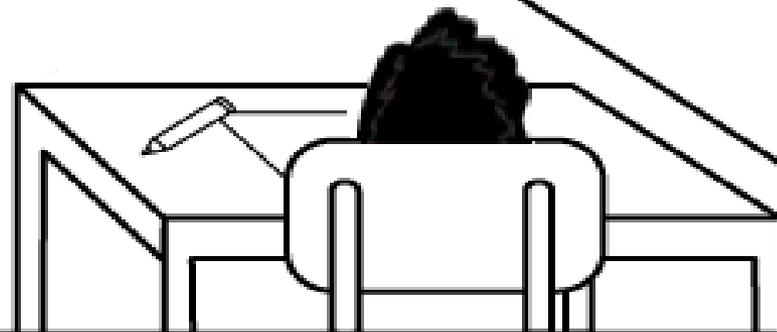
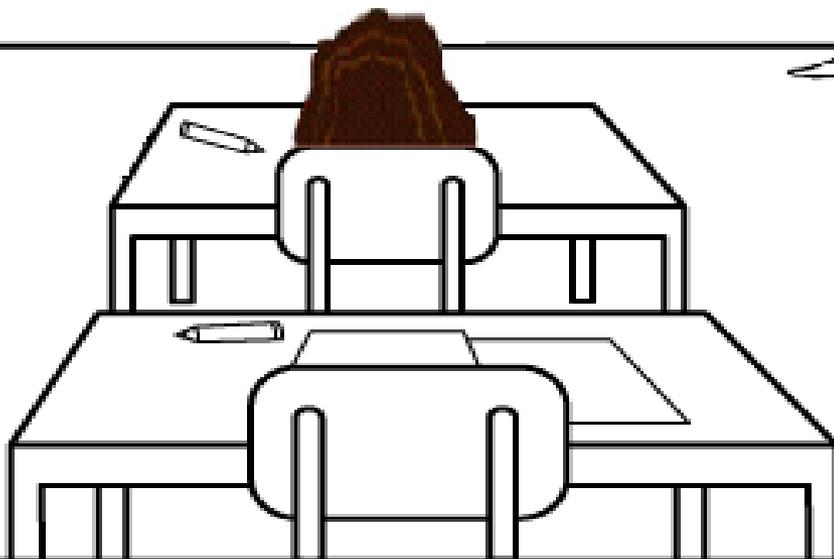


Primeiro semestre de 2012
Mecânica dos Fluidos para a
engenharia química
Aula 4 de teoria





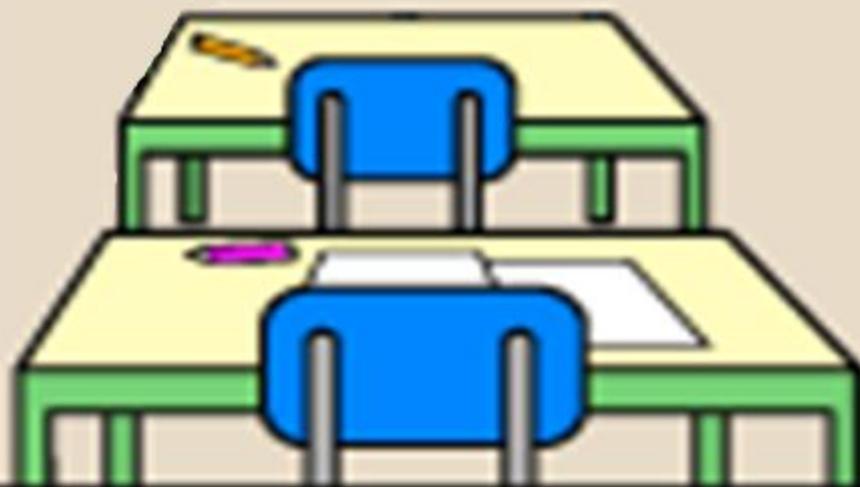
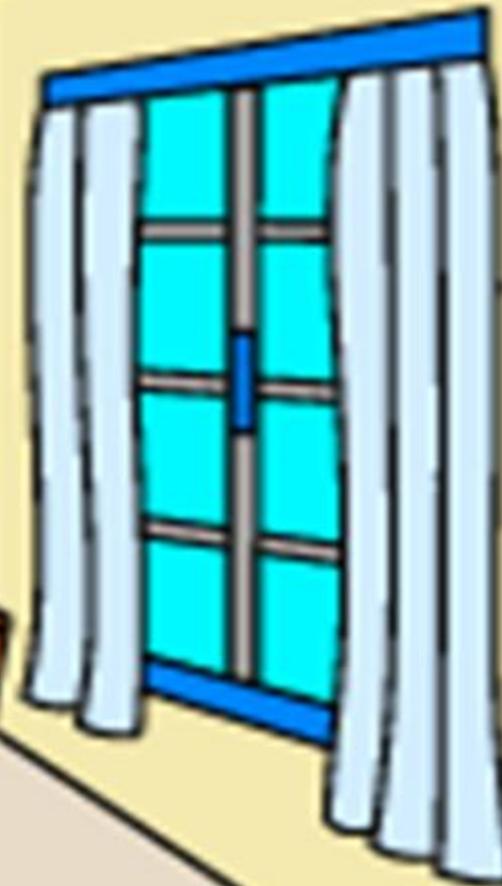
Escolha da bomba para um fluido viscoso.

LEGO

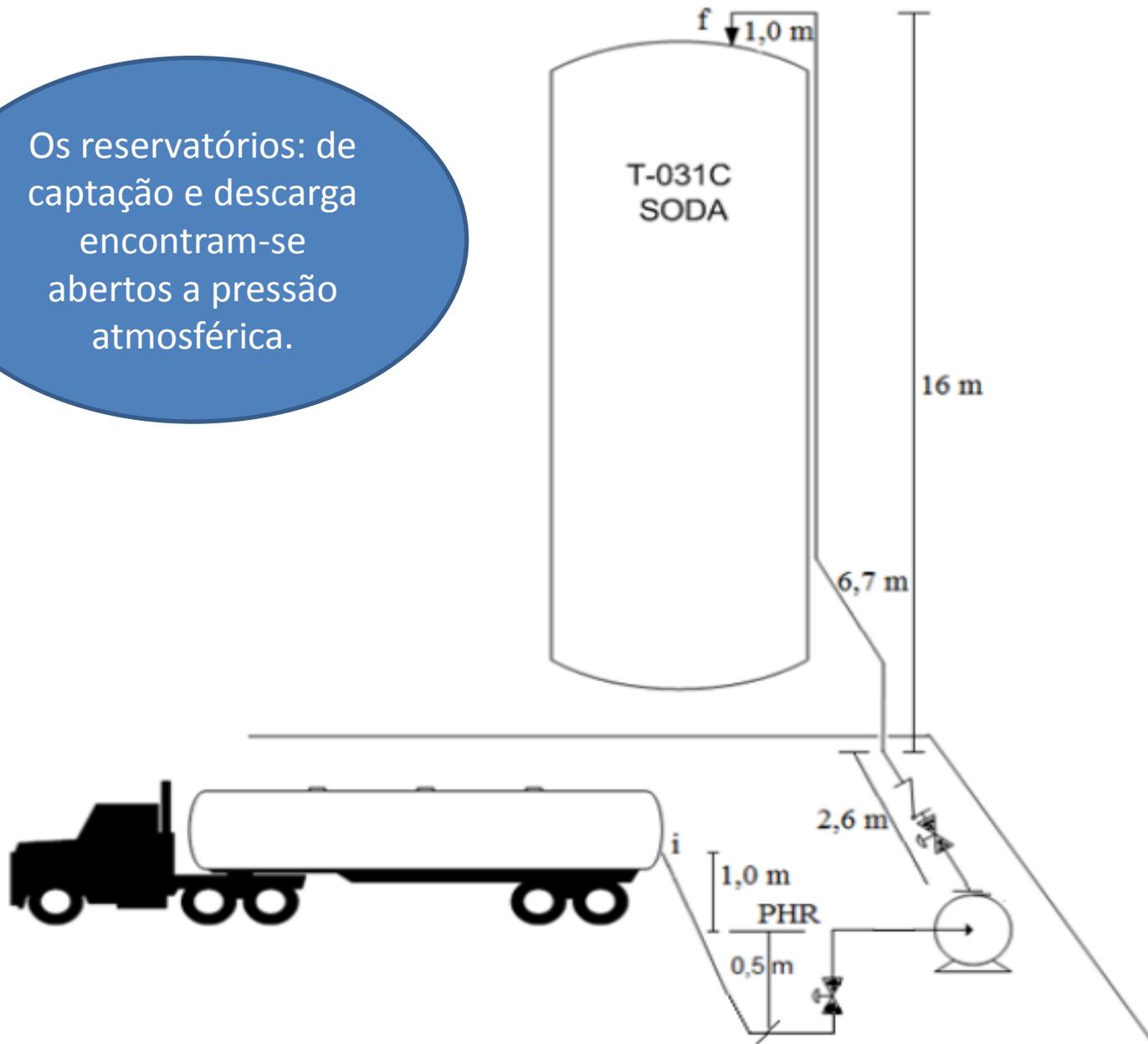
Vamos evocar o exercício desenvolvido na segunda aula de teoria.



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.



$$H_s = 15 + 756,94 \times \alpha_f \times Q^2 + (f_{5''} \times 143465,74 + f_{4''} \times 572694,41) \times Q^2$$

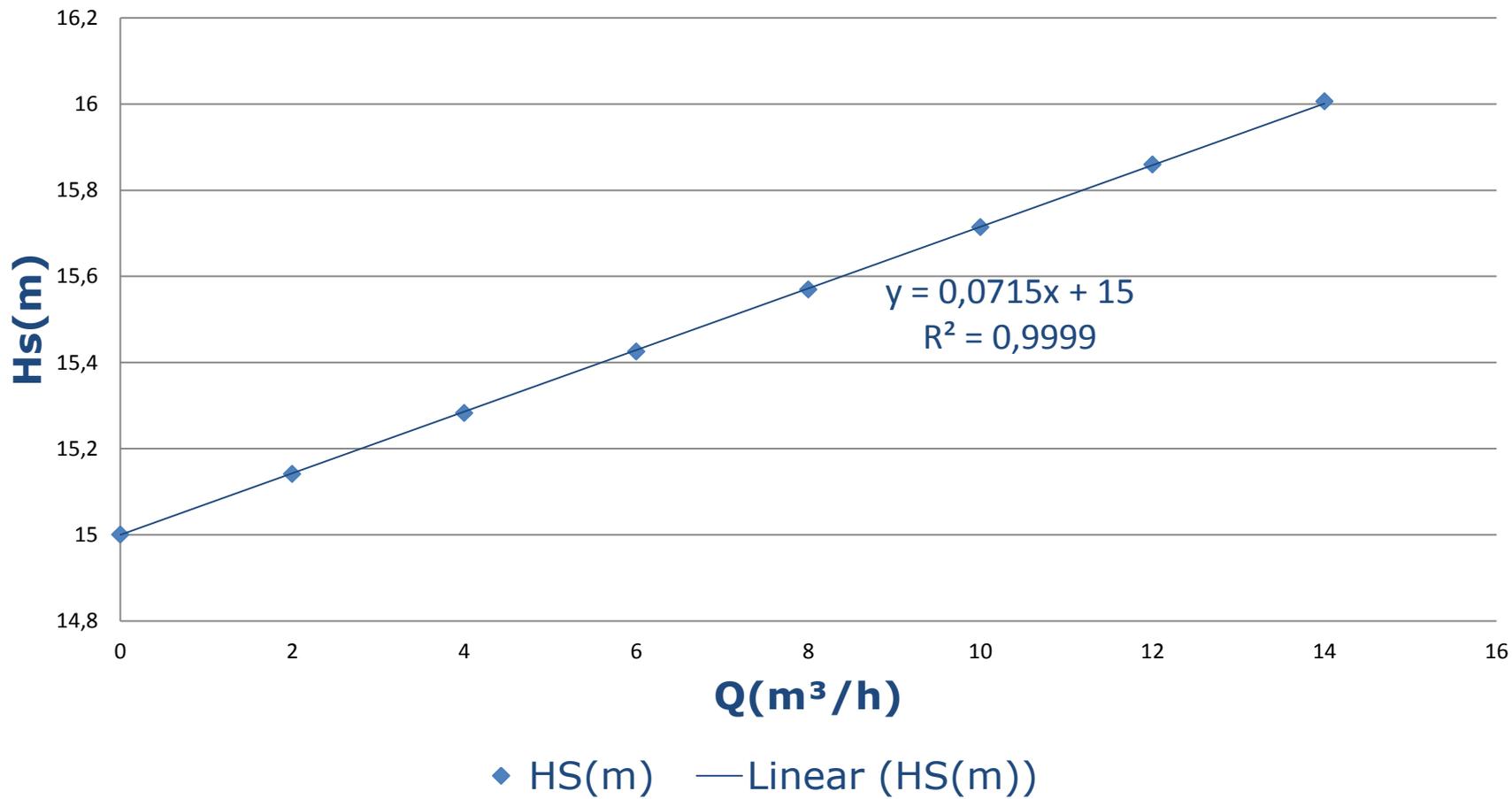
**Importante
observar que
existe um termo
que não depende
da vazão e que é
denominado de
carga estática
(H_{est})**

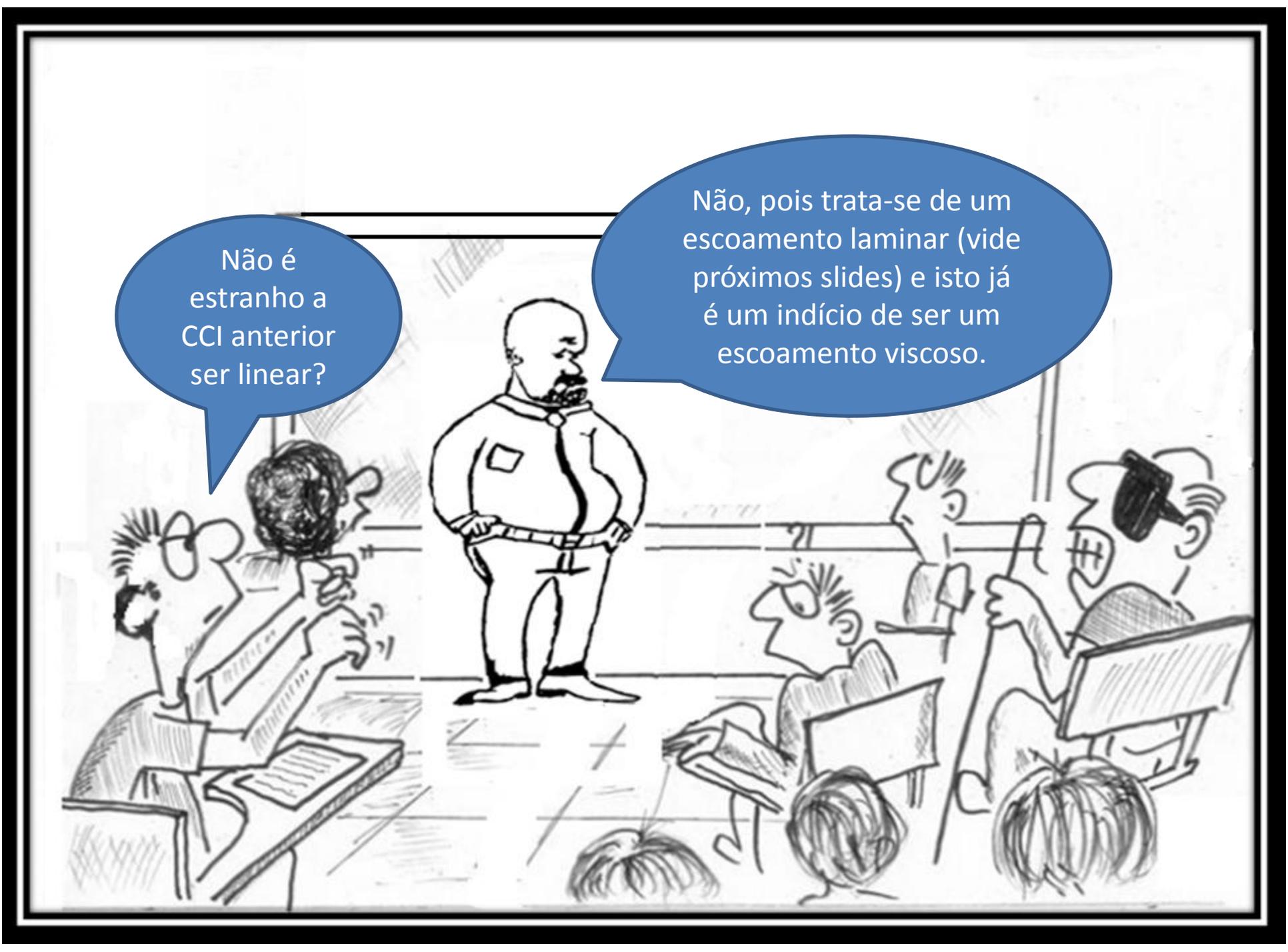
$$H_{estática} = H_{est} = 15m$$

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



cci



A black and white cartoon illustration of a lecture hall. A lecturer with a beard and a white shirt stands in the center, looking towards the students. On the left, a student with glasses is sitting at a desk, looking towards the lecturer. On the right, a student with glasses is sitting at a desk, looking towards the lecturer. In the foreground, the heads of several other students are visible. Two blue speech bubbles are overlaid on the image, containing text in Portuguese.

Não é estranho a CCI anterior ser linear?

Não, pois trata-se de um escoamento laminar (vide próximos slides) e isto já é um indício de ser um escoamento viscoso.

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 | | |
| espessura | Dint (mm) | A (cm ²) |
| 40 | 128,3 | 129,3 |
| K(m) | DH/k | |
| 4,60E-05 | 2789 | |



| |
|-------------------|
| Q |
| m ³ /h |
| 2,0 |
| 4,0 |
| 6,0 |
| 8,0 |
| 10,0 |
| 12,0 |
| 14,0 |

| Q(m ³ /h) | v(m/s) | Re | f_{Haaland} | f _{Swamee e Jain} | f _{Churchill} | f _{planilha} | f _{calculado} |
|----------------------|--------|-----|--------------------------------|----------------------------|------------------------|-----------------------|------------------------|
| 2,0 | 0,04 | 84 | 0,2612 | 0,7588 | 0,7588 | 0,7583 | 0,7588 |
| 4,0 | 0,09 | 169 | 0,1602 | 0,3794 | 0,3794 | 0,3792 | 0,3794 |
| 6,0 | 0,13 | 253 | 0,1262 | 0,2529 | 0,2529 | 0,2528 | 0,2529 |
| 8,0 | 0,17 | 337 | 0,1083 | 0,1897 | 0,1897 | 0,1896 | 0,1897 |
| 10,0 | 0,21 | 422 | 0,0968 | 0,1518 | 0,1518 | 0,1517 | 0,1518 |
| 12,0 | 0,26 | 506 | 0,0888 | 0,1265 | 0,1265 | 0,1264 | 0,1265 |
| 14,0 | 0,30 | 590 | 0,0828 | 0,1084 | 0,1084 | 0,1083 | 0,1084 |

propriedades do fluido transportado

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

propriedades do local

g = 9,8 m/s²
 patm = 93325.66 Pa



| | | | | |
|---------------|-----------|-----------|----------------------|------------------------|
| | | | | Q m ³ /h |
| | | | | 2,0 |
| | | | | 4,0 |
| mat. tubo aço | | | | 6,0 |
| | espessura | Dint (mm) | A (cm ²) | 8,0 |
| | 40 | 102,3 | 82,1 | 10,0 |
| | | | | 12,0 |
| | K(m) | DH/k | | 14,0 |
| | 4,60E-05 | 2224 | | |

| Q(m ³ /h) | v(m/s) | Re | f_{Haaland} | f _{Swamee e Jain} | f _{Churchill} | f _{planilha} | f _{calculado} |
|----------------------|--------|-----|--------------------------------|----------------------------|------------------------|-----------------------|------------------------|
| 2,0 | 0,07 | 106 | 0,2195 | 0,6043 | 0,6043 | 0,6047 | 0,6043 |
| 4,0 | 0,14 | 212 | 0,1397 | 0,3021 | 0,3021 | 0,3023 | 0,3021 |
| 6,0 | 0,20 | 318 | 0,1117 | 0,2014 | 0,2014 | 0,2016 | 0,2014 |
| 8,0 | 0,27 | 424 | 0,0967 | 0,1511 | 0,1511 | 0,1512 | 0,1511 |
| 10,0 | 0,34 | 530 | 0,0870 | 0,1209 | 0,1209 | 0,1209 | 0,1209 |
| 12,0 | 0,41 | 635 | 0,0801 | 0,1007 | 0,1007 | 0,1008 | 0,1007 |
| 14,0 | 0,47 | 741 | 0,0750 | 0,0863 | 0,0863 | 0,0864 | 0,0863 |

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.

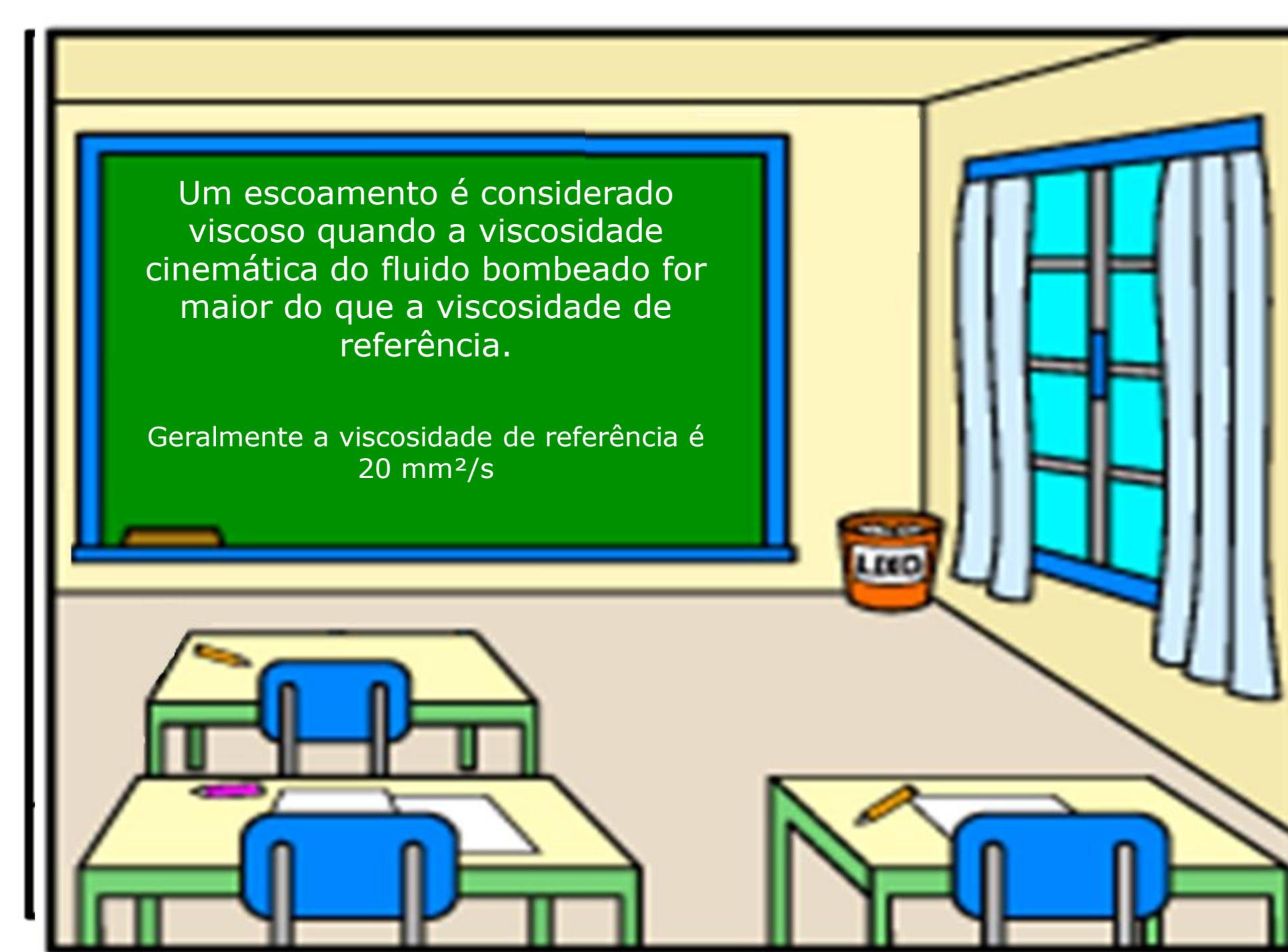
$$H_S = H_{\text{est}} + \frac{64}{\text{Re}} \times \frac{(L + \sum \text{Leq})}{D_H} \times \frac{Q^2}{2g \times A^2}$$

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

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

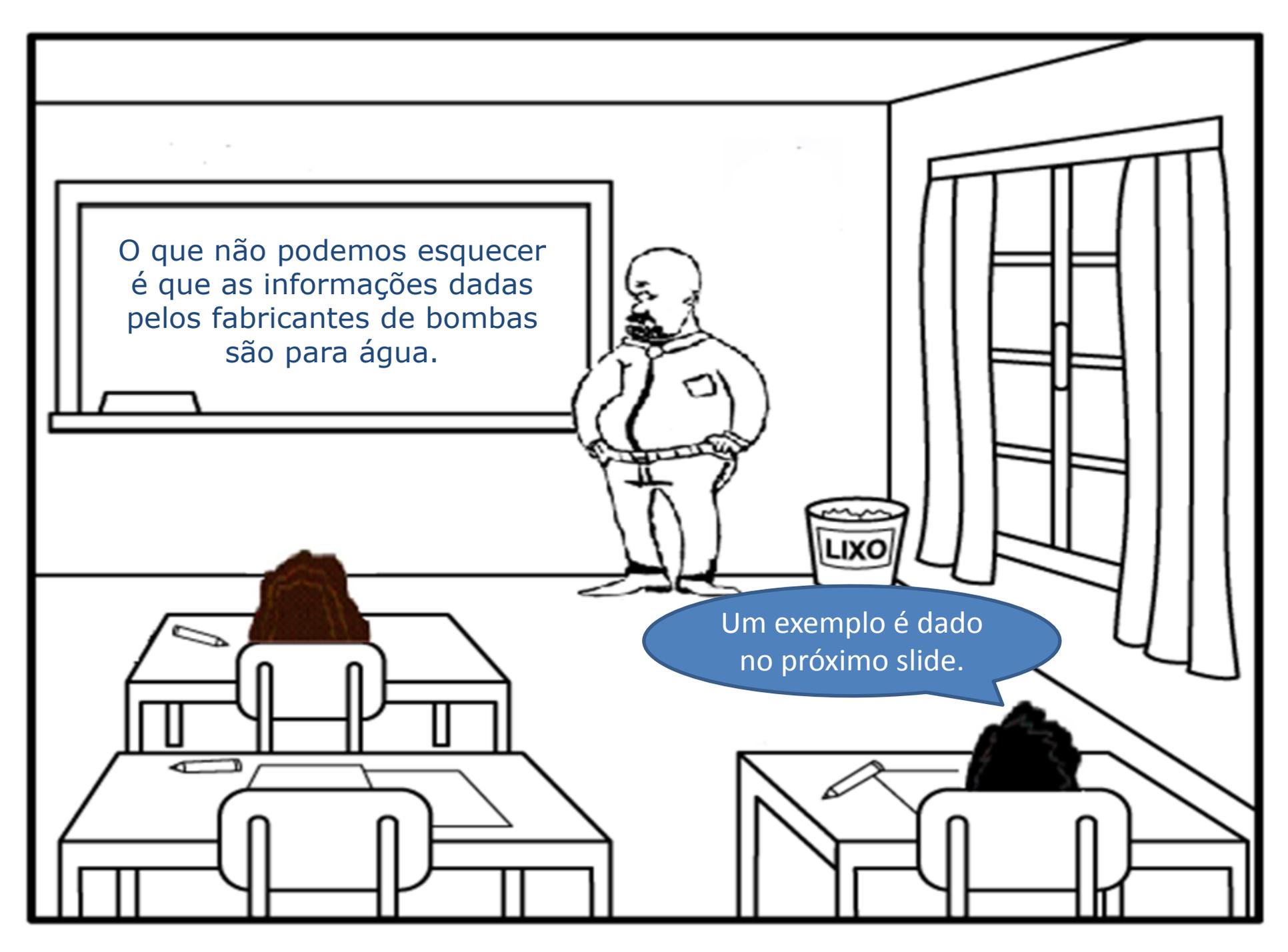
$$H_S = H_{\text{est}} + 16 \times \pi \times v \times (L + \sum \text{Leq}) \times \frac{Q}{2g \times A^2}$$

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



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

Geralmente a viscosidade de referência é $20 \text{ mm}^2/\text{s}$



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

Um exemplo é dado
no 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.

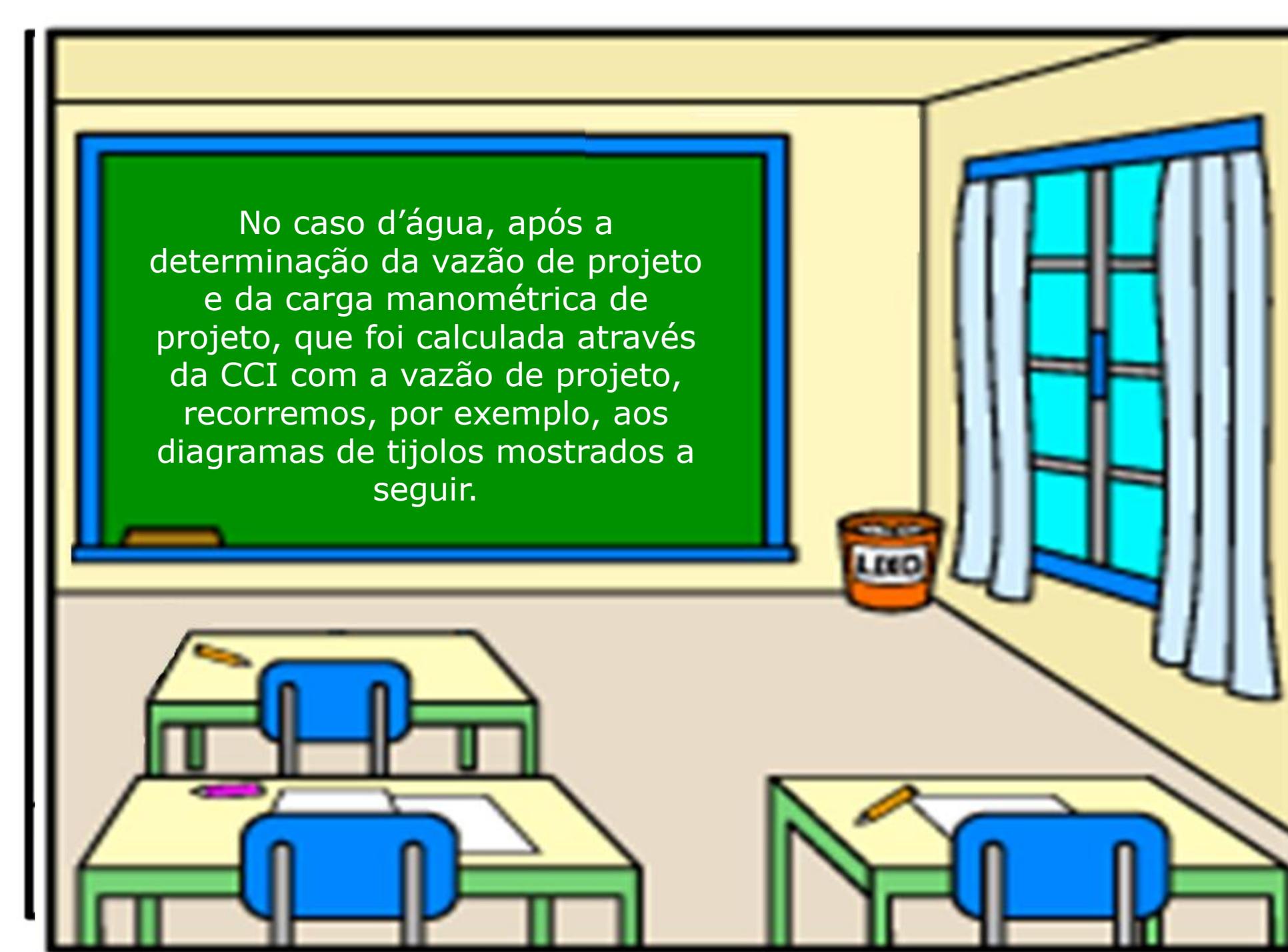
- Garantia das características de funcionamento conforme ISO 9906 anexo "A".
- Os valores de altura manométrica e vazão são válidos para fluídos com densidade $\rho = 1,0 \text{ kg/dm}^3$ e viscosidade cinemática máxima $\nu = 20 \text{ mm}^2/\text{s}$.
- Se a densidade for $\neq 1,0 \text{ kg/dm}^3$ 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 $20 \text{ mm}^2/\text{s}$.



No caso d'água, após a determinação da vazão de projeto e da carga manométrica de projeto, que foi calculada através da CCI com a vazão de projeto, recorreremos, por exemplo, aos diagramas de tijolos mostrados a seguir.

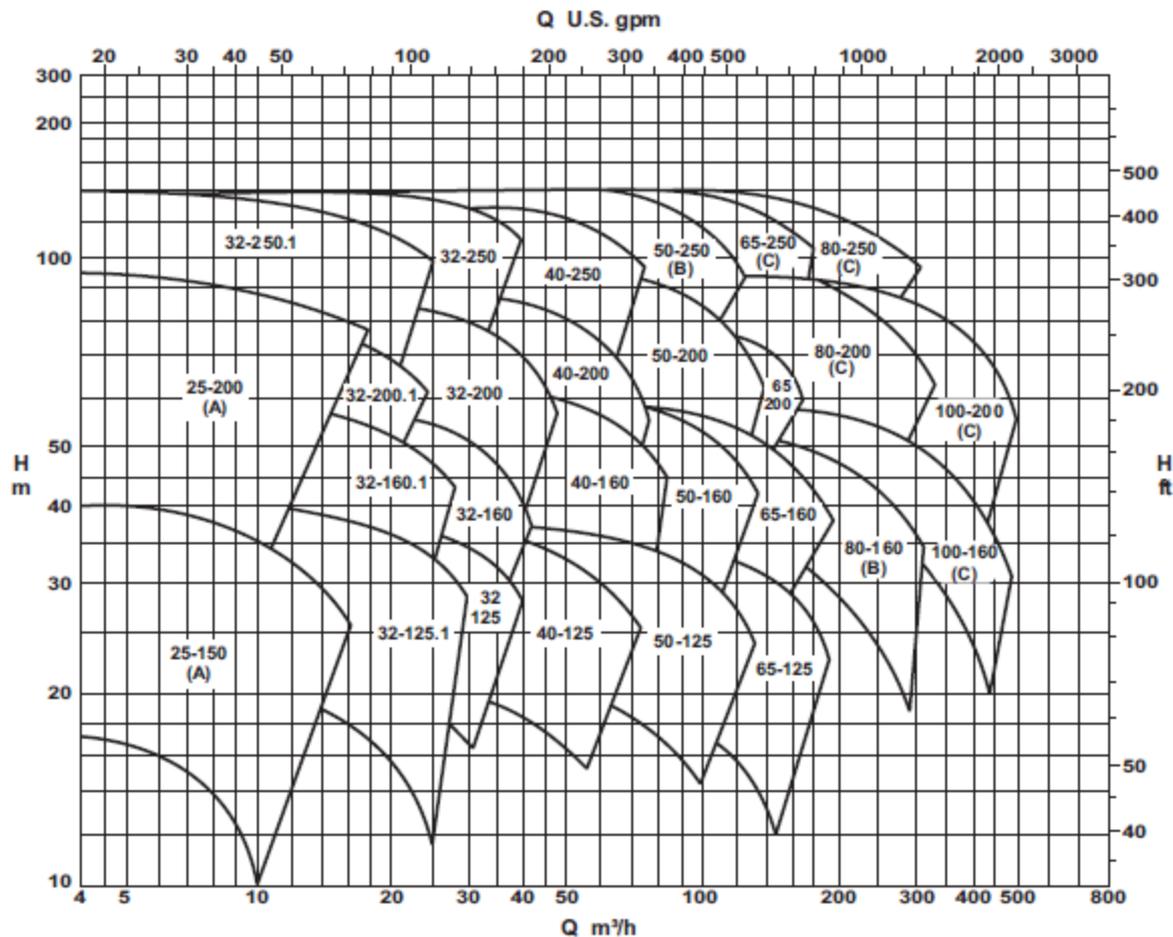


Bomba Tipo
Pump Type
Tipo de Bomba

KSB MEGANORM
KSB MEGABLOC
KSB MEGACHEM
KSB MEGACHEM V

Campo de Aplicação
Selection Charts
Campo de Aplicación

60 Hz



(A) Somente para KSB Meganorm e KSB Megabloc.

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

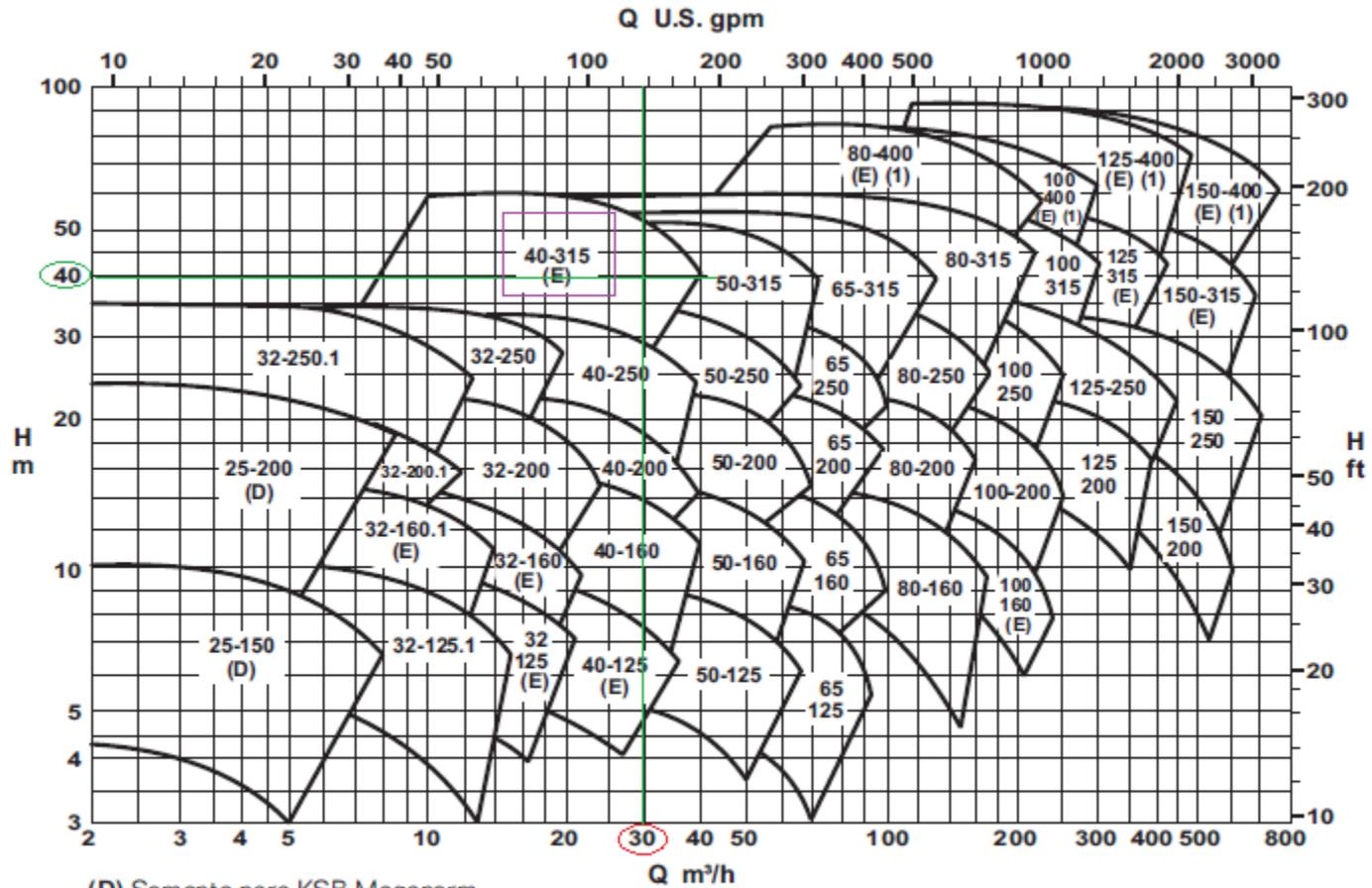
(C) Somente para KSB Meganorm e KSB Megachem.

3.500 rpm

Q U.S. gpm

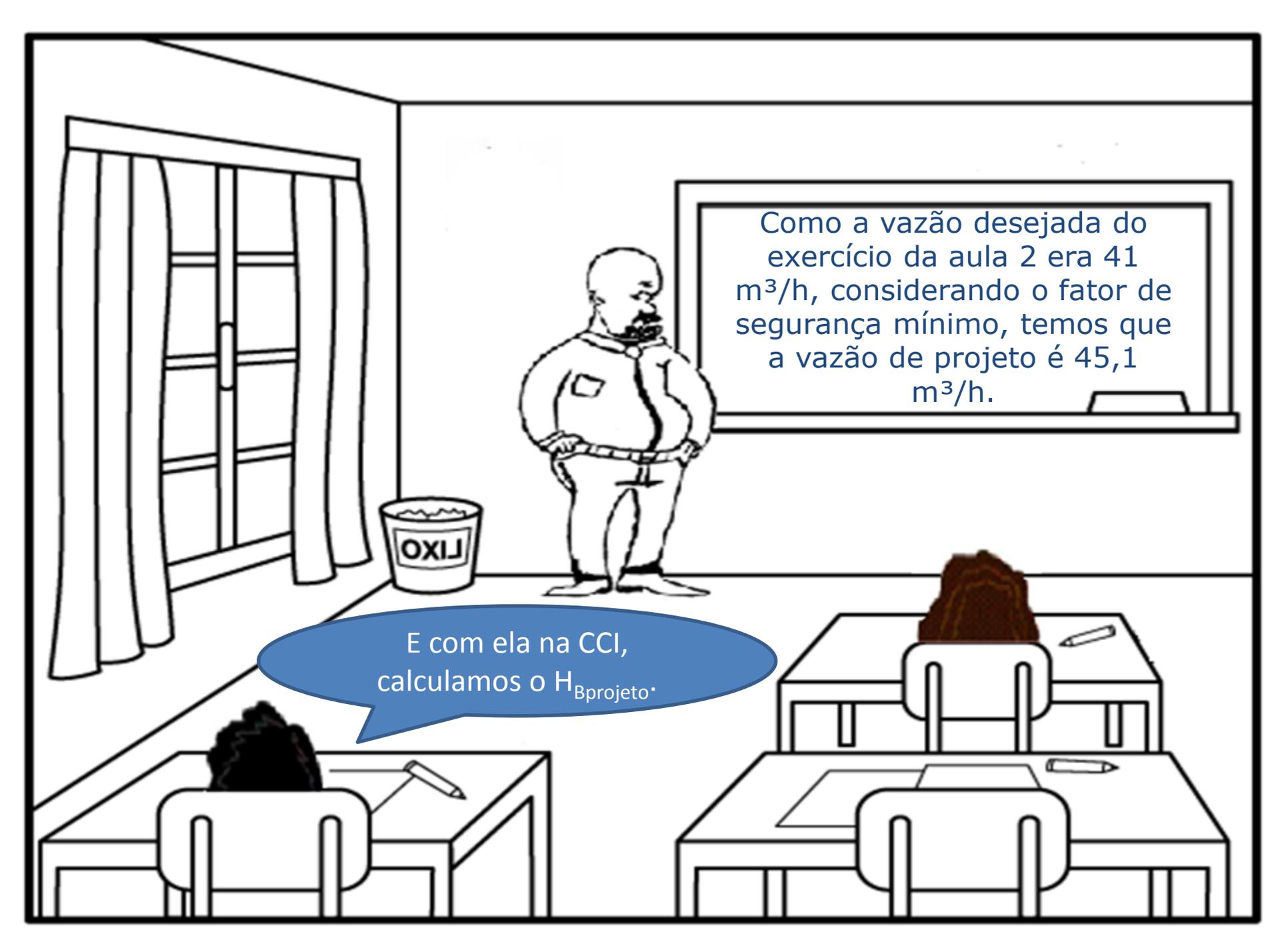
Exemplo:

$$Q_{\text{projeto}} = 30 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \Rightarrow H_{B_{\text{projeto}}} = 40\text{m}$$



- (D) Somente para KSB Meganorm.
- (E) Somente para KSB Meganorm e KSB Megachem.
- (1) Sob consulta para KSB Megachem V.

1.750 rpm



Como a vazão desejada do exercício da aula 2 era $41 \text{ m}^3/\text{h}$, considerando o fator de segurança mínimo, temos que a vazão de projeto é $45,1 \text{ m}^3/\text{h}$.

E com ela na CCI, calculamos o H_{projeto} .

propriedades do fluido transportado

| temp (°C) | μ (kg/ms) | r (kg/m ³) | p_v (Pa) | v (m ² /s) |
|-----------|---------------|--------------------------|------------|-------------------------|
| 20 | 1,00E-01 | 1530 | 1866,513 | 6,536E-05 |

propriedades do local

| | | |
|--------|----------|------------------|
| g = | 9,8 | m/s ² |
| patm = | 93325.66 | Pa |



| | | | |
|---------------------|-------|----------------------|--|
| mat. tubo | | | |
| aço | | | |
| espessura Dint (mm) | | A (cm ²) | |
| 40 | 128,3 | 129,3 | |
| K(m) | | DH/k | |
| 4,60E-05 | | 2789 | |

Q
m³/h
45,1

| Q(m ³ /h) | v(m/s) | Re | $f_{Haaland}$ | $f_{Swamee e Jain}$ | $f_{Churchill}$ | $f_{planilha}$ | $f_{experimental}$ |
|----------------------|--------|------|---------------|---------------------|-----------------|----------------|--------------------|
| 45,1 | 0,97 | 1902 | 0,0520 | 0,0337 | 0,0337 | 0,0336 | 0,0337 |

propriedades do fluido transportado

| temp (°C) | μ (kg/ms) | ρ (kg/m ³) | p_v (Pa) | v (m ² /s) |
|-----------|------------------|--------------------------------|------------|-------------------------|
| 20 | 1,00E-01 | 1530 | 1866,513 | 6,536E-05 |

propriedades do local

| | | |
|--------|----------|------------------|
| g = | 9,8 | m/s ² |
| patm = | 93325.66 | Pa |



| | | | | | | | |
|----------------------|--------|----------------|---------------|----------------------|-----------------|-------------------|--------------------|
| mat. tubo | | | | | | | Q |
| aço | | | | | | | |
| | | espessura | Dint (mm) | A (cm ²) | | m ³ /h | |
| | | 40 | 102,3 | 82,1 | | | |
| | | K(m) | DH/k | | | | |
| | | 4,60E-05 | 2224 | | | | |
| | | f_{Swamee} e | | | | | |
| Q(m ³ /h) | v(m/s) | Re | $f_{Haaland}$ | Jain | $f_{Churchill}$ | $f_{planilha}$ | $f_{experimental}$ |
| 45,1 | 1,53 | 2388 | 0,0481 | 0,0320 | 0,0325 | 0,0471 | 0,0268 |

$$H_s = H_{B_{\text{projeto}}} = 15 + 756,94 \times \alpha_f \times Q^2 + (f_{5''} \times 143465,74 + f_{4''} \times 572694,41) \times Q^2$$

$$H_s = H_{B_{\text{projeto}}} = 15 + 756,94 \times 2 \times \left(\frac{45,1}{3600} \right)^2 + (0,0337 \times 143465,74 + 0,0471 \times 572694,41) \times \left(\frac{45,1}{3600} \right)^2$$

$$H_s = H_{B_{\text{projeto}}} \cong 20,23\text{m} \approx 21\text{m}$$

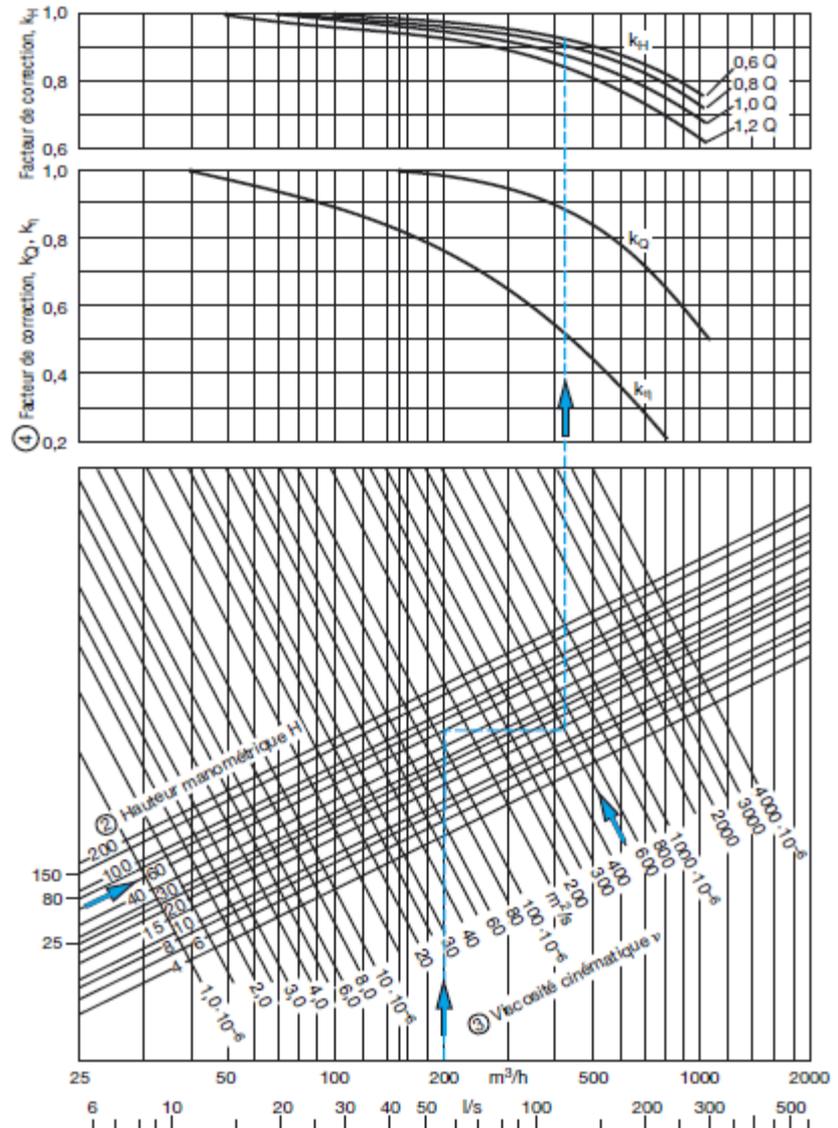
Tanto a vazão de projeto, como a carga manométrica de projeto foram determinadas para a soda cáustica 50% que é considerada viscosa.



$$v_{\text{soda_cáustica_50\%}} = 6,54 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{s}} = 65,4 \frac{\text{mm}^2}{\text{s}}$$

$$\therefore v_{\text{soda_cáustica_50\%}} > 20 \frac{\text{mm}^2}{\text{s}}$$

Para obtenção dos coeficientes CH e CQ, os quais permitiram achar a Q_{proj} e H_{Bproj} para água



Entra-se no gráfico com a vazão do líquido viscoso ($Q_v = Q_{projeto}$) e subindo até a carga manométrica viscosa ($H_{Bv} = H_{Bprojeto}$) e levando-se em uma horizontal até a viscosidade do fluido, obtém-se os coeficientes de correção C_Q e C_H que no caso é obtido considerando a $Q_{projeto} = 1.0 * Q$.

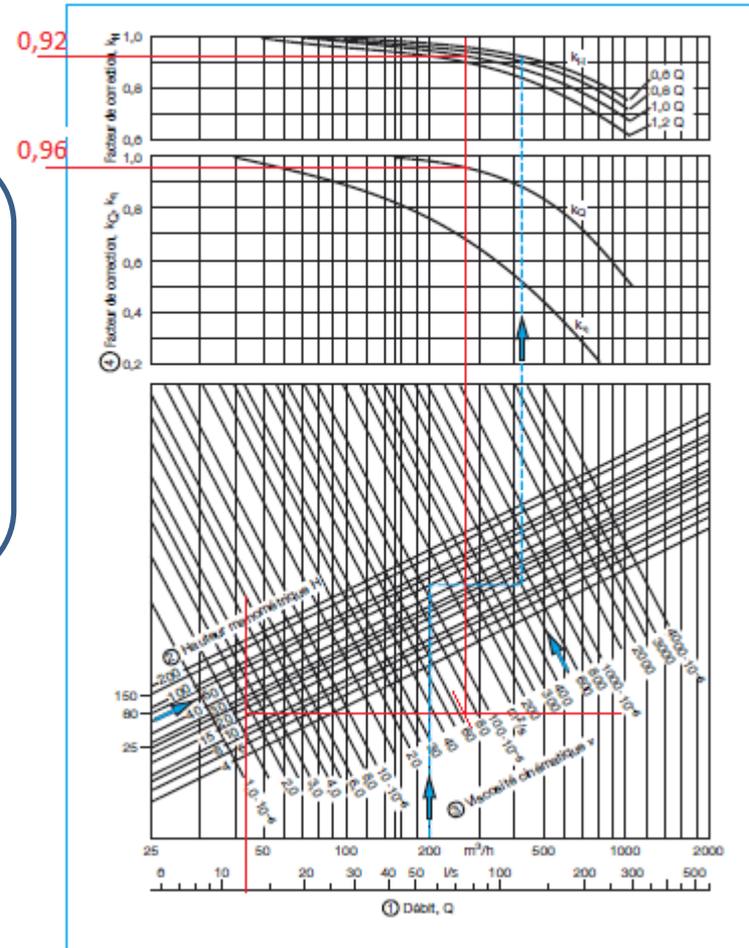
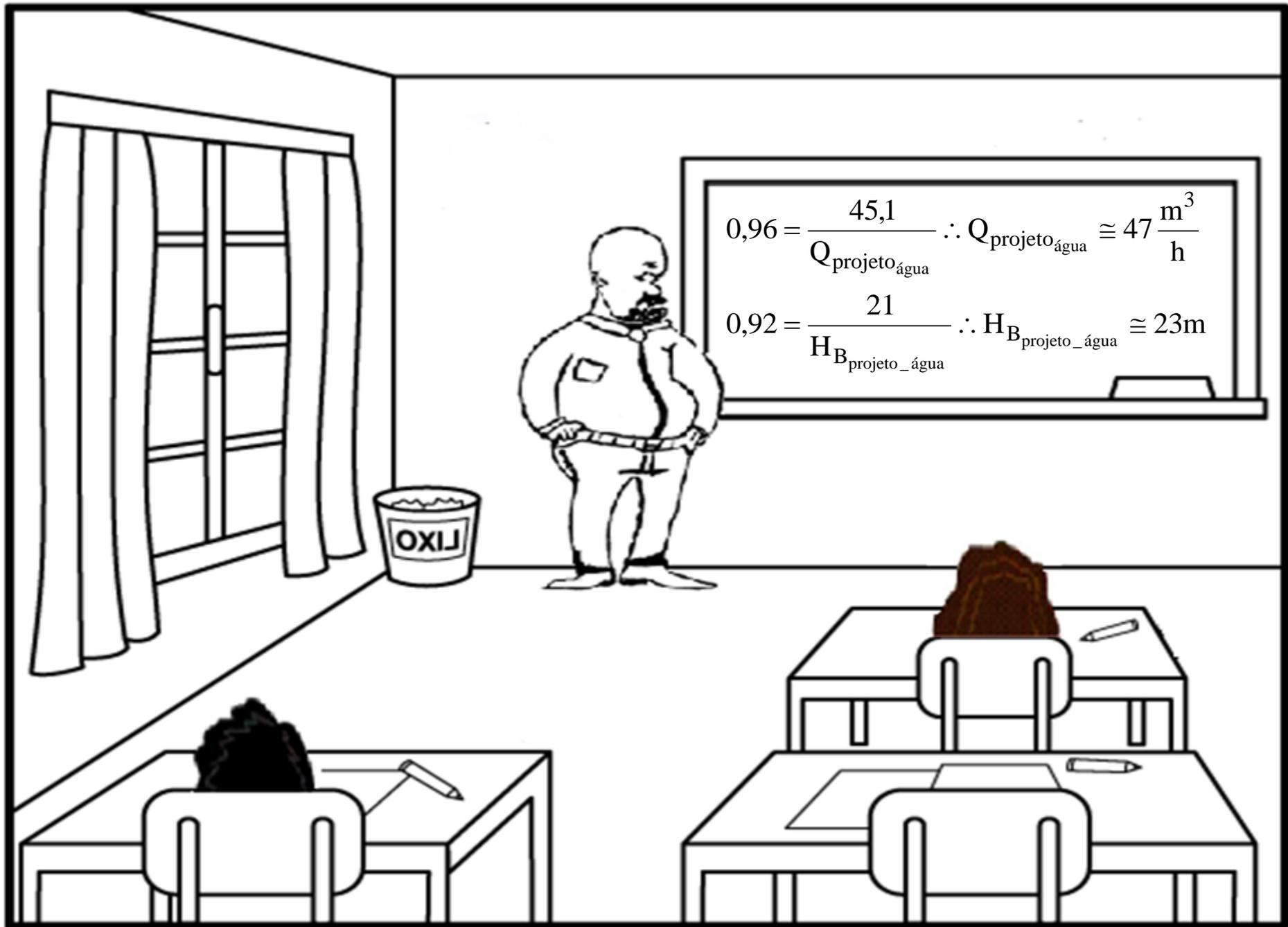


Figure 49 : Détermination des facteurs de correction, k , selon les normes de l'Hydraulic Institute.
Exemple illustré : $Q = 200 \text{ m}^3/\text{h}$, $H = 57,5 \text{ m}$, $\nu = 500 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$



$$0,96 = \frac{45,1}{Q_{\text{projeto}_{\text{água}}}} \therefore Q_{\text{projeto}_{\text{água}}} \cong 47 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

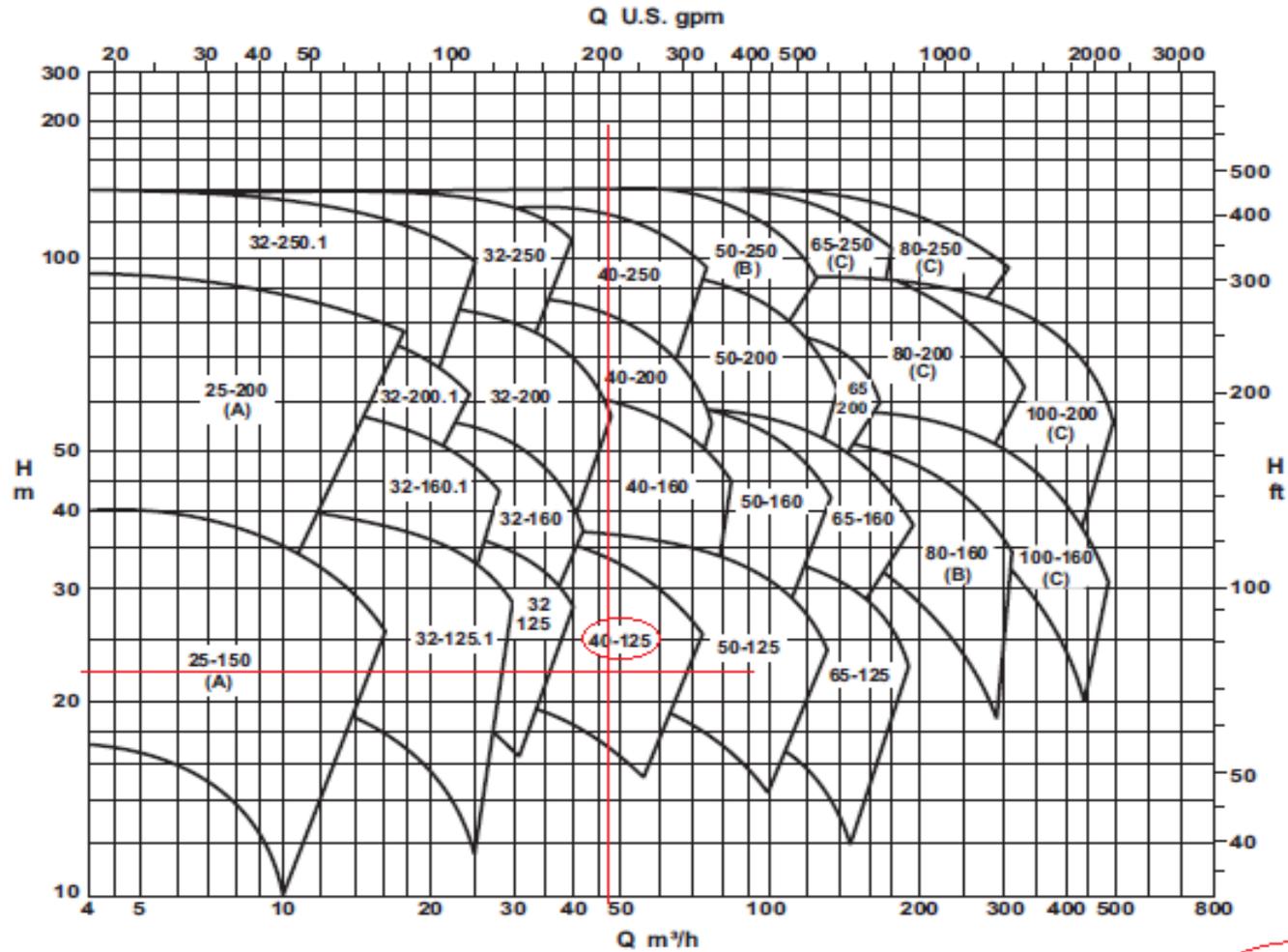
$$0,92 = \frac{21}{H_{B_{\text{projeto}_{\text{água}}}}} \therefore H_{B_{\text{projeto}_{\text{água}}}} \cong 23\text{m}$$

Bomba Tipo
Pump Type
Tipo de Bomba

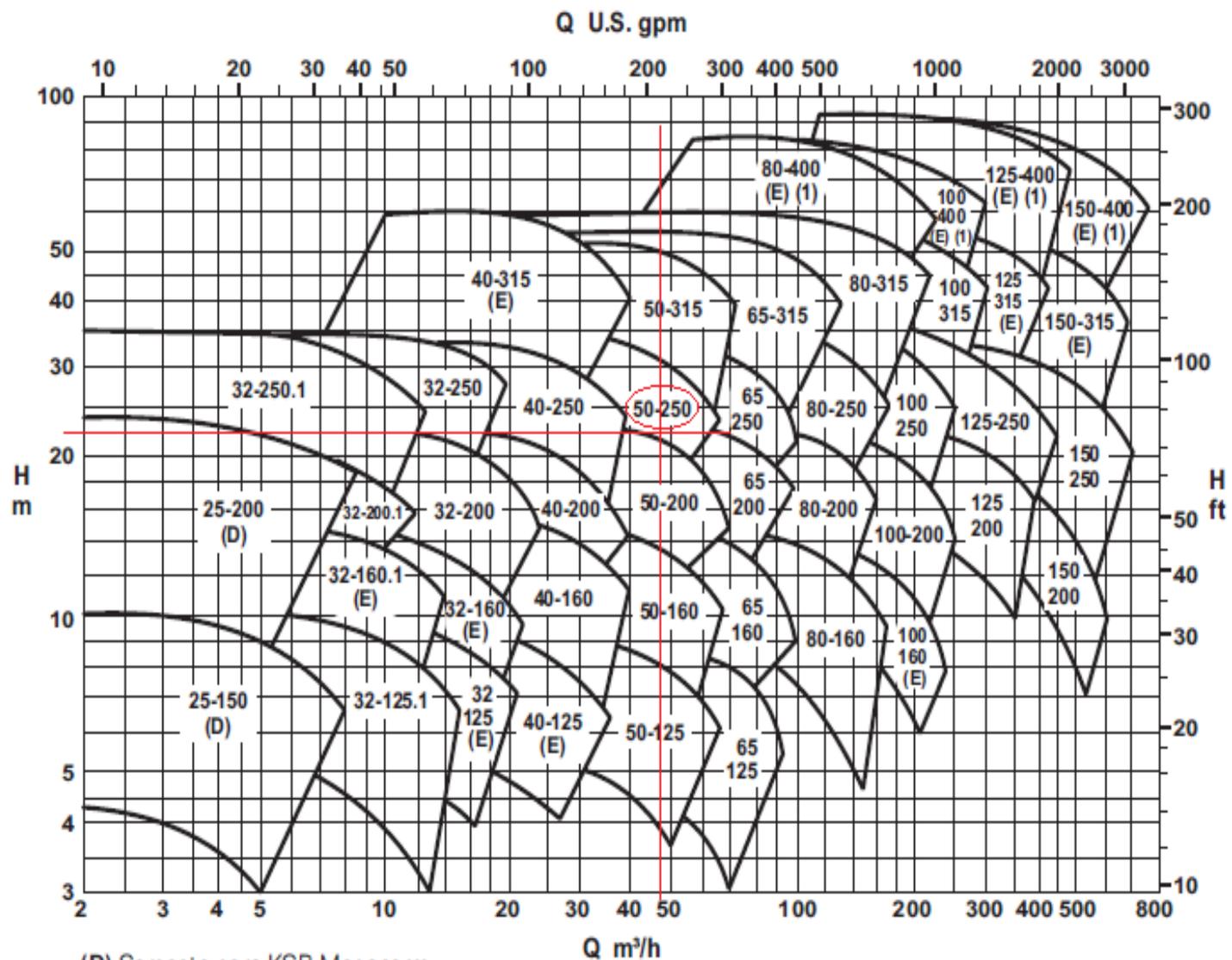
KSB MEGANORM
KSB MEGABLOC
KSB MEGACHEM
KSB MEGACHEM V

Campo de Aplicação
Selection Charts
Campo de Aplicación

60 Hz



- (A) Somente para KSB Meganorm e KSB Megabloc.
- (B) Somente para KSB Meganorm, KSB Megachem e KSB Megachem V.
- (C) Somente para KSB Meganorm e KSB Megachem.



- (D) Somente para KSB Meganorm.
- (E) Somente para KSB Meganorm e KSB Megachem.
- (1) Sob consulta para KSB Megachem V.

1.750 rpm

Bomba Tipo **KSB MEGANORM**
 Pump Type **KSB MEGABLOC**
 Tipo de Bomba **KSB MEGACHEM**
KSB MEGACHEM V

Tamanho Size **40-125**
 Tamanho



Oferta nº _____
 Project - No. _____
 Oferta - nº _____

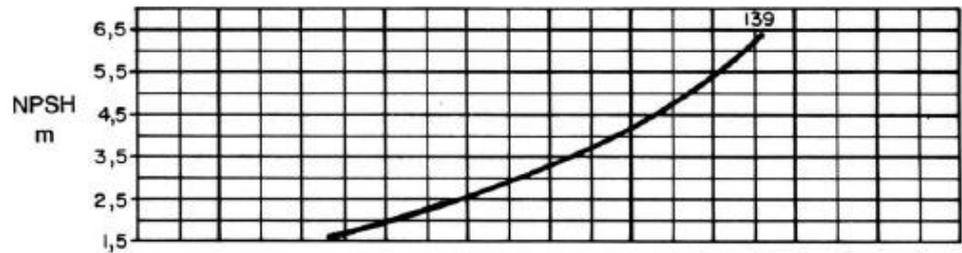
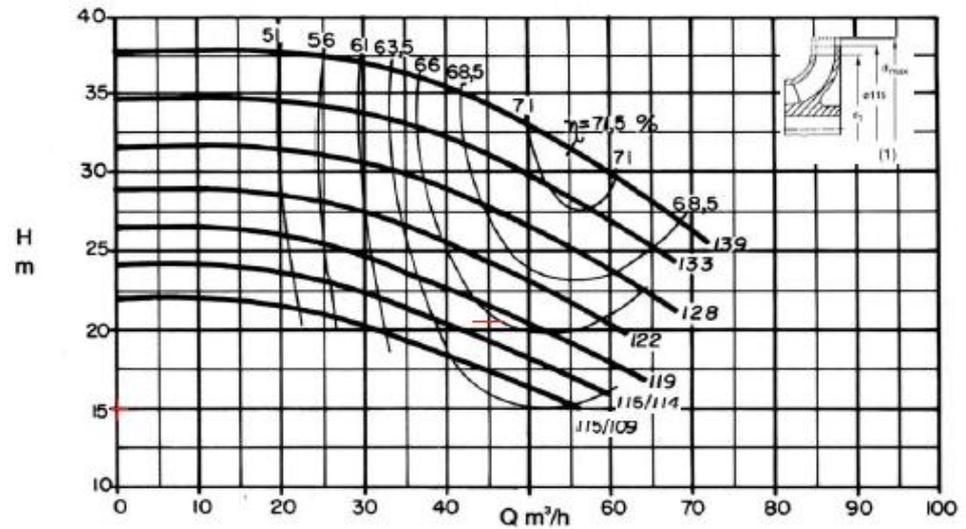
Item nº _____
 Item - No. _____
 Pos - nº _____

Velocidade Nominal
 Nom. Rotative Speed **3500 rpm**
 Velocidad Nominal

Considerando a
 de 3500 rpm,
 temos:



Altura Manométrica

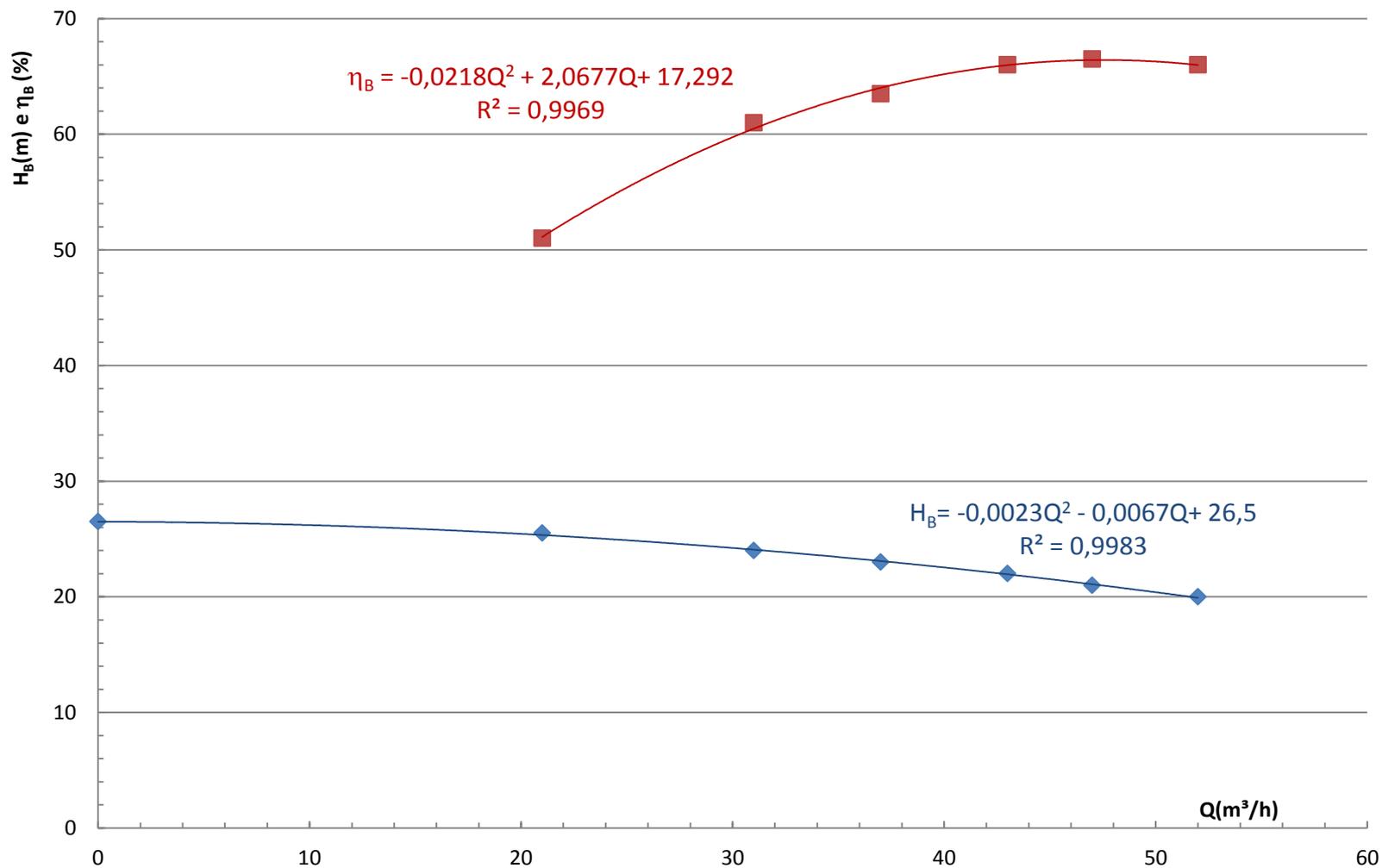


| | | | | | | | |
|-----------------------|------|------|----|------|----|------|----|
| Q (m ³ /h) | 0 | 21 | 31 | 37 | 43 | 47 | 52 |
| H _B (m) | 26,5 | 25,5 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 |
| η _B (%) | | 51 | 61 | 63,5 | 66 | 66,5 | 66 |

Escolhendo o diâmetro do rotor igual a 119 mm, temos a tabela acima.



E através da tabela, obtemos os gráficos a seguir:



◆ HB(m)
 ■ rendimento
 — Polinômio (HB(m))
 — Polinômio (rendimento)



Aí temos que corrigir as curvas para a soda cáustica 50%, já que foram levantadas para a água.

E aí consideramos a próxima tabela

| | 0,6Q | 0,8Q | 1,0Q | 1,2Q |
|------------------------------------|------|------|------|------|
| Q(m ³ /h) | | | | |
| H _B (m) | | | | |
| η _B (%) | | | | |
| C _η | | | | |
| C _Q | | | | |
| C _H | | | | |
| Q _v (m ³ /h) | | | | |
| H _{Bv} (m) | | | | |
| η _{Bv} (%) | | | | |