 a 35
Hidrogênio	20 a 35
Cloro - líquido	1,5 a 2,0
- gás	15 a 30
Soda cáustica - 0 a 30%	2
- 30 a 50%	1,5
- 50 a 75%	1,2
Cloreto de sódio	1,5 a 2,0
Cloreto de Cálcio	1,5
Tetra-Cloreto de carbono	2,0
Ácido sulfúrico	1,0 a 1,2

Tabela 7.3

$$\frac{41}{3600} = 1,5 \times \frac{\pi \times D_{\text{referência}}^2}{4}$$

$$\therefore D_{\text{referência}} = \sqrt{\frac{4 \times 41}{3600 \times 1,5 \times \pi}} \cong 0,0983\text{m} \cong 98,3\text{mm}$$



Com o diâmetro de referência e a norma ANSI, escolhemos o diâmetro depois da bomba.



Consultando a norma ANSI B36.10 para aço ($k=4,6 \times 10^{-5} \text{ m}$), temos para o tubo de recalque o tubo de diâmetro nominal de 4" e espessura 40

Diâmetro nominal (pol) -- Diâmetro externo (mm)	Designação de espessura. (v. Nota 2)	Espessura de parede (mm) (v. Nota 3)	Diâmetro interno (mm)	Area da seção livre (cm ²)	Area da seção de metal (cm ²)	Superfície externa (m ² /m)	Peso aproximado (kg/m)		Momento de inércia (cm ⁴)	Momento resistente (cm ³)	Raio de giração (cm)
							Tubo vazio (Nota 5)	Conteúdo de água			
3 -- 89	10S	3,05	82,8	53,9	8,22	0,282	6,44	5,39	75,84	17,06	3,04
	Std. 40, 40S	5,48	77,9	47,7	14,4		11,28	4,77	125,70	28,26	2,96
	XS, 80, 80S	7,62	73,6	42,6	19,5		15,25	4,26	162,33	36,48	2,89
	160 XXS	11,1 15,2	66,7 58,4	34,9 26,8	27,2 35,3		21,31 27,65	3,49 2,68	209,36 249,32	47,14 56,22	2,78 2,66
4 -- 114	10S	3,05	108,2	91,9	10,6	0,361	8,35	9,19	164,83	28,88	3,93
	Std. 40, 40S	6,02	102,3	82,1	20,4		16,06	8,21	300,93	52,61	3,84
	XS, 80, 80S	8,56	97,2	74,2	28,4		22,29	7,42	399,99	69,99	3,75
	160 XXS	13,5 17,1	87,3 80,1	59,9 50,3	42,7 52,3		33,49 40,98	5,99 5,03	552,34 636,42	96,70 111,29	3,60 3,49
5"	40	6,55	128,30	129,3							
141,3											

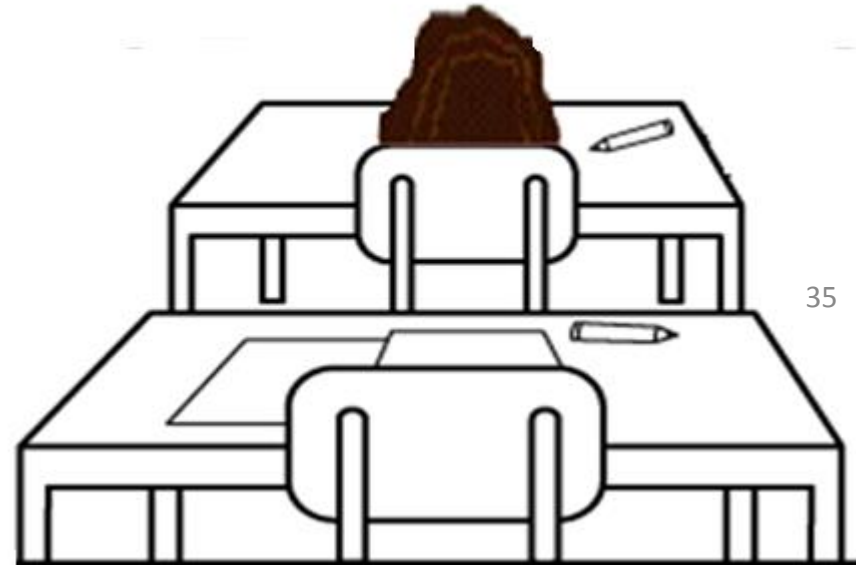
Escolhido o diâmetro do tubo de recalque adotamos para antes da bomba um diâmetro imediatamente superior, isto para se tentar evitar o fenômeno de cavitação.

Isto mesmo!

Para as instalações hidráulicas, em particular a bomba hidráulica, cavitacão implica em se ter na própria temperatura de escoamento uma vaporização parcial ou total e em seguida a condensação, isto acarreta um funcionamento totalmente inadequado da bomba.



E é por isso que devemos tomar aqueles cuidados para se evitar este fenômeno indesejável!



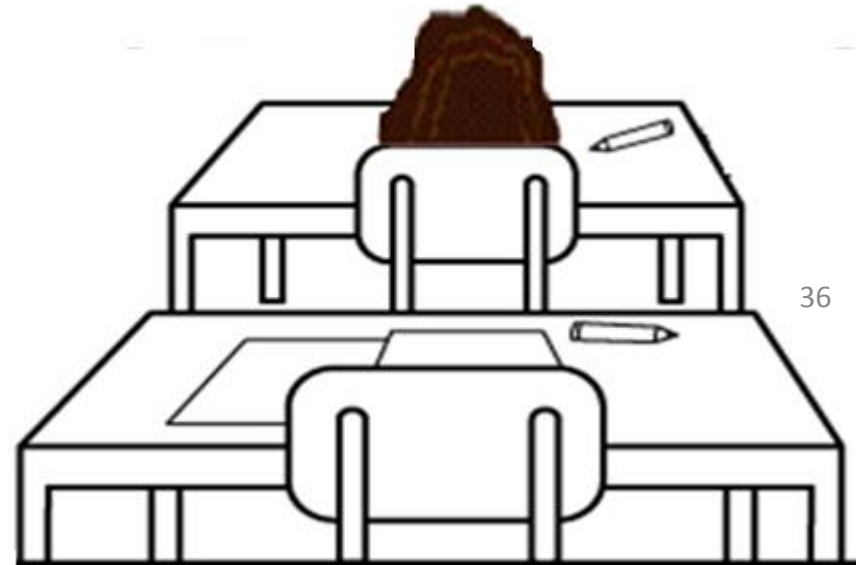
1º → a bomba deve ser instalada o mais perto possível do nível de captação com a finalidade de diminuir Z_e , ou, se possível, a bomba deve ser instalada abaixo do nível de captação (bomba "afogada") com isto $Z_e < 0$.

2º → a tubulação antes da bomba deve ser a menor possível com a finalidade de diminuir a H_{paB} .

3º → na tubulação antes da bomba devem ser usados os acessórios estritamente necessários com a finalidade de diminuir a H_{paB} .

4º → o diâmetro da tubulação antes da bomba deve ser um diâmetro superior ao diâmetro de recalque com a finalidade, tanto de diminuir a carga cinética de entrada da bomba, quanto diminuir H_{paB} .

Sim, cuidados preliminares na tentativa de evitar o fenômeno de cavitação

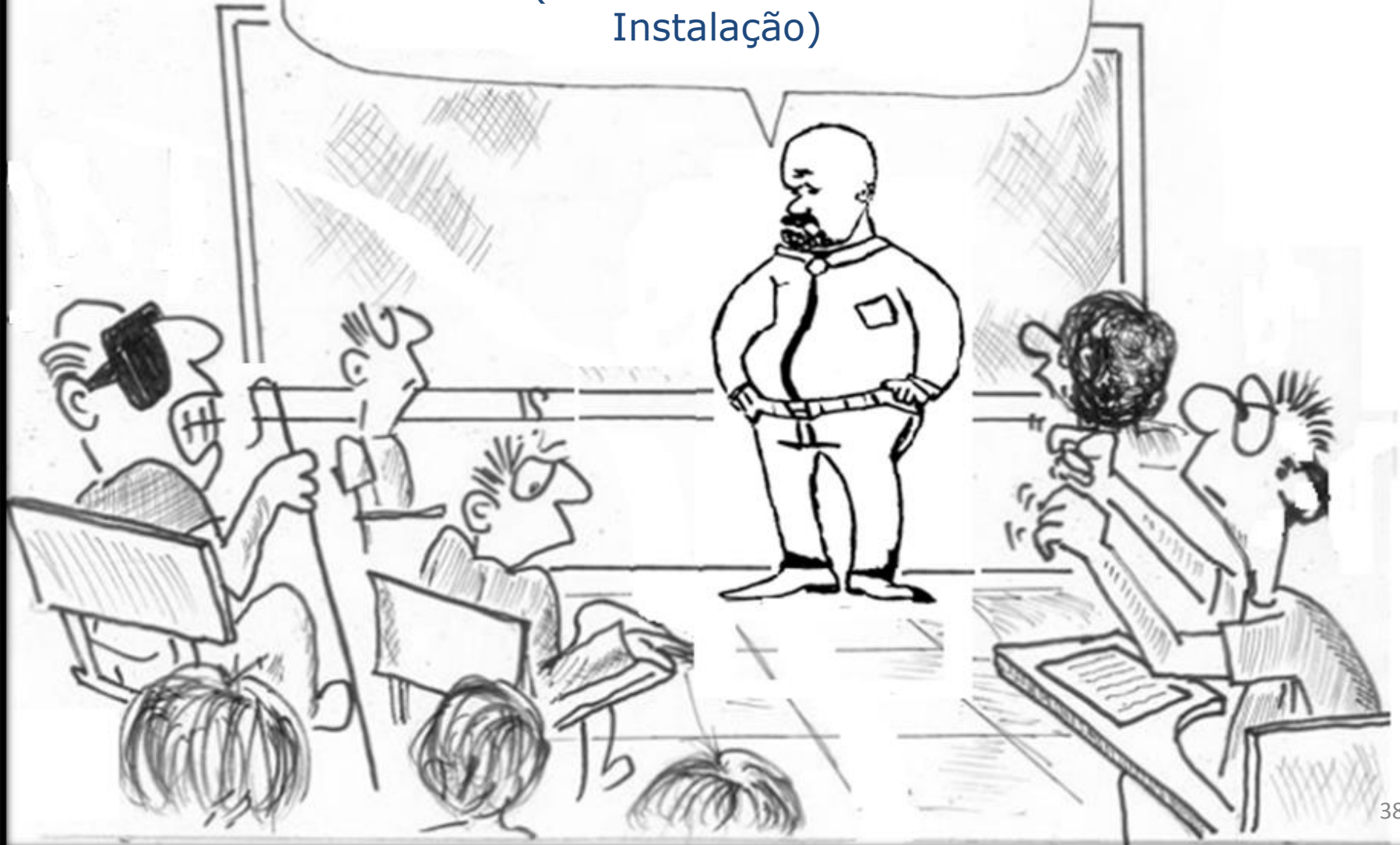




Consultando a norma ANSI B36.10 para aço ($k=4,6 \times 10^{-5} \text{ m}$), temos para o tubo antes da bomba o tubo de diâmetro nominal de 5" e espessura 40:

DIMENSÕES				IDENTIF.		
NOMINAL	EXTERNO m/m	INTERNO m/m	PAREDE m/m	kg / m	DENOM.	SCHEDULE Nº
5"	141,3	128,30	6,55	21,75	STD	40
		122,26	9,52	30,92	XS	80
		115,90	12,70	40,25		120
		109,54	15,88	49,01		160
		103,20	19,05	57,36	XXS	

Dimensionados os tubos,
podemos obter a equação da
CCI (Curva Característica da
Instalação)



CCI

É a curva que representa os lugares geométricos que caracterizam a energia por unidade de peso, que o fluido necessita receber da bomba hidráulica, de tal forma que origine um escoamento em regime permanente na instalação a uma vazão Q .

Para uma instalação com uma entrada e uma saída a CCI é representada por $HS = f(Q)$ e é obtida aplicando a equação da energia da seção inicial a final.



$$H_i + H_S = H_f + H_{p_{\text{totais}}}$$

$$1 + H_S = 16 + \frac{\alpha_f \times Q^2}{19,6 \times (82,1 \times 10^{-4})^2} + H_{p_{5''}} + H_{p_{4''}}$$

$$H_S = 15 + 756,94 \times \alpha_f \times Q^2 + H_{p_{5''}} + H_{p_{4''}}$$

Calculando as perdas

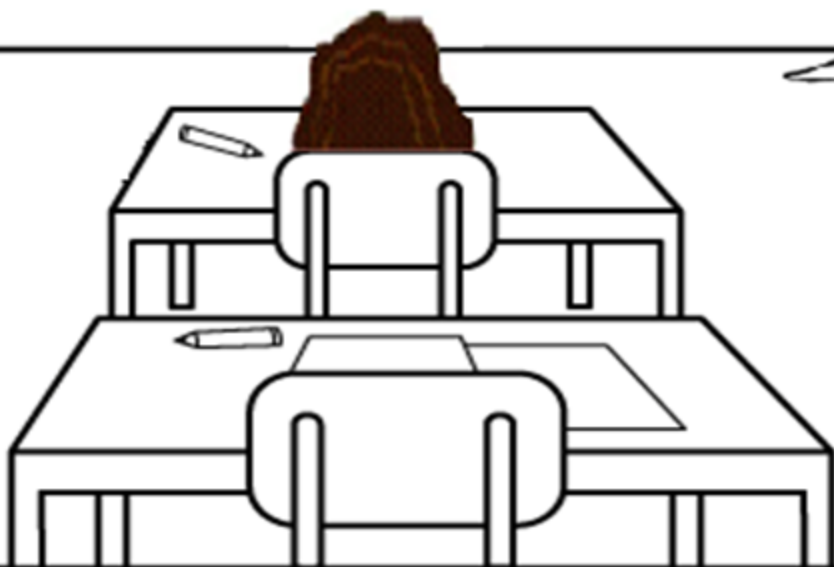
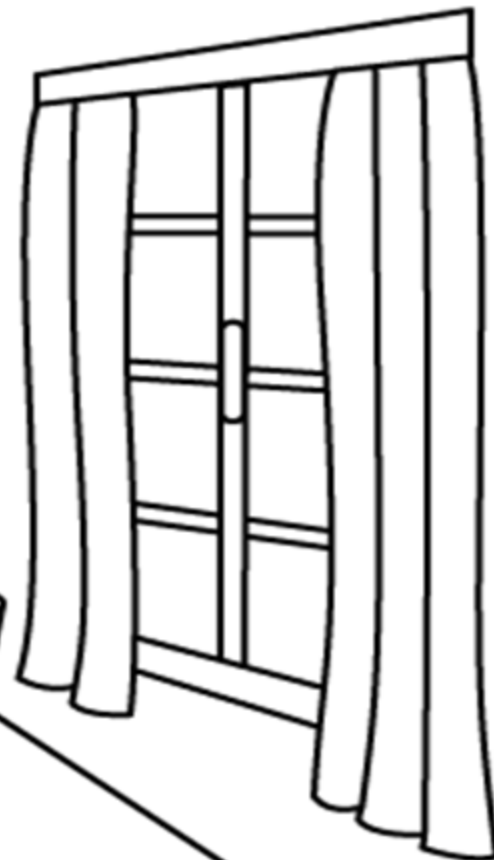
	L(m)	ΣLeq		
		Cotovêlo	VGA	
5"	3,2	4 x 4,7	1 x 43	
		Curva	VGA	V _{RetVert}
4"	19,6	5 x 2,18	1 x 34	1 x 12,9

$$H_{pD} = f_D \times \frac{(L + \sum Leq)_D}{D_{H_D}} \times \frac{Q^2}{2g \times A_D^2}$$

$$H_{p_{total}} = f_{5''} \times \frac{(3,2 + 61,8)}{0,1283} \times \frac{Q^2}{19,6 \times (129,3 \times 10^{-4})^2} + f_{4''} \times \frac{(19,6 + 57,8)}{0,1023} \times \frac{Q^2}{19,6 \times (82,1 \times 10^{-4})^2}$$

$$H_{p_{total}} = f_{5''} \times 154608,6 \times Q^2 + f_{4''} \times 572694,5 \times Q^2$$

Calculada a perda de carga total, podemos escrever a equação da CCI



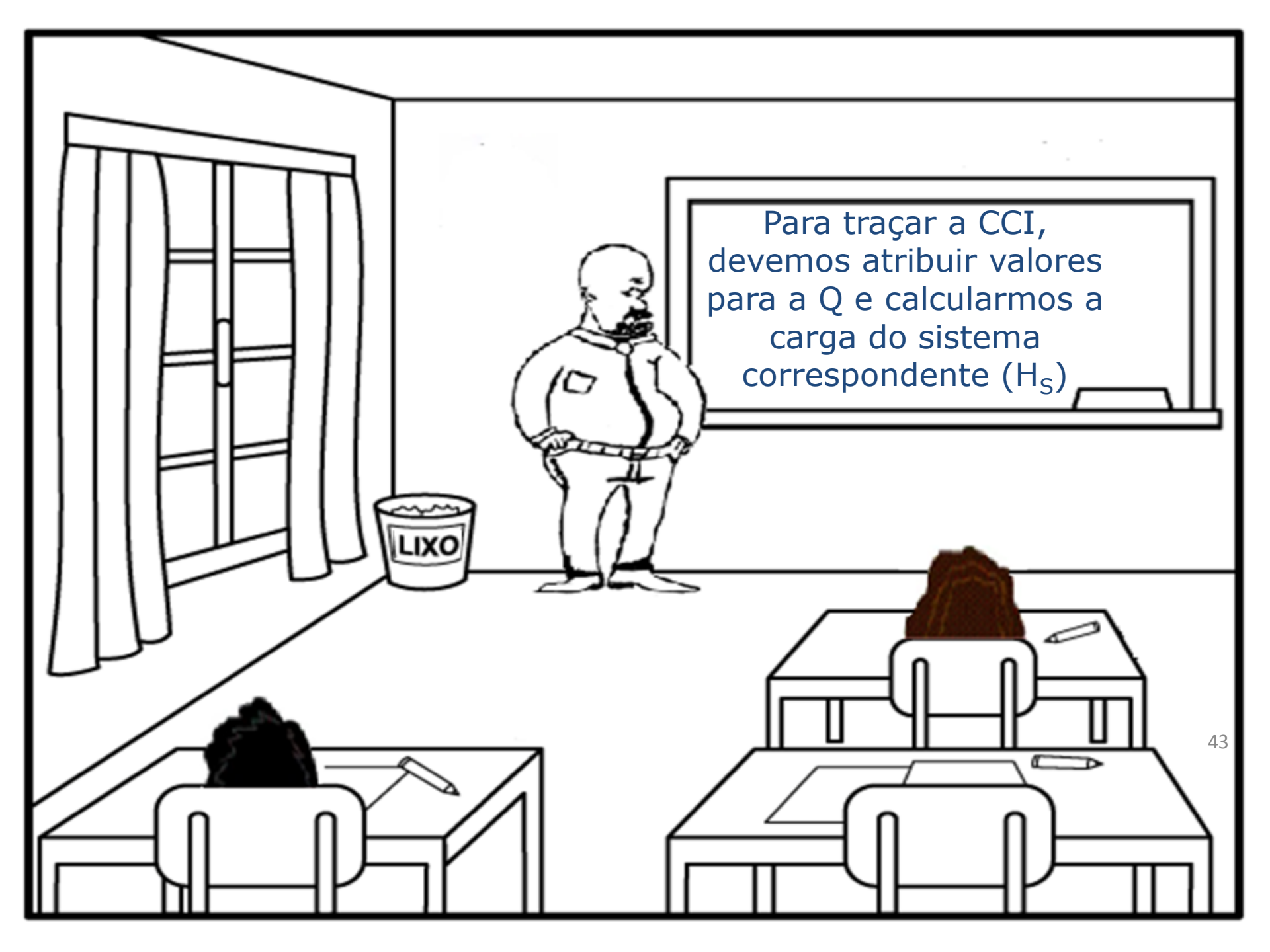
$$H_s = 15 + 756,94 \times \alpha_f \times Q^2 + (f_{5''} \times 154608,6 + f_{4''} \times 572694,5) \times Q^2$$

Importante observar que a carga estática (H_{est}) é positiva e isto indica que há necessidade de uma bomba para viabilizar o escoamento

$$H_{estática} = H_{est} = 15m$$

$$H_{estática} = H_{est} = (z_f + z_i) + \frac{(p_f - p_i)}{\gamma}$$

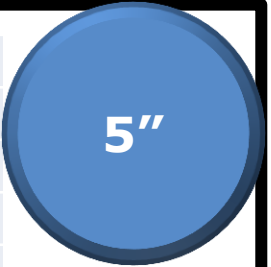




Para traçar a CCI,
devemos atribuir valores
para a Q e calcularmos a
carga do sistema
correspondente (H_S)

propriedades do fluido transportado

temp (°C)		μ (kg/ms)	ρ (kg/m ³)	p_v (Pa)	ν (m ² /s)
20		1,00E-01	1530	1866,5	6,536E-05



propriedades do local

g =	9,8	m/s ²
patm =	93325.66	Pa
mat. tubo aço		
	Dint	
espessura	(mm)	A (cm ²)
40	128,3	129,3
	K(m)	DH/k
4,60E-05	2789	

Q
m ³ /h
4,0
8,0
12,0
16,0
20,0
24,0
28,0
32,0
36,0
40,0
44,0

Q(m ³ /h)	v(m/s)	Re	f_{Haaland}	f _{Swamee e Jain}	f _{Churchill}	f _{planilha}	f _{calculado}
4,0	0,09	169	0,160	0,379	0,379	0,379	0,379
8,0	0,17	337	0,108	0,190	0,190	0,190	0,190
12,0	0,26	506	0,0888	0,126	0,126	0,126	0,126
16,0	0,34	675	0,0780	0,0949	0,0949	0,0948	0,0949
20,0	0,43	843	0,0710	0,0759	0,0759	0,0758	0,0759
24,0	0,52	1012	0,0659	0,0632	0,0632	0,0632	0,0632
28,0	0,60	1181	0,0620	0,0542	0,0542	0,0542	0,0542
32,0	0,69	1349	0,0589	0,0474	0,0474	0,0474	0,0474
36,0	0,77	1518	0,0564	0,0422	0,0422	0,0421	0,0422
40,0	0,86	1687	0,0543	0,0379	0,0379	0,0379	0,0379
44,0	0,95	1856	0,0525	0,0345	0,0345	0,0345	0,0345

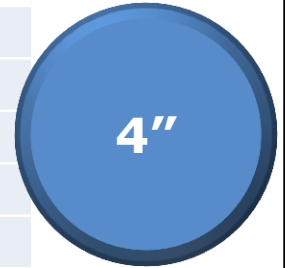
propriedades do fluido transportado

temp (°C)	μ (kg/ms)	ρ (kg/m ³)	pv (Pa)
20	1,00E-01	1530	1866,5

propriedades do local

g =	9,8	m/s ²	v (m ² /s)
patm =	93325.66	Pa	6,536E-05
Dint			
espessura	(mm)	A (cm ²)	
40	102,3	82,1	
K(m)		DH/k	
4,60E-05		2224	

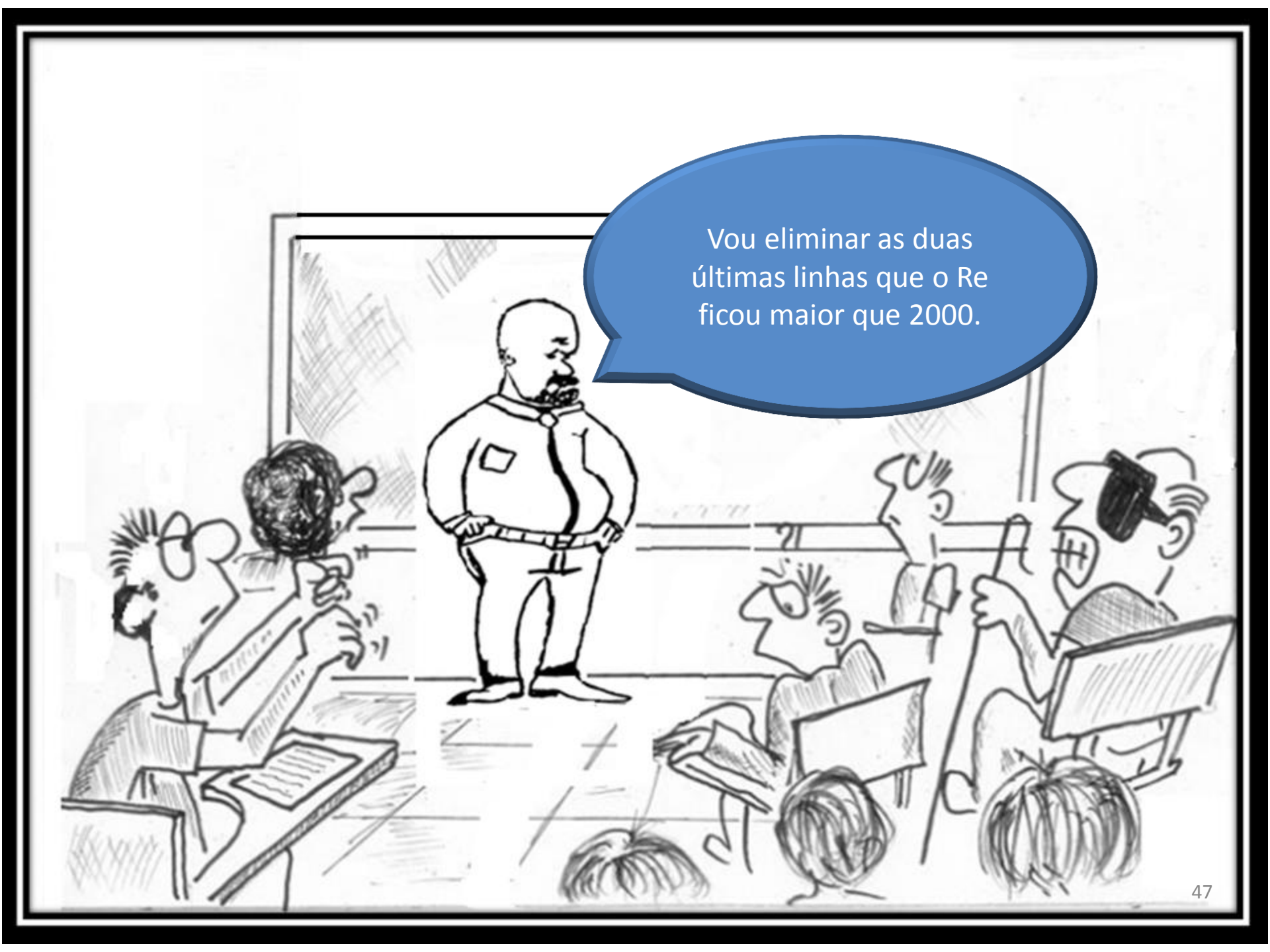
- Q
m³/h
- 4,0
 - 8,0
 - 12,0
 - 16,0
 - 20,0
 - 24,0
 - 28,0
 - 32,0
 - 36,0
 - 40,0
 - 44,0



Q(m ³ /h)	v(m/s)	Re	f_{Haaland}	f_{Swamee e Jain}	f_{Churchill}	f_{planilha}	f_{calculado}
4,0	0,14	212	0,140	0,302	0,302	0,302	0,302
8,0	0,27	424	0,097	0,151	0,151	0,151	0,151
12,0	0,41	635	0,0801	0,101	0,101	0,101	0,101
16,0	0,54	847	0,0709	0,0755	0,0755	0,0756	0,0755
20,0	0,68	1059	0,0648	0,0604	0,0604	0,0605	0,0604
24,0	0,81	1271	0,0603	0,0504	0,0504	0,0504	0,0504
28,0	0,95	1483	0,0569	0,0432	0,0432	0,0432	0,0432
32,0	1,08	1695	0,0542	0,0378	0,0378	0,0378	0,0378
36,0	1,22	1906	0,0520	0,0336	0,0336	0,0336	0,0336
40,0	1,35	2118	0,0501	0,0305	0,0305	0,0489	0,0302
44,0	1,49	2330	0,0485	0,0310	0,0313	0,0475	0,0275

VALORES DA CCI

Q(m ³ /h)	f _{5"}	f _{4"}	Re _{4"}	α	H _s (m)
0					15,0
4	0,379	0,302	211,8	2	15,3
8	0,190	0,151	423,7	2	15,6
12	0,126	0,101	635,5	2	15,9
16	0,0949	0,0755	847,3	2	16,2
20	0,0759	0,0604	1059,1	2	16,5
24	0,0632	0,0504	1271,0	2	16,8
28	0,0542	0,0432	1482,8	2	17,1
32	0,0474	0,0378	1694,6	2	17,4
36	0,0422	0,0336	1906,4	2	17,7
40	0,0379	0,0305	2118,3	2	18,1
44	0,0345	0,0313	2330,1	2	18,7

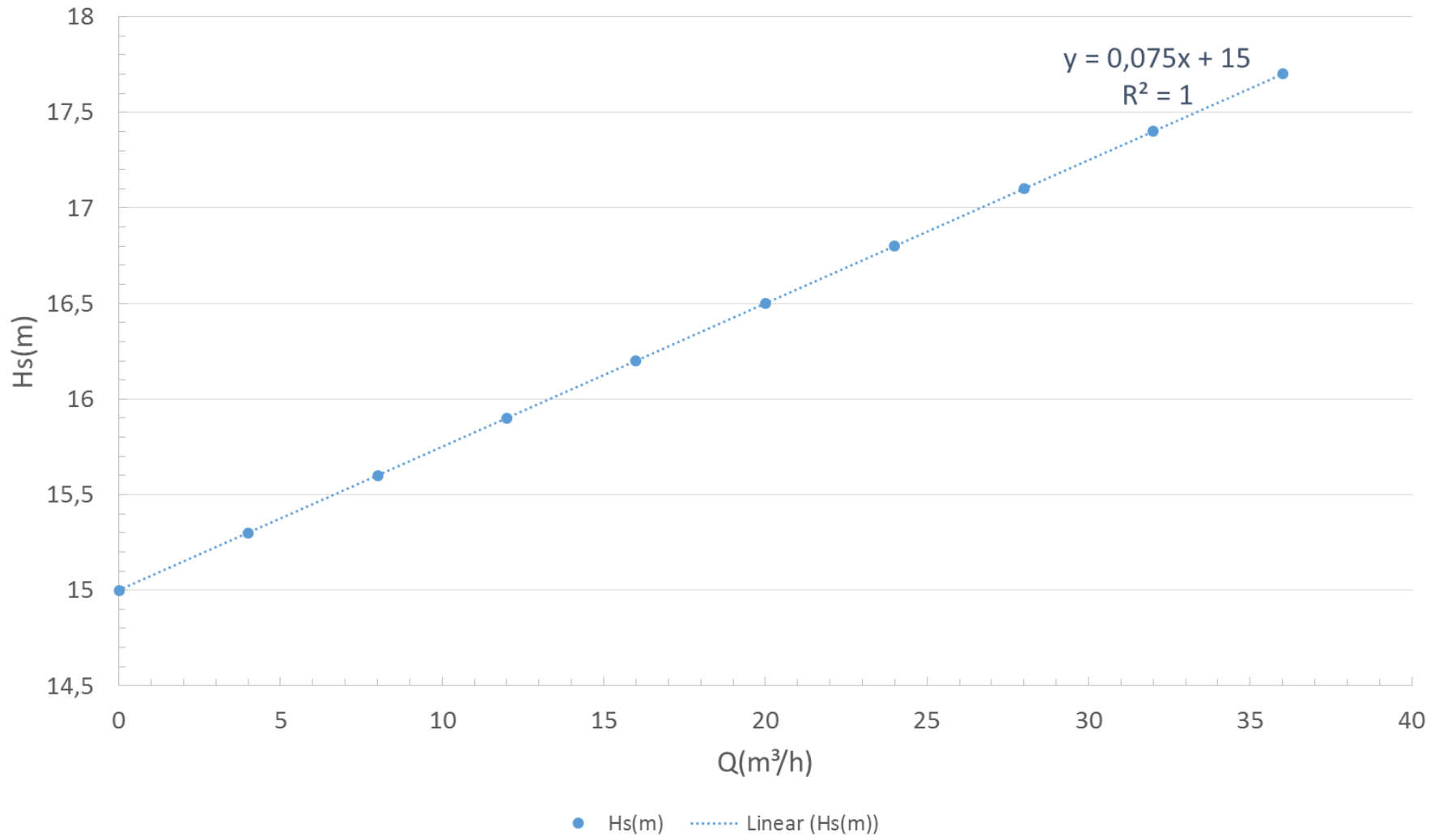


Vou eliminar as duas
últimas linhas que o Re
ficou maior que 2000.

VALORES DA CCI

Q(m ³ /h)	f _{5"}	f _{4"}	Re _{4"}	α	H _s (m)
0					15,0
4	0,379	0,302	211,8	2	15,3
8	0,190	0,151	423,7	2	15,6
12	0,126	0,101	635,5	2	15,9
16	0,0949	0,0755	847,3	2	16,2
20	0,0759	0,0604	1059,1	2	16,5
24	0,0632	0,0504	1271,0	2	16,8
28	0,0542	0,0432	1482,8	2	17,1
32	0,0474	0,0378	1694,6	2	17,4
36	0,0422	0,0336	1906,4	2	17,7

CCI



Não é estranho a CCI anterior ser linear?

Não, pois trata-se de um escoamento laminar (vide próximos slides).



Demonstração que a CCI para escoamento laminar dá uma equação do primeiro grau, ou seja, linear.

Vamos considerar uma instalação de bombeamento com um único diâmetro e sem carga cinética na seções inicial e final.

$$H_S = H_{\text{est}} + \frac{64}{\text{Re}} \times \frac{(L + \sum \text{Leq})}{D_H} \times \frac{Q^2}{2g \times A^2}$$

$$\text{Re} = \frac{v \times D}{\nu} = \frac{Q \times 4 \times D}{\pi \times D^2 \times v} = \frac{4Q}{\pi D v}$$

$$H_S = H_{\text{est}} + 64 \times \frac{\pi D v}{4Q} \times \frac{(L + \sum \text{Leq})}{D_H} \times \frac{Q^2}{2g \times A^2}$$

$$H_S = H_{\text{est}} + 16 \times \pi \times v \times (L + \sum \text{Leq}) \times \frac{Q}{2g \times A^2}$$

$$H_S = H_{\text{est}} + \frac{16 \times \pi \times v \times (L + \sum \text{Leq})}{2g \times A^2} \times Q$$

$$Q_{\text{projeto}} = 41 \times 1,1 = 45,1 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

$$H_{B_{\text{projeto}}} = 18,4\text{m} \approx 18,5\text{m}$$

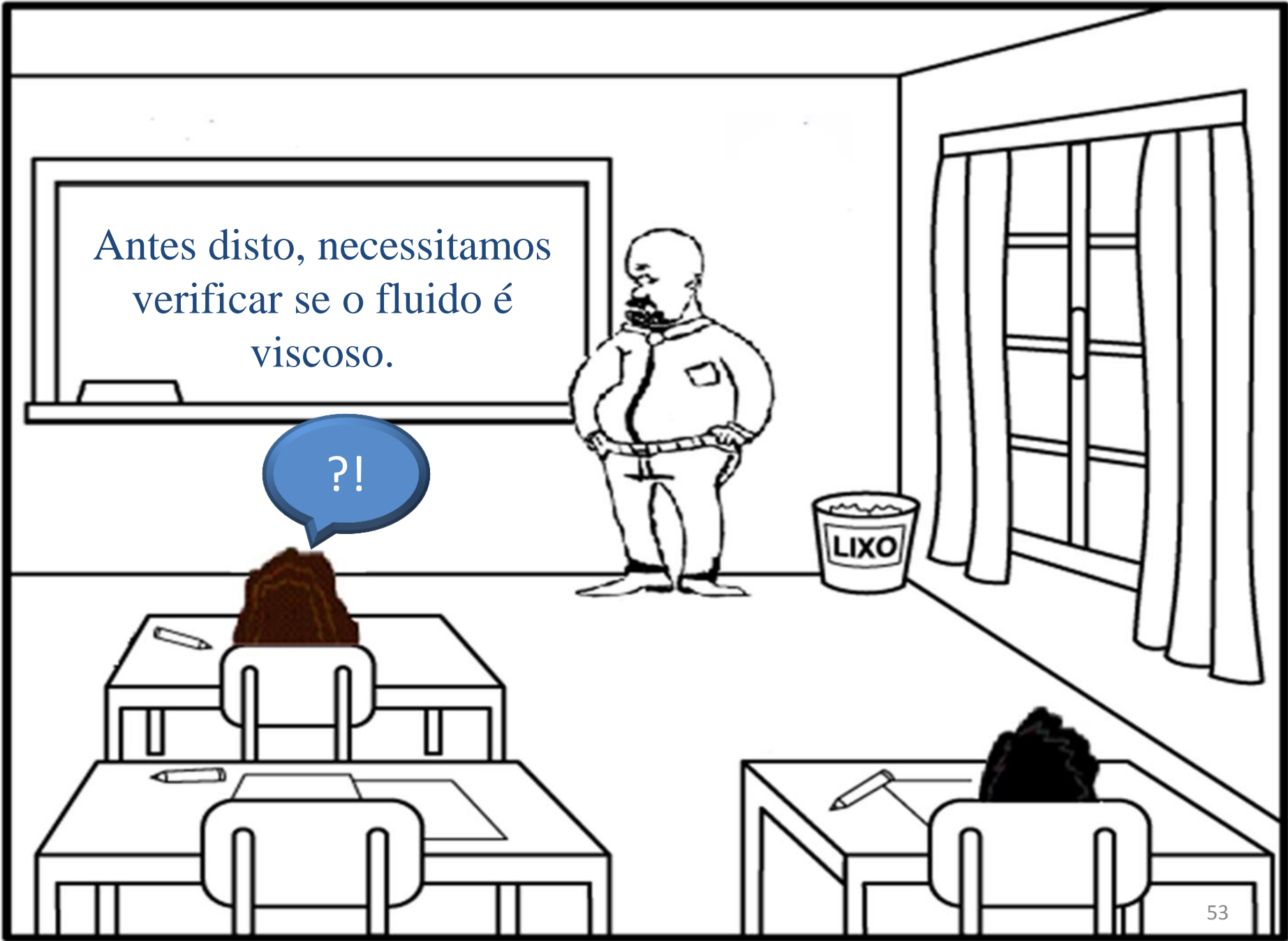
Agora é só escolher a bomba!


Agora podemos calcular Q_{proj} e $H_{B_{\text{proj}}}$

Antes disto, necessitamos
verificar se o fluido é
viscoso.

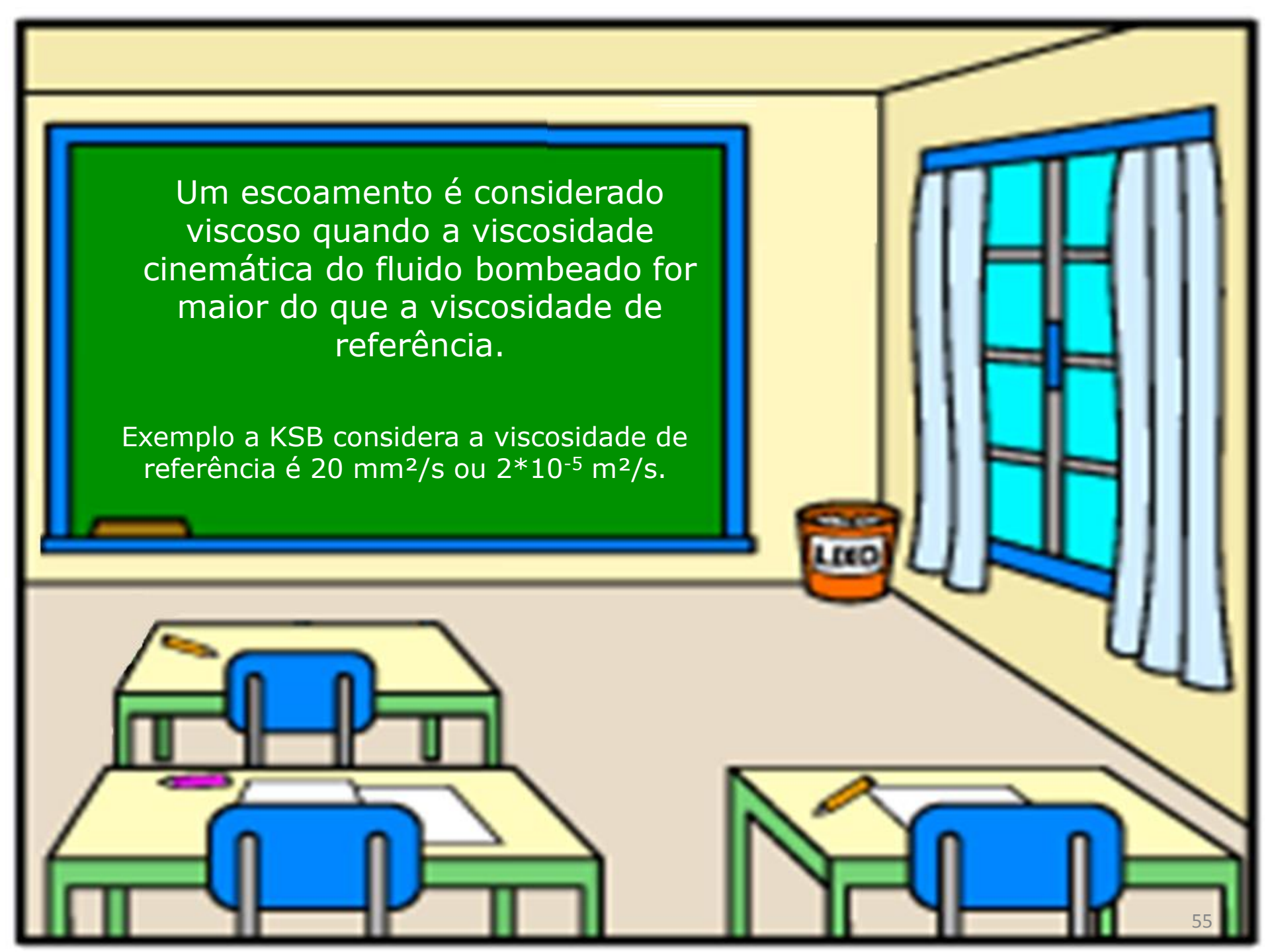
?!

LIXO





Como o escoamento foi laminar (CCI linear), isto pode ser um indício de ser um escoamento viscoso e se for não poderemos escolher a bomba de imediato.



Um escoamento é considerado viscoso quando a viscosidade cinemática do fluido bombeado for maior do que a viscosidade de referência.

Exemplo a KSB considera a viscosidade de referência é $20 \text{ mm}^2/\text{s}$ ou $2 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$.

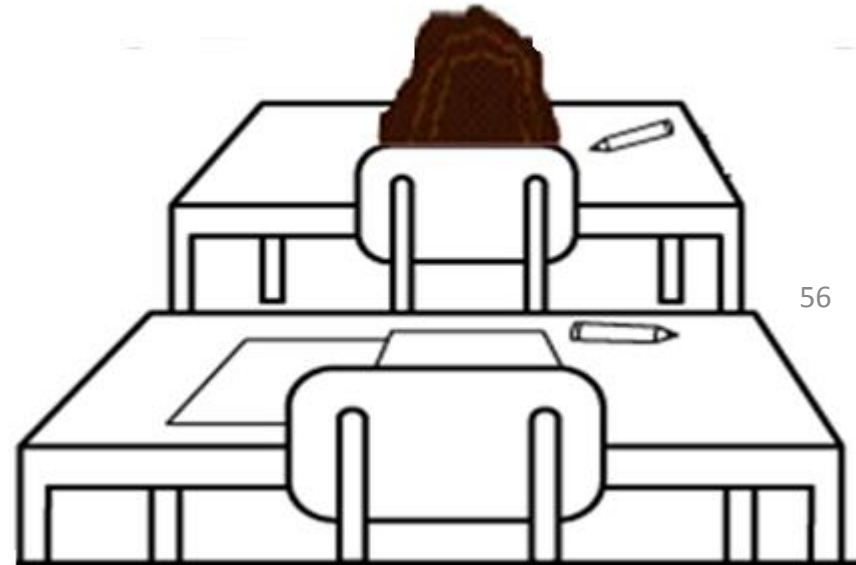
1º → O professor Sérgio Lopes dos Santos em seu livro **Bombas & Instalações Hidráulicas** na página 89 considera acima de 10 cSt.

Outros exemplos da viscosidade de referência e em caso de dúvida sugiro a consulta ao fabricante!



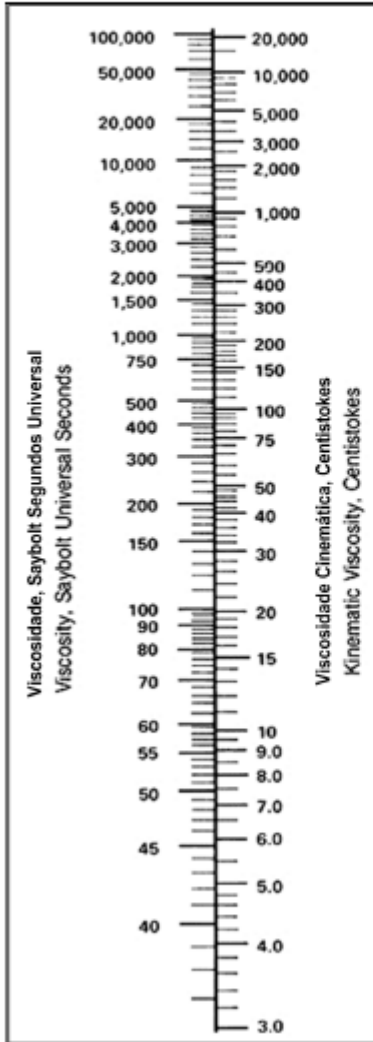
2º → Os autores Karassik, Krutzsch, Fraser e Messina em seu livro **Manual de Bombas** na página 10-111 sugerem acima de 40 SSU (Segundo Saybolt Universal) vide curva de correção que eles mostram na página 10-112.

Isto comprova que ainda existem muitos estudos experimentais!





VISCOSIDADE - EQUIVALÊNCIA ENTRE CENTISTOKES E SSU
VISCOSITY - CENTISTOKES - SSU EQUIVALENCE



EXEMPLOS
EXAMPLES
8 centistokes = 52 SSU
140 SSU = 30 centistokes

Caso a viscosidade seja dada em centipoises (cP), faça a conversão para centistokes com a fórmula:

$$Cst = \text{centipoises} / \text{peso específico}$$

If the viscosity is given in centipoise (cP), make the conversion using the formula:

$$Cst = \text{centipoises} / \text{specific gravity}$$

A transformação não é tão simples, por este motivo leiam o próximo slide



Código ABNT NBR 15973:2011

Data de Publicação : 01/09/2011

Válida a partir de : 01/10/2011

Título : Conversão de viscosidade cinemática em viscosidade Saybolt universal ou em viscosidade Saybolt Furol

Título Idioma Sec. : Conversion of kinematic viscosity to Saybolt Universal viscosity or to Saybolt Furol viscosity

Comitê : ABNT/ONS-034 Petróleo

Nº de Páginas : 45

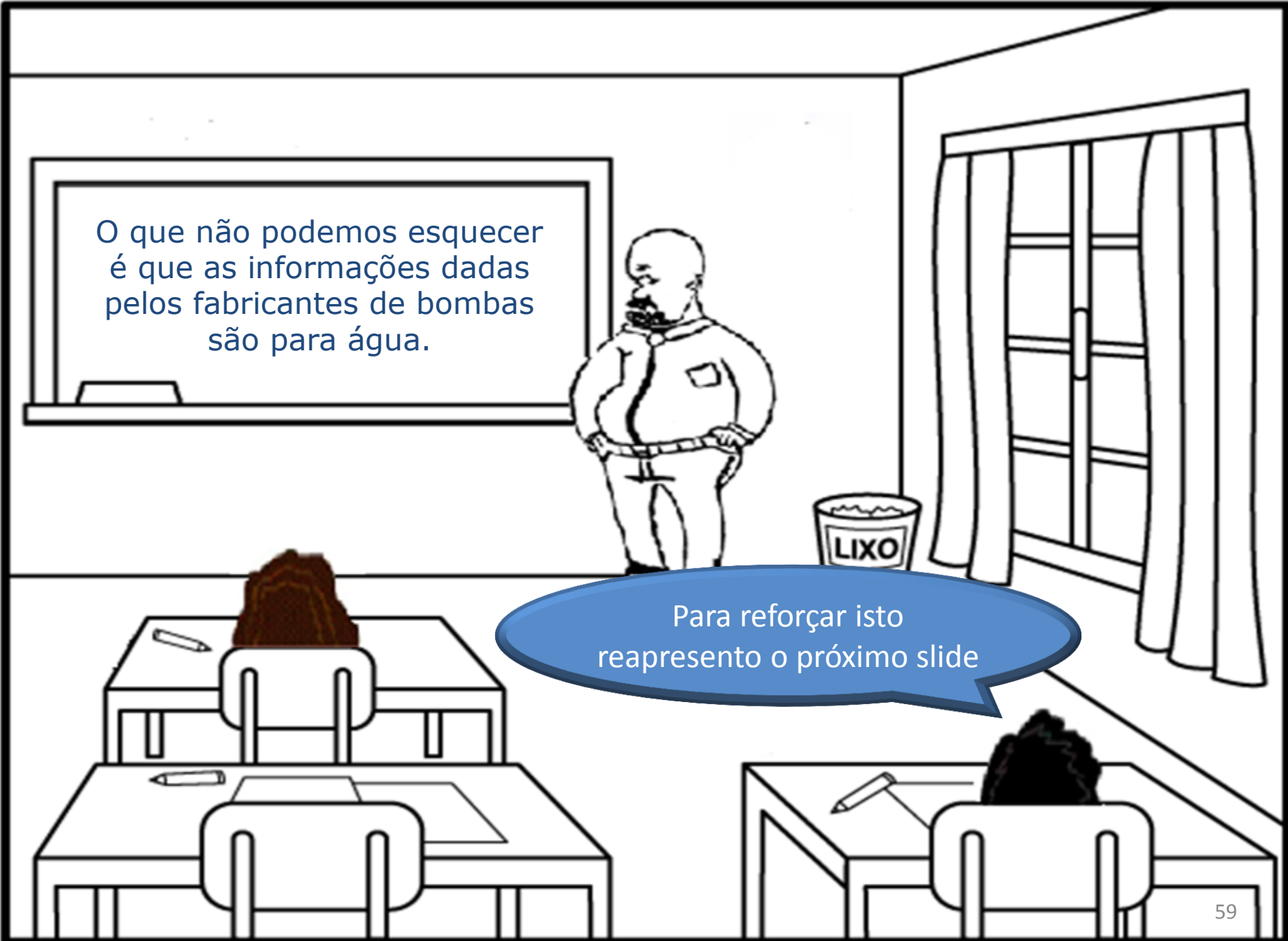
Status : Em Vigor

Idioma : Português

Organismo : ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

Preço (R\$) : 148,00

Objetivo : Esta Norma estabelece as tabelas e equações de conversão da viscosidade cinemática (em centistokes – cSt) em viscosidade Saybolt Universal (em Segundos Saybolt Universal – SSU) a 37,8 °C e 98,9 °C e em viscosidade Saybolt Furol (em Segundos Saybolt Furol – SSF) a 50 °C e 98,9 °C. Os valores da viscosidade cinemática tomaram como base o valor de 1 0034 mm²/s (cSt) da água a 20 °C.



O que não podemos esquecer
é que as informações dadas
pelos fabricantes de bombas
são para água.

Para reforçar isto
reapresento o próximo slide

Atenção: Os valores de NPSH indicados nas curvas são valores mínimos e representam o limite para início da cavitação, considerando como líquido bombeado água desgaseificada.

Por razões de segurança deve ser considerado no mínimo 0,5 m de acréscimo aos valores lidos nas curvas de NPSH.

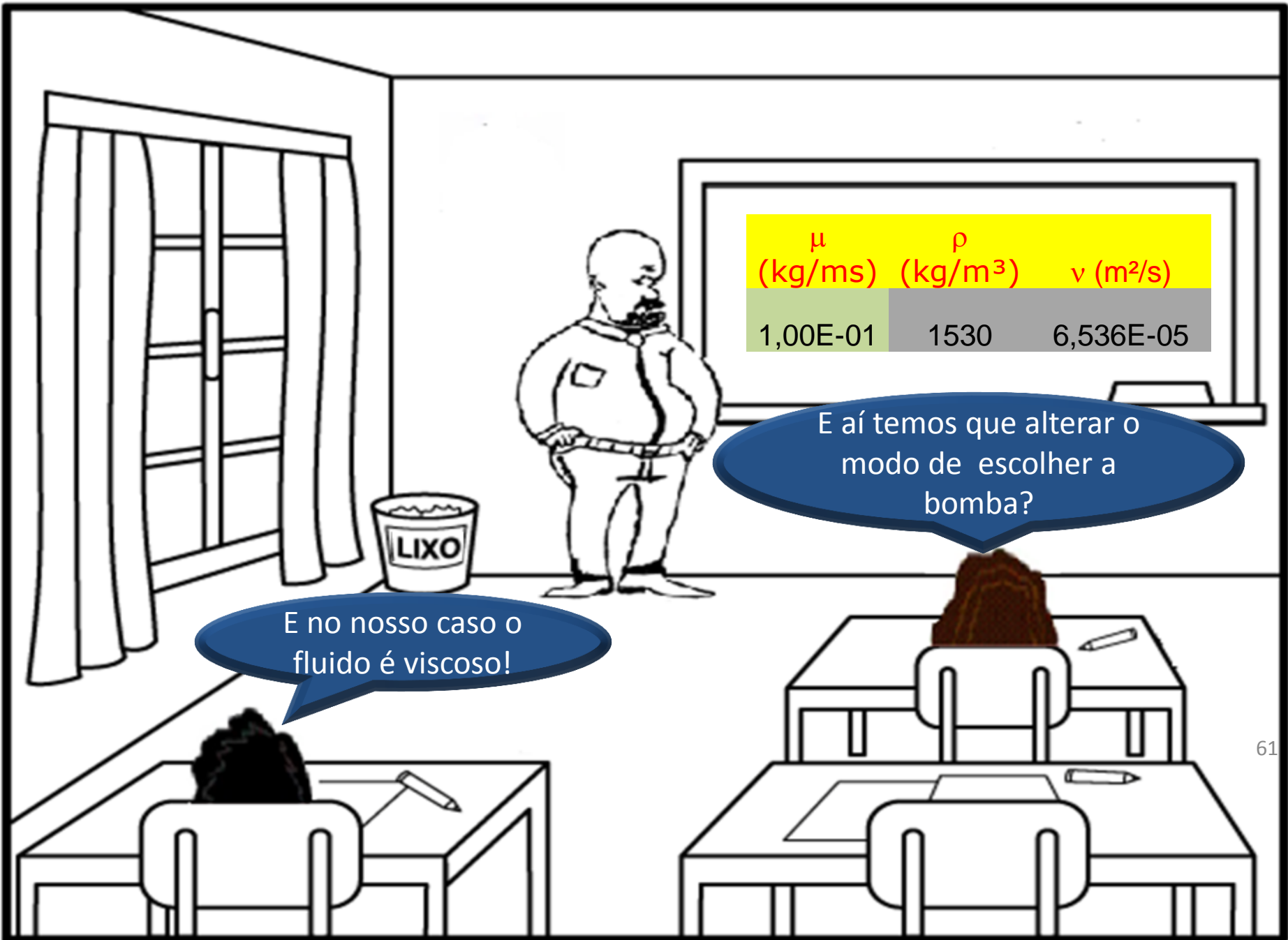
- Garantia das características de funcionamento conforme ISO 9906 anexo "A".
- Os valores de altura manométrica e vazão são válidos para fluídos com densidade $\rho = 1,0 \text{ kg/dm}^3$ e viscosidade cinemática máxima $\nu = 20 \text{ mm}^2/\text{s}$.
- Se a densidade for $\neq 1,0 \text{ kg/dm}^3$ os dados de potência necessária deverão ser multiplicados pelo valor de ρ .
- Para rotores executados com material ASTM A 743 CF8M os valores de rendimento que constam nas curvas devem ser reduzidos conforme tabela abaixo:

Largura Rotor (mm)	Pontos de Redução
até 12 mm	3 pontos
de 12 mm até 15 mm	2 pontos
acima de 15 mm	sem redução

Warning: The NPSH values given in the performance curve sheets are minimum values which correspond to the cavitation limit. They apply to degassed water.

For reasons of safety the curve values must, therefore, be increased by at least 0.5 m for application.

- The measured values in the performance curves comply with ISO 9906 appendix - A.
- The total heads and the performance characteristics refer to media with a density $\rho = 1.0 \text{ kg/dm}^3$ and a kinematic viscosity ν up to $20 \text{ mm}^2/\text{s}$.



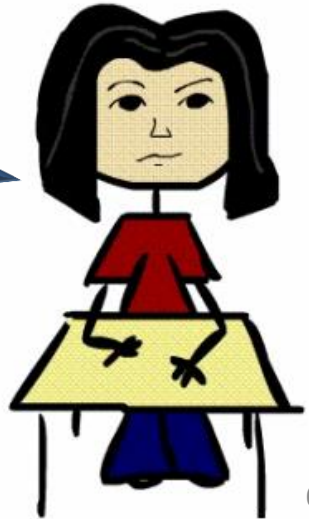
μ (kg/ms)	ρ (kg/m ³)	ν (m ² /s)
1,00E-01	1530	6,536E-05

E no nosso caso o fluido é viscoso!

E aí temos que alterar o modo de escolher a bomba?



Exatamente!



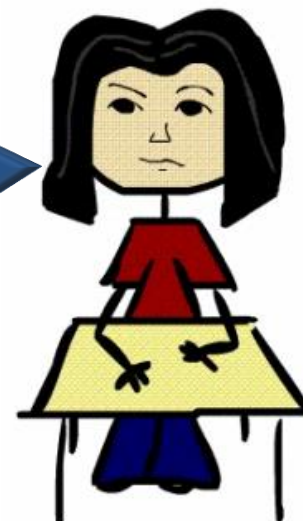
É o caso do exercício com a soda cáustica tendo uma viscosidade superior a $2 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$,



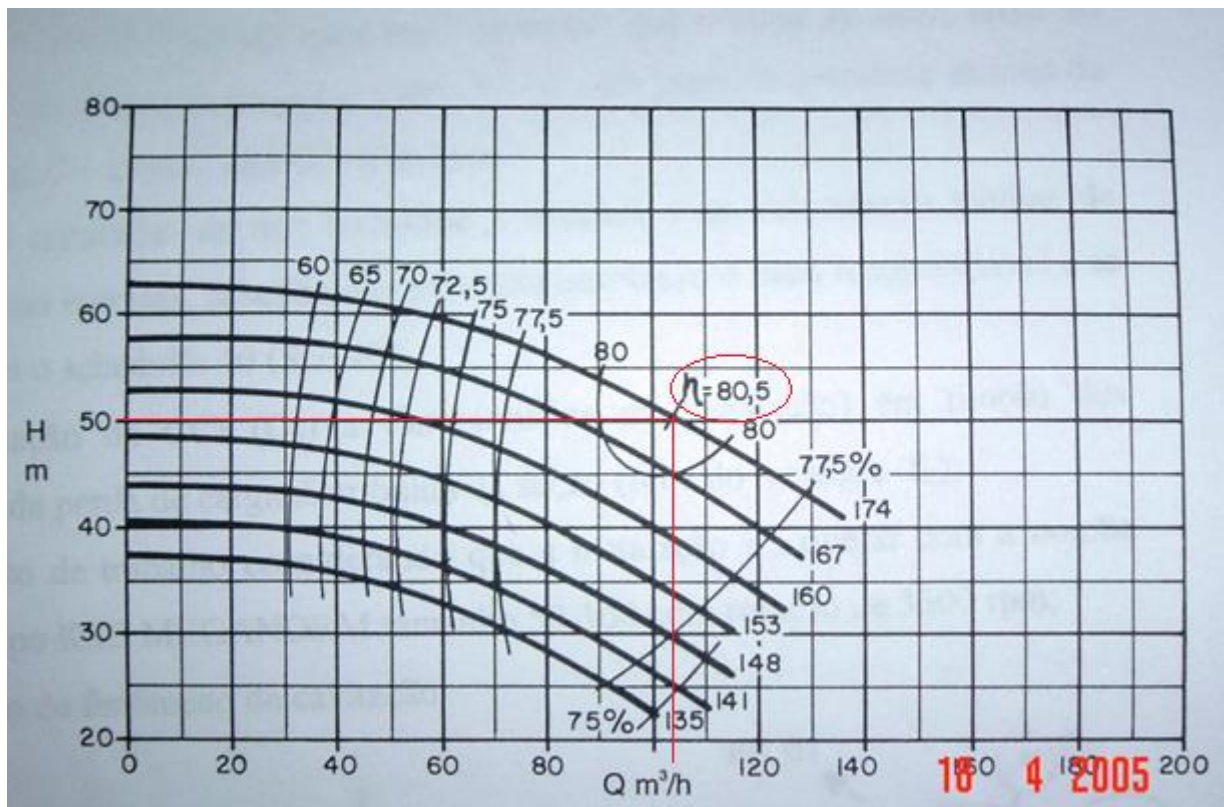
Neste caso devemos corrigir a CCB, onde temos duas situações possíveis:

1. a instalação já existe;
2. a instalação está sendo projetada (caso do exercício).

Vamos estudar inicialmente o caso em que a instalação já existe.



No caso da instalação já existir nós lemos na curva de $H_B = f(Q)$ a vazão, a carga manométrica e o rendimento correspondente ao ponto de máxima eficiência (máximo rendimento). Veja o exemplo abaixo:



18 4 2005

Vamos considerar uma bomba de diâmetro do rotor igual a 174 mm, com os dados ao lado e que originam as curvas do próximo slide:

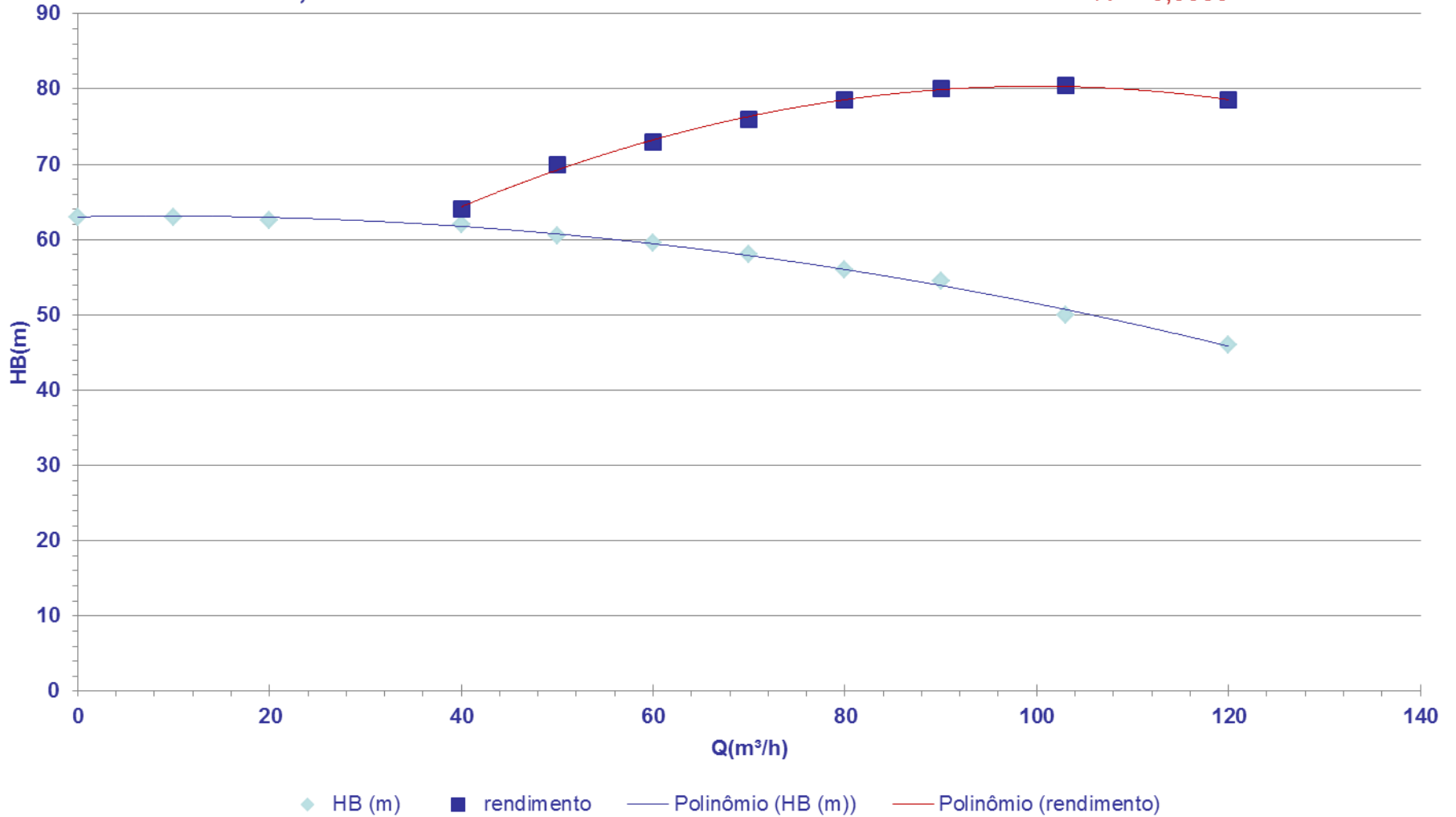


Q (m ³ /h)	HB (m)	η_B (%)
0	63	
10	63	
20	62,5	
40	62	64
50	60,5	70
60	59,5	73
70	58	76
80	56	78,5
90	54,5	80
103	50	80,5
120	46	78,5

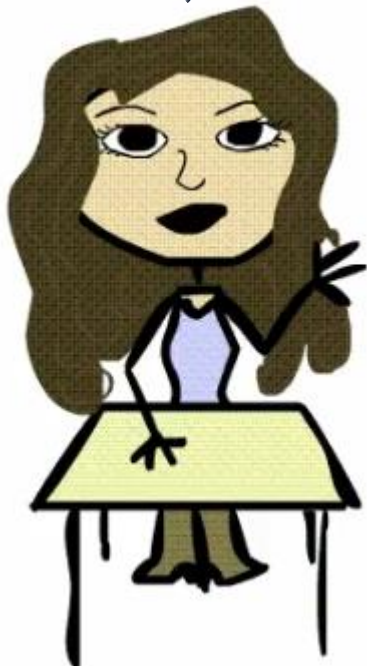
$$H_B = -0,0014Q^2 + 0,0244Q + 63$$
$$R^2 = 0,9961$$

CCB

$$\eta_B = -0,0044Q^2 + 0,8884Q + 35,904$$
$$R^2 = 0,9959$$



Iremos considerar um fluido viscoso?



Sim, por exemplo: considerando um fluido com uma viscosidade de $2,0 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$, que é maior do que $2 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$, nesse caso adotamos o seguinte procedimento: no rendimento máximo, lemos a vazão, a qual irá corresponder ao ponto $1,0 \cdot Q$; em seguida calculamos as vazões: $0,6 \cdot Q$; $0,8 \cdot Q$ e $1,2 \cdot Q$ e para cada uma delas nós lemos no gráfico do fabricante, ou calculamos pelas equações das linhas de tendências, a carga manométrica e o rendimento que farão parte da tabela a seguir:



	0,6xQ	0,8xQ	1xQ	1,2xQ
Q (m ³ /h)	61,8	82,4	103	123,6
H _B (m)	59,2	55,5	50	44,6
η _B (%)	74,0	79.2	80,5	78,5
C _η				
C _Q				
C _H				
Q* C _Q				
H _B *C _H				
η _B *C _η				

C_{η} , C_Q e C_H , que são os coeficientes de correção, serão lidos no gráfico correspondente, para tal adotamos o seguinte procedimento:

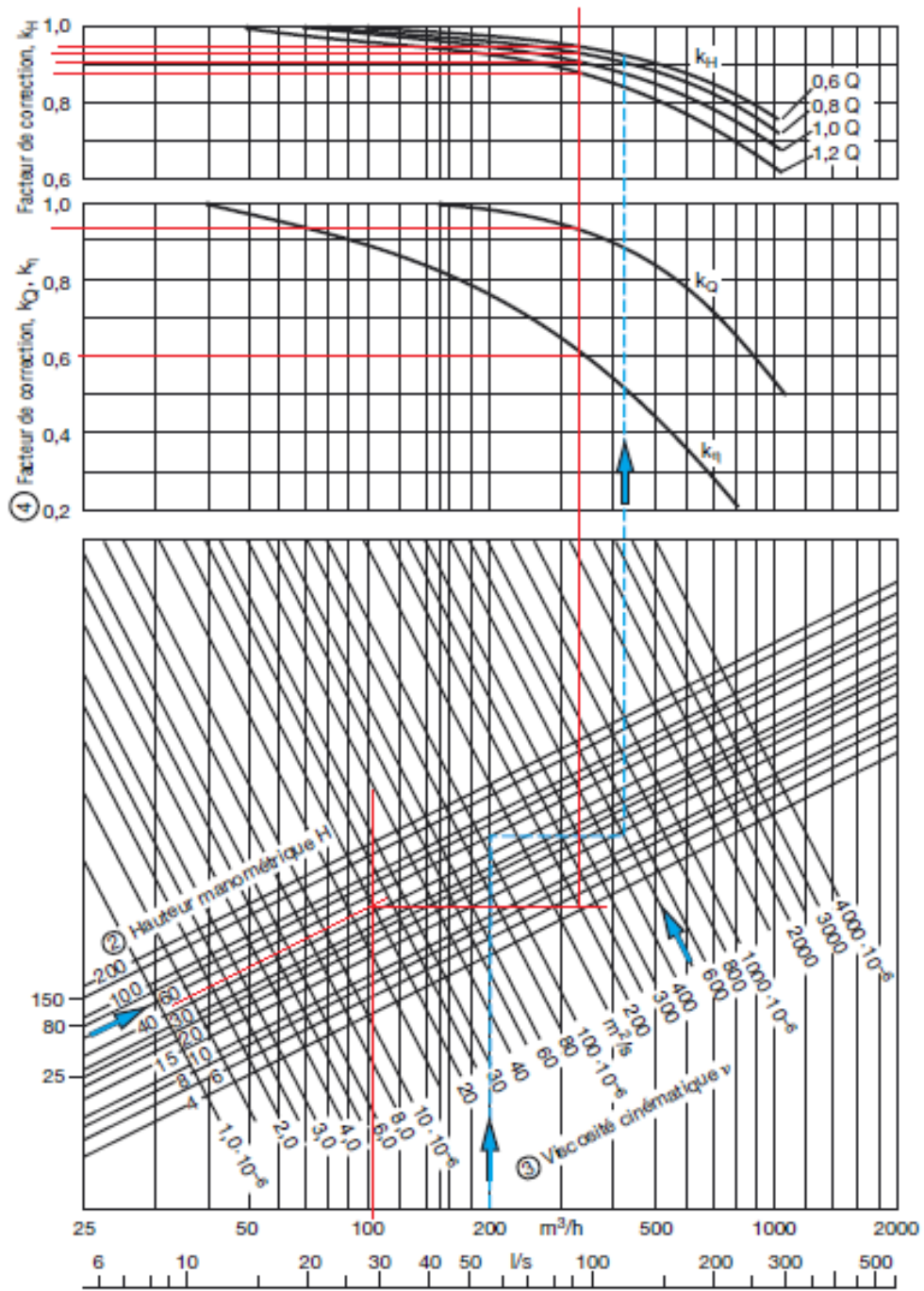


1º - marcamos a vazão do ponto de máximo rendimento ($1,0 \cdot Q$) = ponto 1;

2º - subimos com uma reta vertical até encontrar a reta inclinada correspondente a carga manométrica do rendimento máximo = ponto 2;

3º - daí puxamos uma reta horizontal até a viscosidade desejada = ponto 3;

4º - em seguida subimos uma reta vertical até as curvas de correção para se tirar os valores dos coeficientes: C_{η} ; C_Q e finalmente os valores de C_H



$$K_\eta = C_\eta \cong 0,60$$

$$K_Q = C_Q \cong 0,93$$

$$1,2Q \rightarrow C_H \cong 0,88$$

$$1,0Q \rightarrow C_H \cong 0,90$$

$$0,8Q \rightarrow C_H \cong 0,93$$

$$0,6Q \rightarrow C_H \cong 0,95$$

E aí completamos a tabela do slide 58:

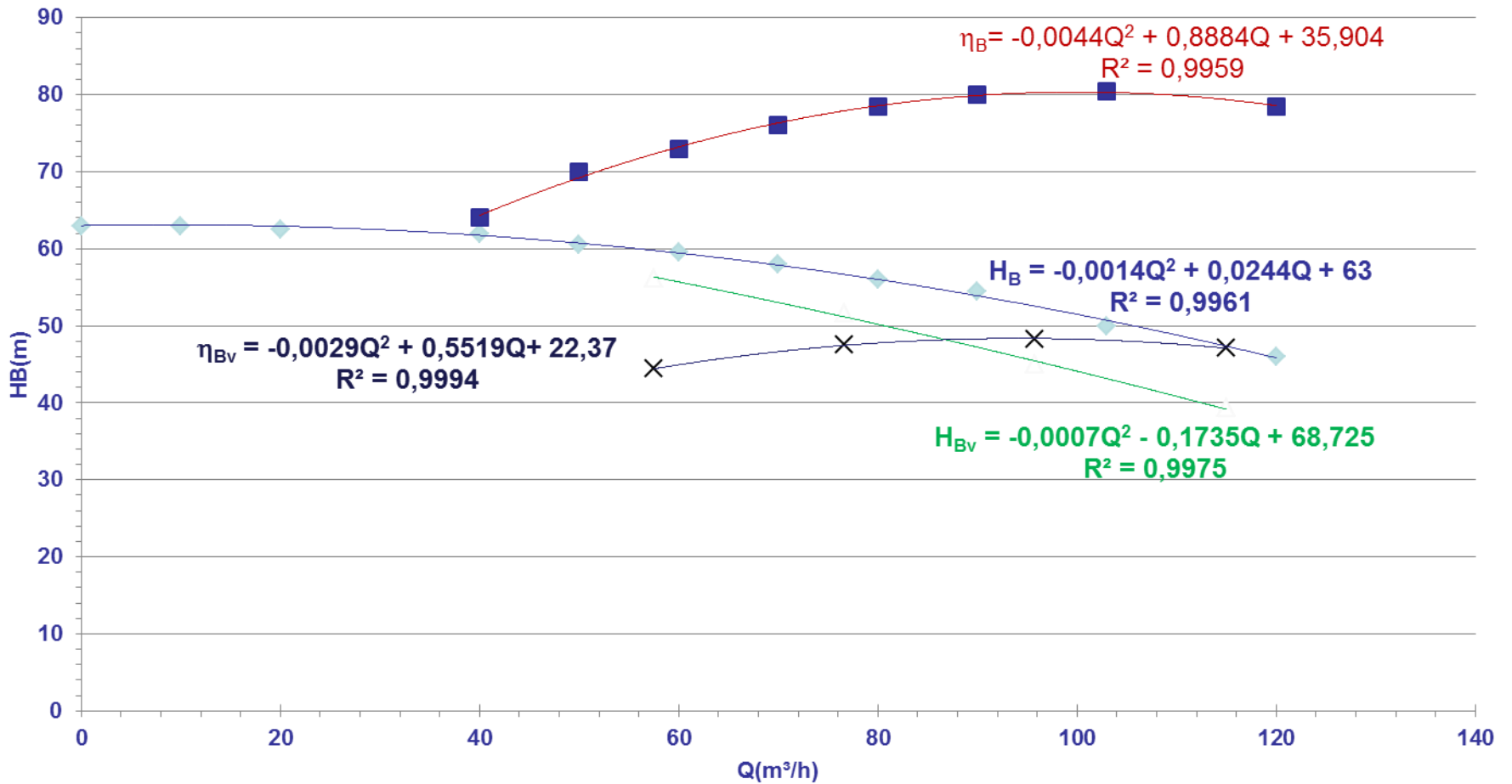


	0,6xQ	0,8xQ	1xQ	1,2xQ
Q (m ³ /h)	61,8	82,4	103	123,6
H _B (m)	59,2	55,5	50	44,6
η _B (%)	74,0	79,2	80,5	78,5
C _η	0,60	0,60	0,60	0,60
C _Q	0,93	0,93	0,93	0,93
C _H	0,95	0,93	0,90	0,88
Q* C _Q	57,5	76,6	95,8	115,0
H _B *C _H	56,2	51,6	45	39,3
η _B *C _η	44,4	47,5	48,3	47,1

Completada a tabela nós obtemos as curvas corrigidas, onde respeitamos as condições para não se ter a recirculação e se ter menor probabilidade de cavitação.



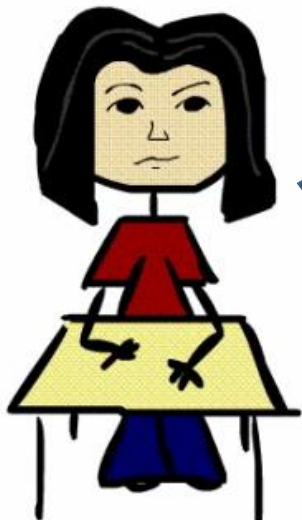
CCB

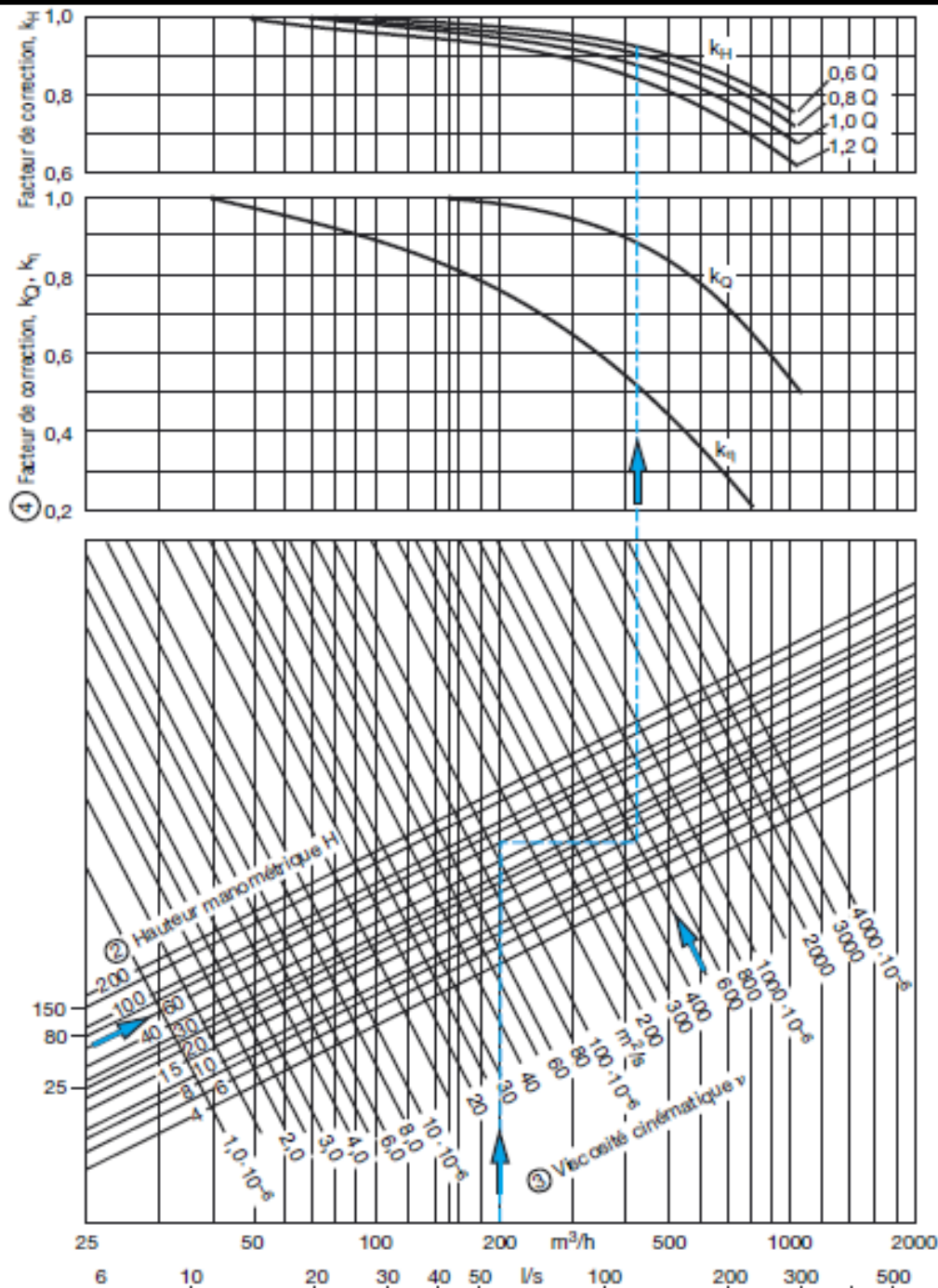


- ◆ HB (m)
- rendimento
- △ HBvisc
- × rendimentovisc
- Polinômio (HB (m))
- Polinômio (rendimento)
- Polinômio (HBvisc)
- Polinômio (rendimentovisc)

Nesse caso, iniciamos determinando a equação da CCI e através dela, com a vazão de projeto, calculamos a carga manométrica de projeto.

E no caso da instalação está sendo projetada, que é o caso do exercício, como agimos?





Então, entramos no gráfico para obtenção dos coeficientes de correção com a vazão do líquido viscoso ($Q_{\text{visc}} = Q_{\text{projeto}}$). Subimos com uma reta vertical até encontrar a reta inclinada correspondente a carga manométrica viscosa ($H_{\text{Bvisc}} = H_{\text{Bprojeto}}$), puxamos deste ponto uma reta horizontal até encontrar a reta inclinada correspondente a viscosidade do fluido, puxamos então uma reta vertical para obtenção dos coeficientes de correção.



$C_{\eta} = \frac{\eta_{B_{\text{visc}}}}{\eta_{B_a}}$ → coeficiente que corrige o rendimento

$C_Q = \frac{Q_{\text{visc}}}{Q_a}$ → coeficiente que corrige a vazão

$C_H = \frac{H_{B_{\text{visc}}}}{H_{B_a}}$ → coeficiente que corrige a carga manométrica

Importante observar que o C_H foi obtido
para $1,0 \cdot Q$



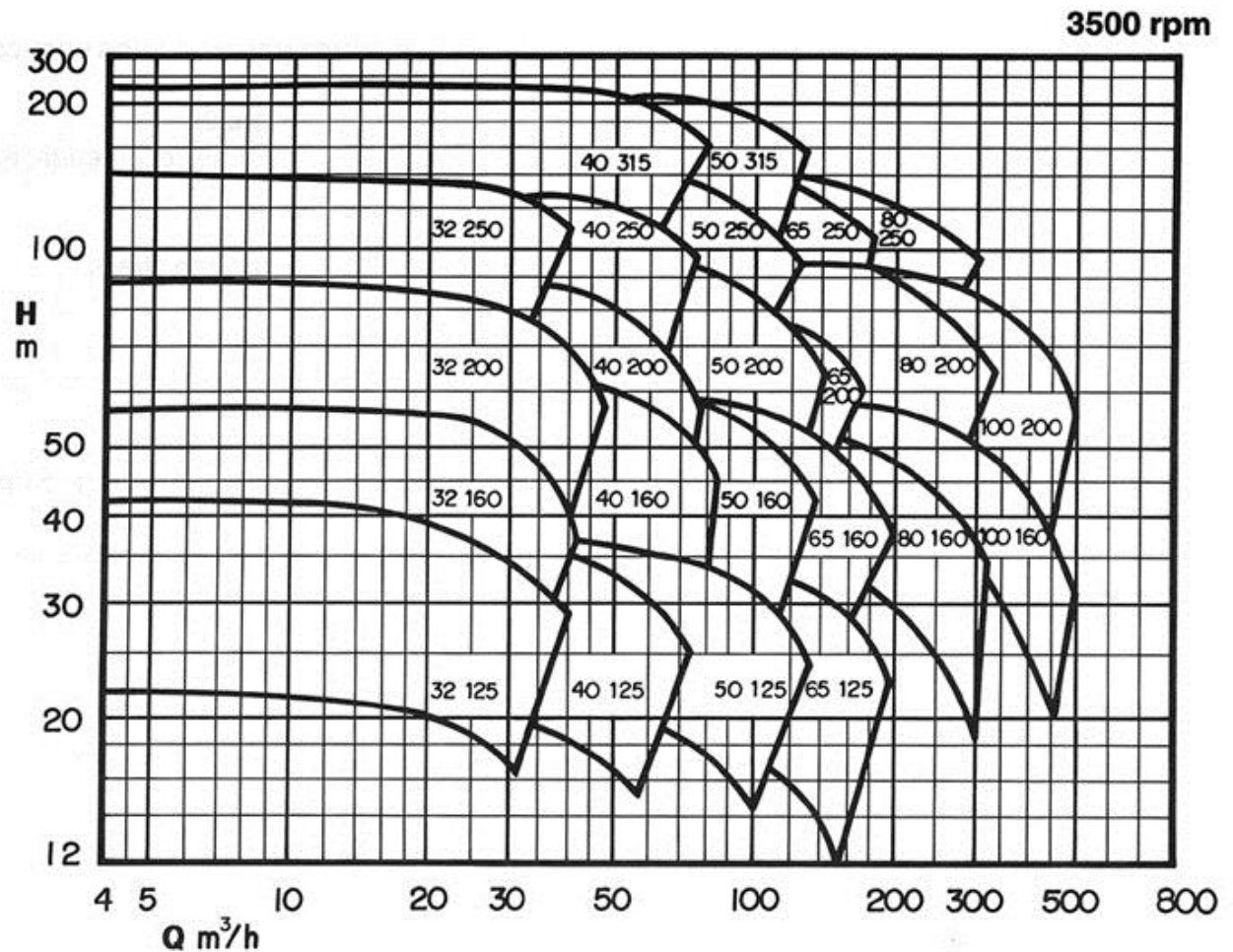
Segundo Karassik (página 10-113) com os valores para C_{Qa} e C_{Ha} na mesma viscosidade achamos pelas curvas de correção novos C_{Qan} e C_{Han} e se estes se encontram até 2% dos valores anteriores (C_{Qa} e C_{Ha}) podemos já selecionar a bomba, porém se a diferença for maior que 3%, os valores para a água devem ser corrigidos como mostrado a seguir e que também foi extraído do livro por ele escrito (página 10-113):

$$Q_{\text{água final}} = Q_{\text{a inicial}} \times \frac{C_{Qa}}{C_{Qan}}$$

$$H_{\text{Bagua final}} = H_{\text{Bagua inicial}} \times \frac{C_{Ha}}{C_{Han}}$$

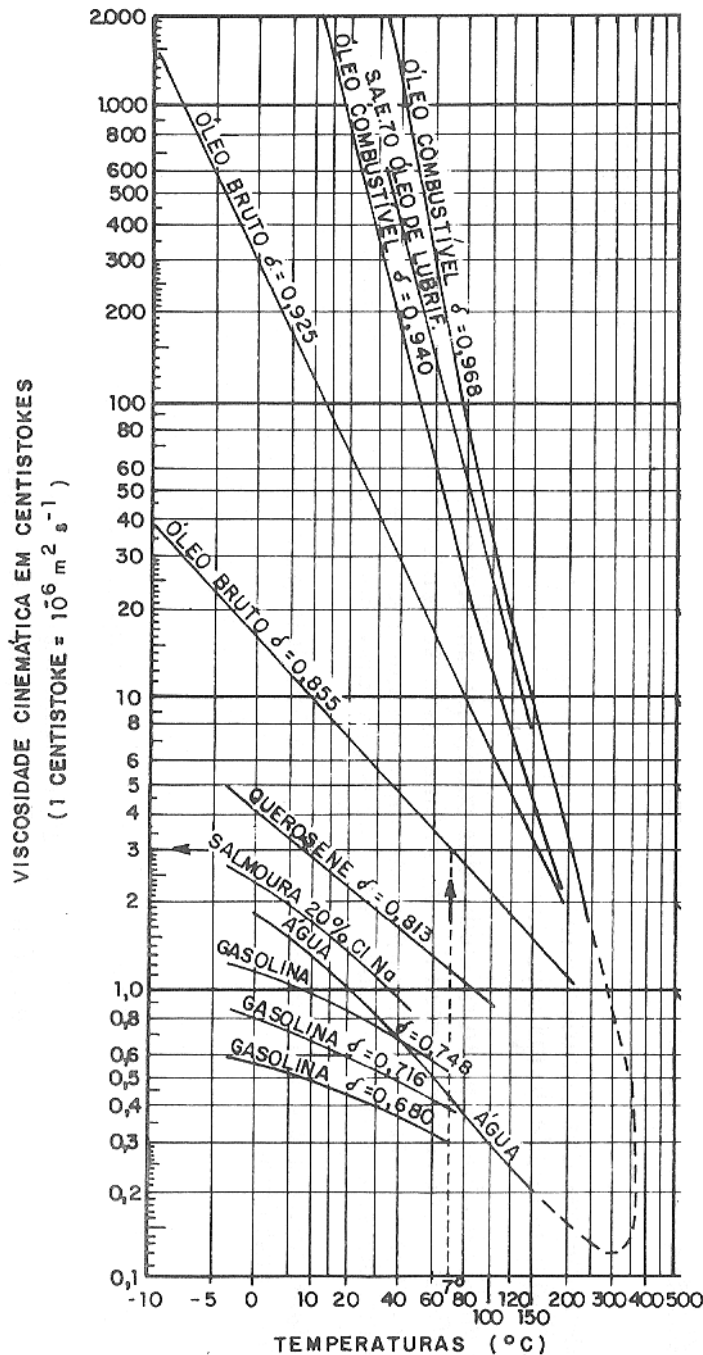


Com os coeficientes anteriores, obtemos a vazão para água (Q_a) e a carga manométrica para a água (H_{Ba}) e é com esse par de pontos que escolhemos preliminarmente a bomba no diagrama de tijolos.



Escolhida a bomba, no catálogo do fabricante, obtemos as suas CCBs e aí repetimos o procedimento descrito para a correção das CCBs de uma bomba já existente.





ALGUNS VALORES DE
VISCOSIDADES CINEMÁTICAS
EXTRAÍDOS DO LIVRO: BOMBAS E
INSTALAÇÕES DE BOMBEAMENTO
(pg 642) ESCRITO POR ARCHIBALD
JOSEPH MACINTYRE E EDITADO
PELA LTC EM 2008

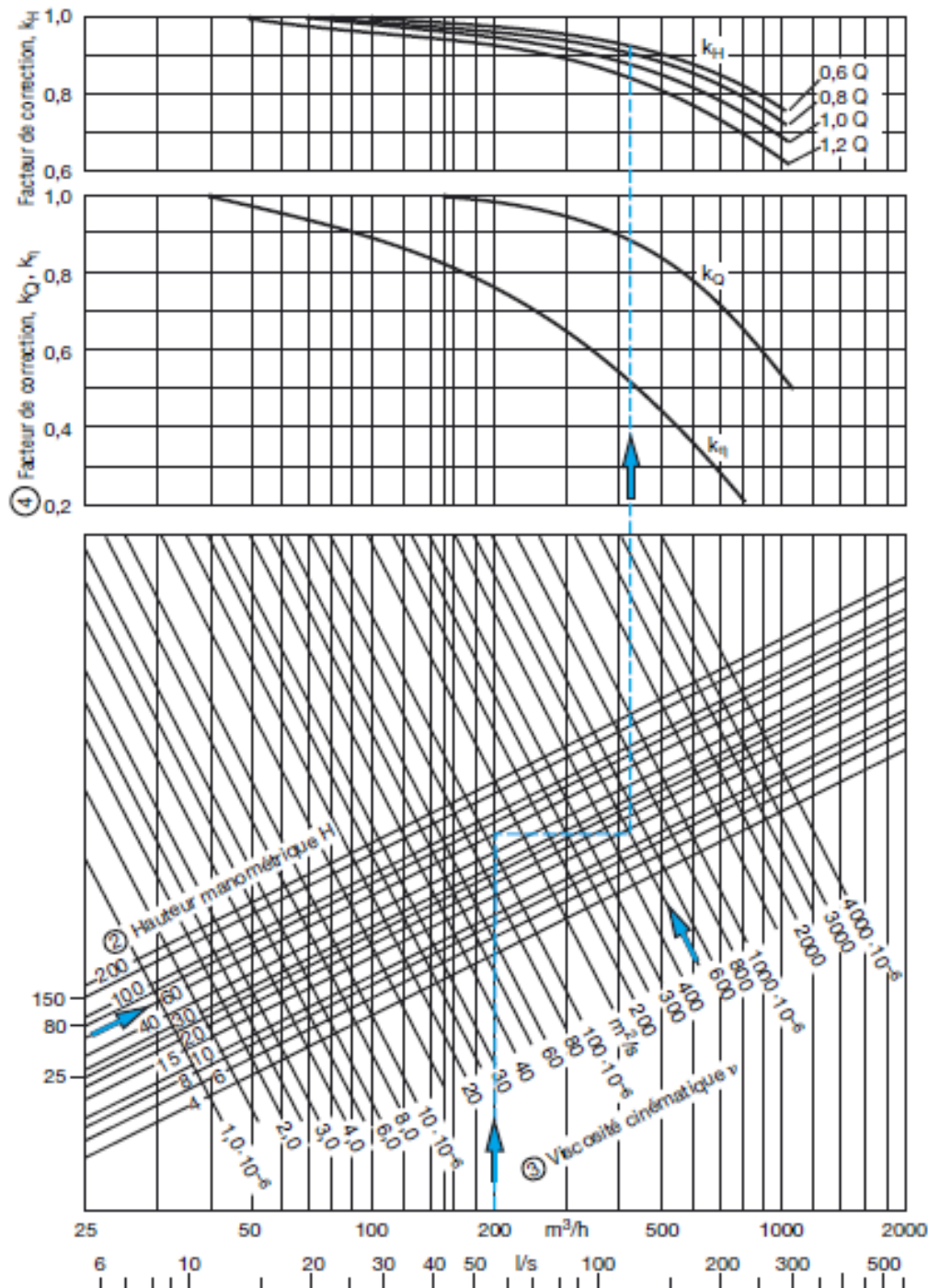



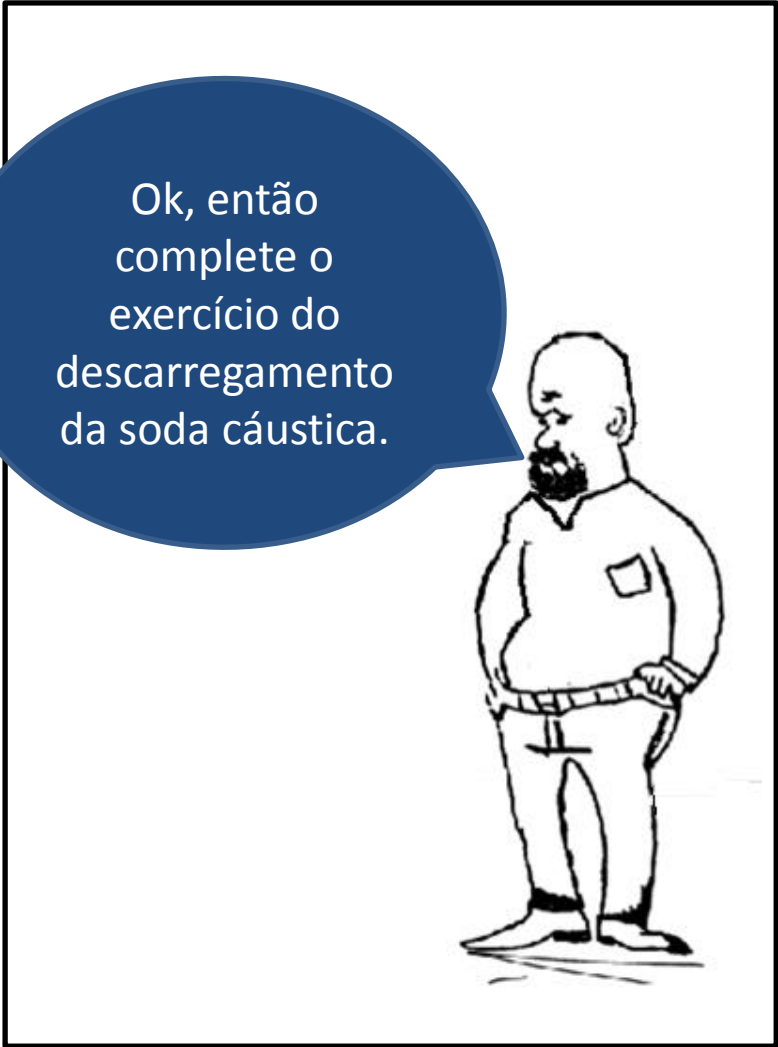
GRÁFICO OBTIDO DO MANUAL DA KSB PARA OBTENÇÃO DOS COEFICIENTES DE CORREÇÃO DA CCB PARA O TRANSPORTE DE FLUIDO VISCOSO

Importante salientar que as correções das curvas para fluido viscoso são válidas para bombas centrífugas radiais e para fluidos considerados newtonianos.





Gostaria de
fazer um
exercício de
aplicação!



Ok, então
complete o
exercício do
descarregamento
da soda cáustica.

Além dele, estou propondo mais um, cujo enunciado encontra-se no próximo slide.



Considerando as características da bomba hidráulica representada pela tabela a seguir e sabendo-se que a instalação irá transportar um fluido com uma viscosidade cinemática igual a 400 cSt (centiStokes), pede-se:

1. verificar a necessidade ou não das correções das curvas;
2. havendo a necessidade efetuar as correções necessárias.

Q (m ³ /h)	H _B (m)	η _B (%)
0	210	
10	200	40
20	185	50
30	170	60
40	135	70
50	100	75
60	65	70
70	25	60



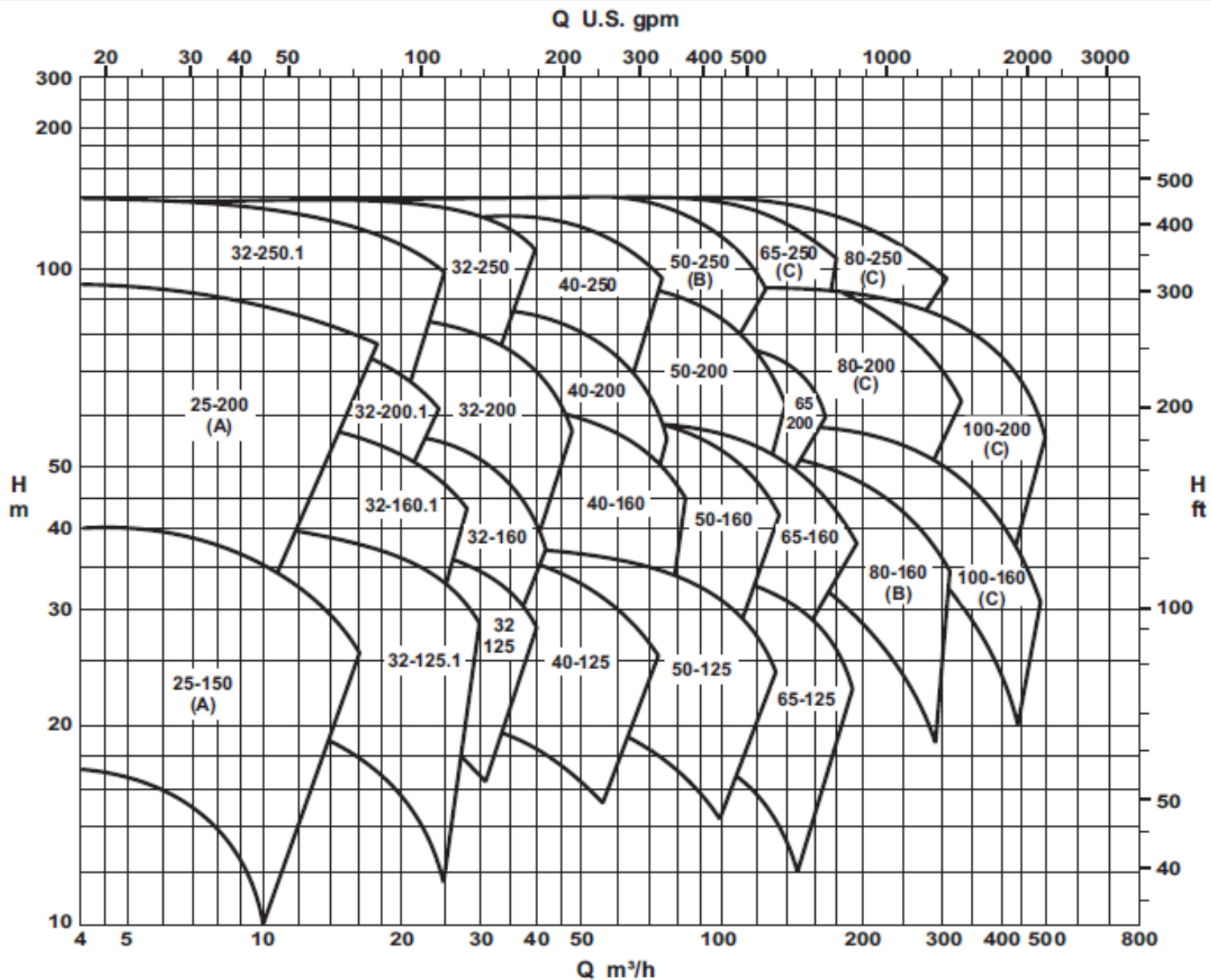
Um outro exemplo:
iniciando o projeto
de uma instalação de
bombeamento.

Legal, mesmo
porque o anterior
foi muito fácil!



Ao se projetar uma instalação de bombeamento de 28,72 m³/h (vazão desejada) de um fluido com massa específica igual a 813 kg/m³ e viscosidade cinemática igual a 300cSt optou-se em trabalhar com um único diâmetro de aço 80 (K = 4,6 e-5 m) com diâmetro nominal igual a 2,5”. Através do esboço da instalação o projetista obteve a equação da CCI. Considerando o fator de segurança mínimo e o diagrama de tijolos dado no próximo slide, pede-se especificar o modelo adequado da bomba.

$$CCI \Rightarrow H_s = 24,5 + 6845,7 \times \alpha \times Q^2 + 9168539,8 \times f \times Q^2 \rightarrow [H_s] = m \rightarrow [Q] = \frac{m^3}{s}$$



(A) Somente para KSB Meganorm e KSB Megabloc.

(B) Somente para KSB Meganorm, KSB Megachem e KSB Megachem V.

3.500 rpm

Escolhida a bomba e se houver necessidade, corrija suas curvas.

	0,6*Q	0,8*Q	1,0*Q	1,2*Q
Q(m ³ /h)				
H _B (m)				
η _B (%)				
C _η				
C _Q				
C _H				
Q*C _Q				
H _B *C _H				
η _B *C _η				

E especifique o diâmetro do rotor e determine o ponto de trabalho calculando a potência da bomba.



Início calculando a vazão e a carga manométrica de projeto.



$$Q_{\text{projeto}} = 1,1 \times 28,72 \cong 31,6 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

$$\text{aço 80} \Rightarrow D_N = 2,5'' \Rightarrow D_{\text{int}} = 59\text{mm}; A = 27,3\text{cm}^2$$

$$v_{\text{projeto}} = \frac{31,6 / 3600}{27,3 \times 10^{-4}} \cong 3,22 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

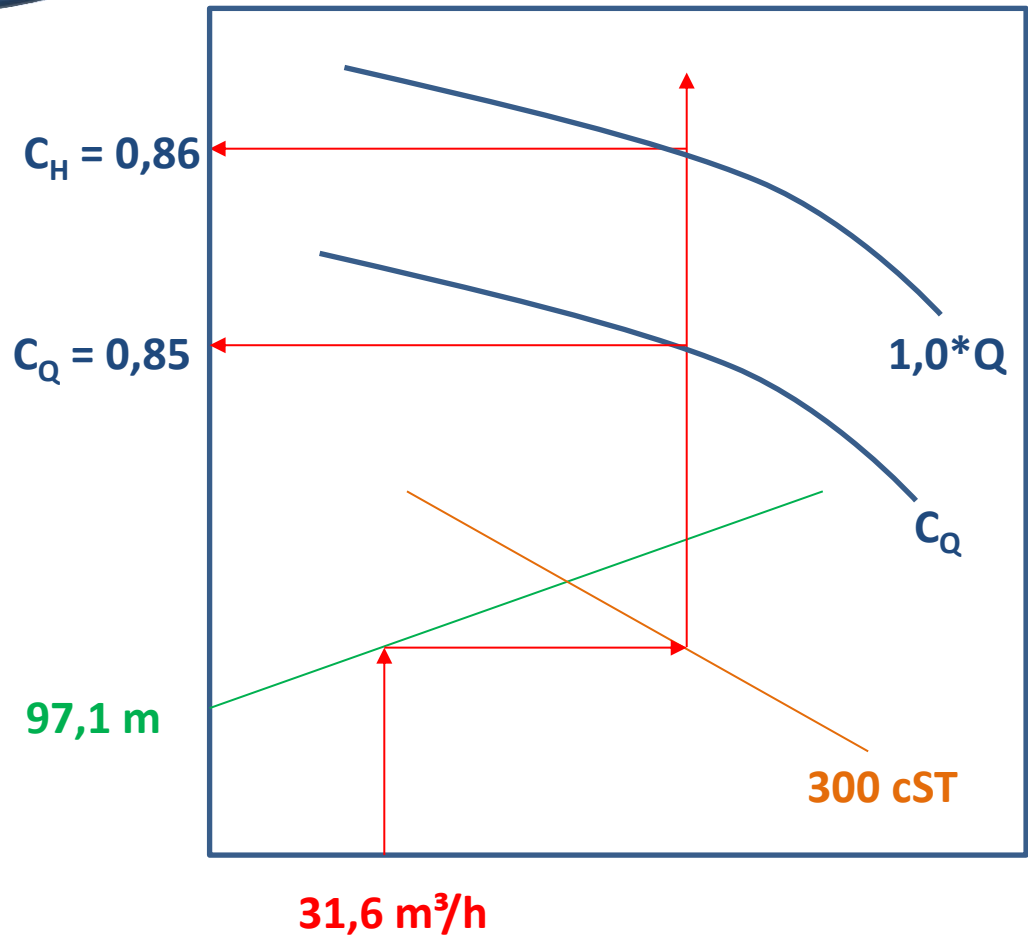
$$Re_{\text{projeto}} = \frac{3,22 \times 59 \times 10^{-3}}{300 \times 10^{-6}} \cong 632,2 \rightarrow \text{laminar}$$

$$f_{\text{projeto}} = \frac{64}{632,2} \cong 0,10124$$

$$H_{B_{\text{projeto}}} = 24,5 + 6845,2 \times 2 \times \left(\frac{31,6}{3600} \right)^2 + 9168539,8 \times 0,10124 \times \left(\frac{31,6}{3600} \right)^2$$

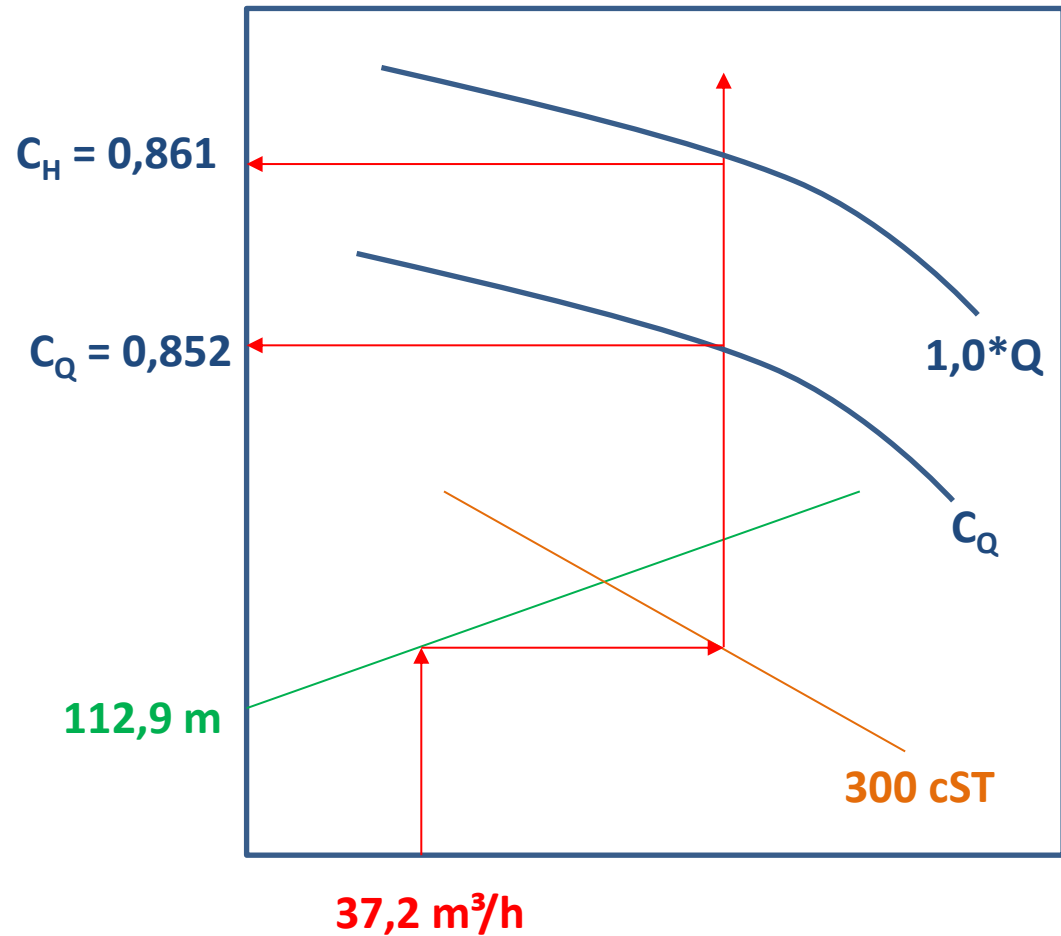
$$H_{B_{\text{projeto}}} \cong 97,1\text{m}$$

Obtendo os
coeficientes de
correção



Calculando os valores correspondentes para a água e verificando se precisam ser corrigidos

$$Q_a = \frac{31,6}{0,85} \cong 37,2 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}; H_{Ba} = \frac{97,1}{0,86} \cong 112,9\text{m}$$



Não há necessidade
de correção já que as
diferenças ficaram
abaixo de 2%



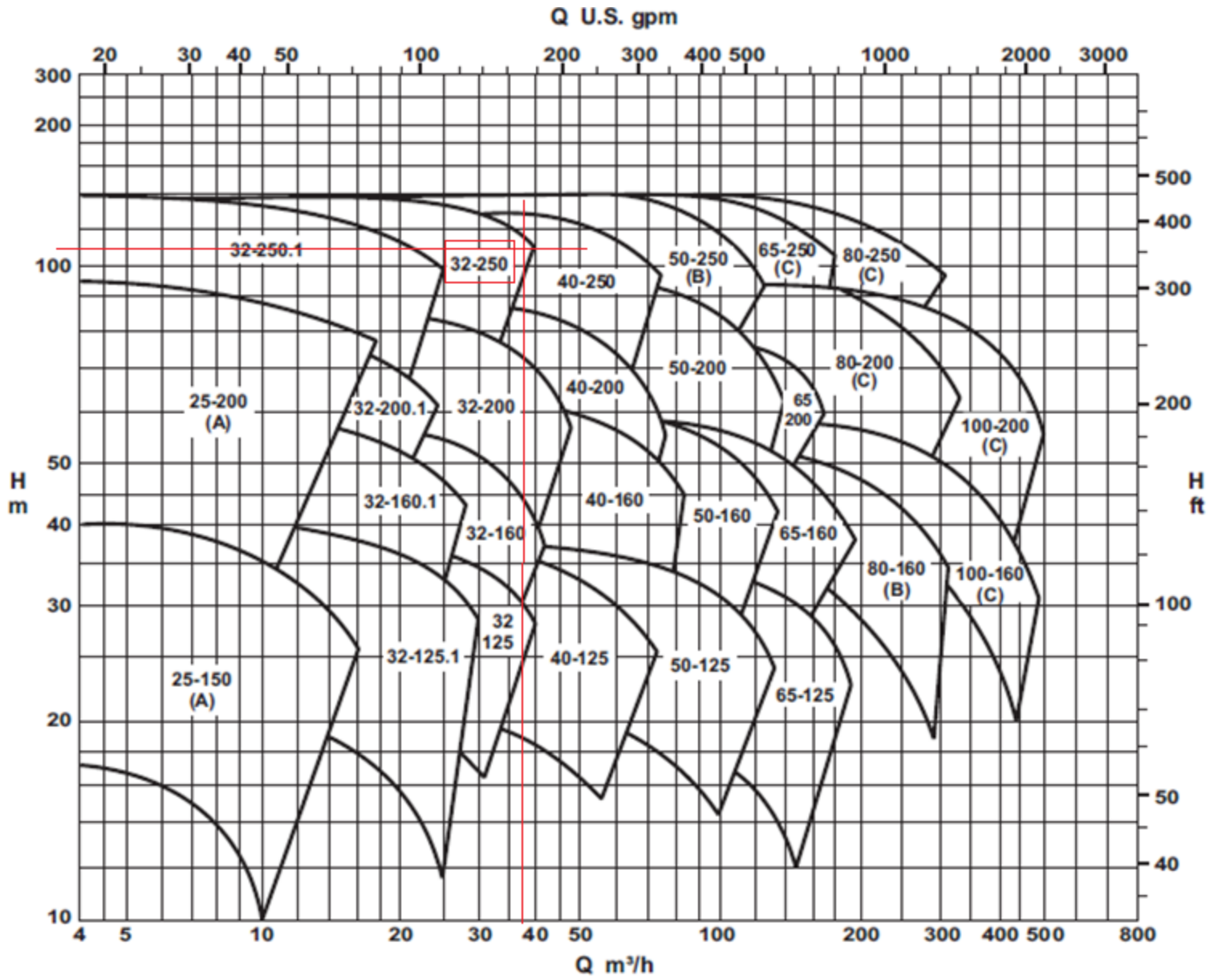
$$\Delta C_Q = \left(1 - \frac{0,85}{0,852}\right) \times 100 \cong 0,235\%$$

$$\Delta C_H = \left(1 - \frac{0,86}{0,861}\right) \times 100 \cong 0,116\%$$



Escolho a bomba
com os valores
correspondentes aos
de projeto, porém
para a água.





(A) Somente para KSB Meganorm e KSB Megabloc.

(B) Somente para KSB Meganorm, KSB Megachem e KSB Megachem V.

3.500 rpm



Com a bomba escolhida, marcando os pontos sobre as curvas fornecidas pelo fabricante podemos especificar o diâmetro do rotor.

E aí ler seus pontos que permitirão representar as curvas no Excel.



Bomba Tipo
Pump Type
Tipo de Bomba

KSB MEGANORM
KSB MEGABLOC
KSB MEGACHEM
KSB MEGACHEM V

Tamanho
Size
Tamaño

32-250



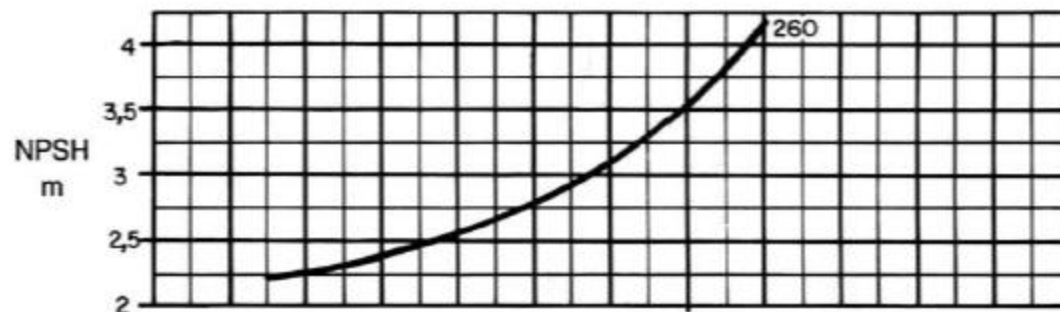
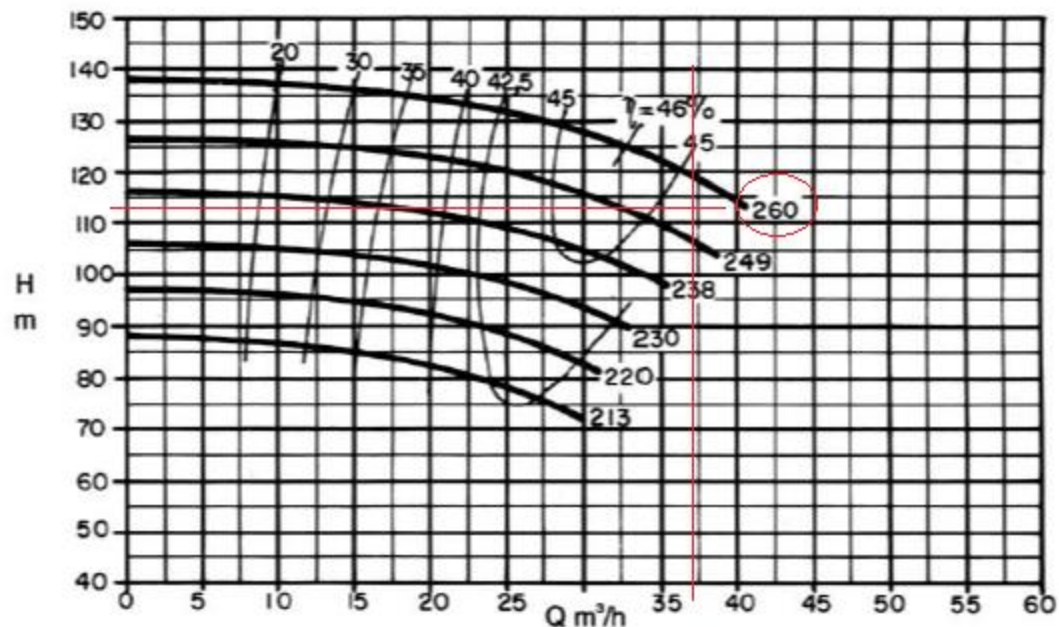
Oferta n°
Project - No.
Oferta - n°

Item n°
Item - No.
Pos - n°

Velocidade Nominal
Nom. Rotative Speed
Velocidad Nominal

3500 rpm

Altura Manométrica
Head
Altura Manométrica



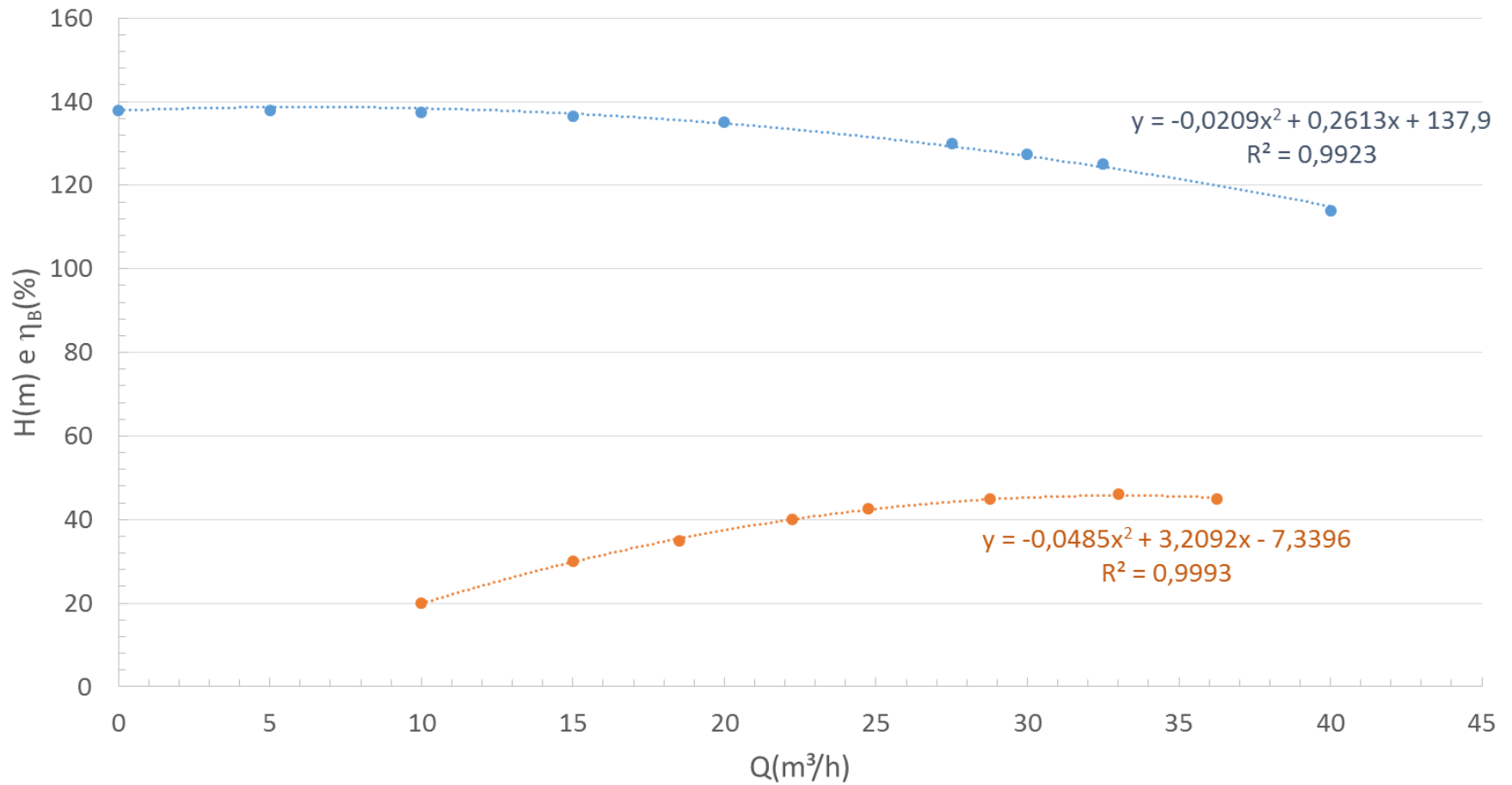
Q(m ³ /h)	HB(m)
0	137,9
5	137,9
10	137,5
15	136,5
20	135
27,5	130
30	127,5
32,5	125
40	114

Q(m ³ /h)	h _B (%)
10	20
15	30
18,5	35
22,25	40
24,75	42,5
28,75	45
33	46
36,25	45

Com as representações e considerando a vazão para o rendimento máximo, construímos a tabela de correção das curvas e as curvas corrigidas.



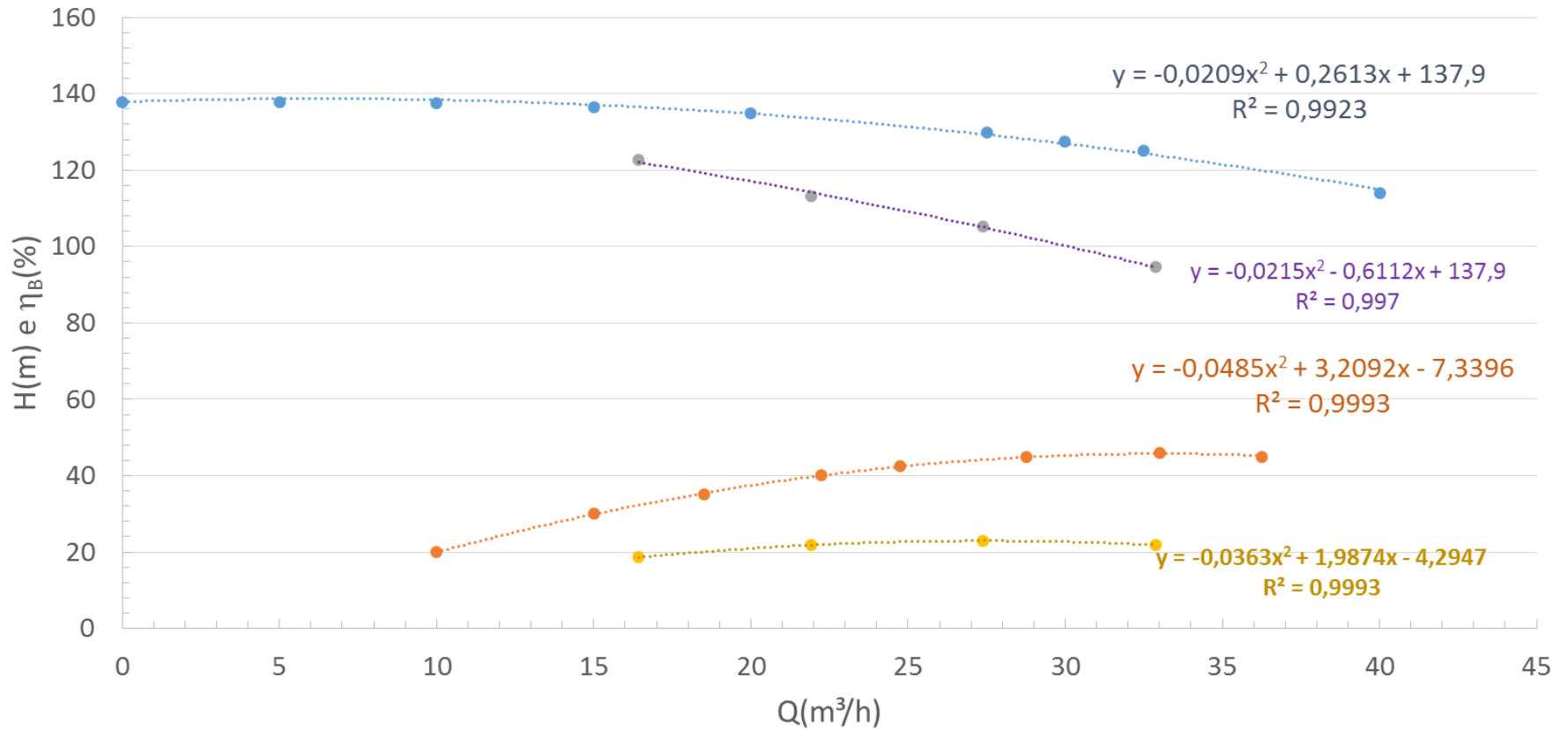
CCB



● HB(m) ● rendimento ● Polinômio (HB(m)) ● Polinômio (rendimento)

	0,6 * Q	0,8 * Q	1,0 * Q	1,2 * Q
Q(m ³ /h)	19,8	26,4	33	39,6
H _B (m)	134,9	130,2	123,8	115,5
η _B (%)	37,2	43,6	46	43,7
C _η	0,5	0,5	0,5	0,5
C _Q	0,83	0,83	0,83	0,83
C _H	0,91	0,87	0,85	0,82
Q _v (m ³ /h)	16,4	21,9	27,4	32,9
H _{Bv} (m)	122,7	113,3	105,2	94,7
η _{Bv} (%)	18,6	21,8	23,0	21,8

CCB



- HB(m)
- rendimento
- HB = f(Q) viscoso
- rend = f(Q) viscoso
- Polinômio (HB(m))
- Polinômio (rendimento)
- Polinômio (HB = f(Q) viscoso)
- Polinômio (rend = f(Q) viscoso)



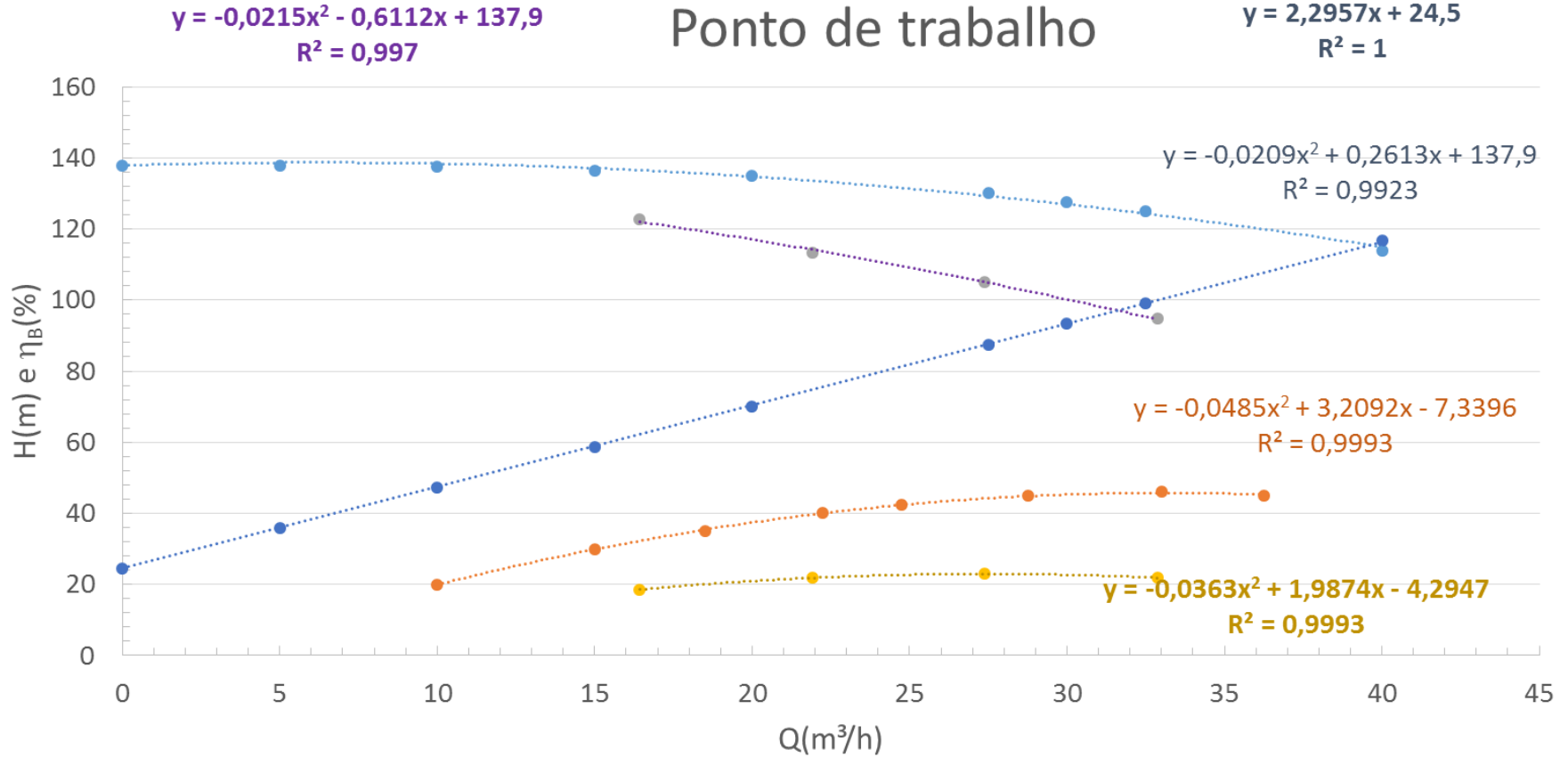
Agora é só obter o ponto de trabalho no cruzamento da CCI com a CCB.



Dados:								
		ρ (kg/m ³)	ν (cSt)	ν (m ² /s)				
	fluido	813	300	0,0003				
	tubo	material	D_N (pol)	D_{int} (mm)	A(cm ²)	K(m)		
		aço 80	2,5	59	27,3	4,60E-05		
	local	g (m/s ²)		projeto	f. seg	Q_{des} (m ³ /h)	Hest (m)	
		9,8			1,1	28,72	24,5	
					Q_{proj} (m ³ /h)	v_{proj} (m/s)	Re _{proj}	α
					31,6	3,21	632,2	2
					f_{proj}	H_{Bproj} (m)		
					0,1012	97,0		

Q(m ³ /h)	H _s (m)	v(m/s)	Re	α	f
0	24,5	0	0	2	0
5	35,8	0,509	100,1	2	0,640
10	47,2	1,0	200,1	2	0,320
15	58,7	1,5	300,2	2	0,213
20	70,2	2,0	400,2	2	0,160
27,5	87,5	2,8	550,3	2	0,116
30	93,3	3,1	600,3	2	0,107
32,5	99,2	3,3	650,4	2	0,098
40	116,7	4,1	800,4	2	0,080

Ponto de trabalho



- HB(m)
- rendimento
- HB = f(Q) viscoso
- rend = f(Q) viscoso
- CCI
- ⋯ Polinômio (HB(m))
- ⋯ Polinômio (rendimento)
- ⋯ Polinômio (HB = f(Q) viscoso)
- ⋯ Polinômio (rend = f(Q) viscoso)
- ⋯ Linear (CCI)

$$H_S = H_{B_{\text{visc}}} \Rightarrow 2,2957 \times Q + 24,5 = -0,0215 \times Q^2 - 0,6112 \times Q + 137,9$$

$$0,0215 \times Q^2 + 2,9069 \times Q - 113,4 = 0$$

$$Q_{\tau} = \frac{-2,9069 + \sqrt{2,9069^2 + 4 \times 0,0215 \times 113,4}}{2 \times 0,0215} \cong 31,62 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

$$H_{B_{\tau}} = 2,2957 \times 31,62 + 24,5 \cong 97,1\text{m}$$

$$\eta_{B_{\tau}} = -0,0363 \times 31,62^2 + 1,9874 \times 31,62 - 4,2947 \cong 22,3\%$$

$$N_{B_{\tau}} = \frac{813 \times 9,8 \times \left(\frac{31,62}{3600} \right) \times 97,1}{0,223} \cong 30471,3\text{W}$$

O NPSH_{req} será considerado o da água que para a vazão de $31,62 \text{ m}^3/\text{h}$ é aproximadamente igual a $3,3 \text{ m}$