


**Primeiro semestre de 2012**  
Mecânica dos Fluidos para a  
engenharia química  
**Aula 2 de teoria**

LIXO



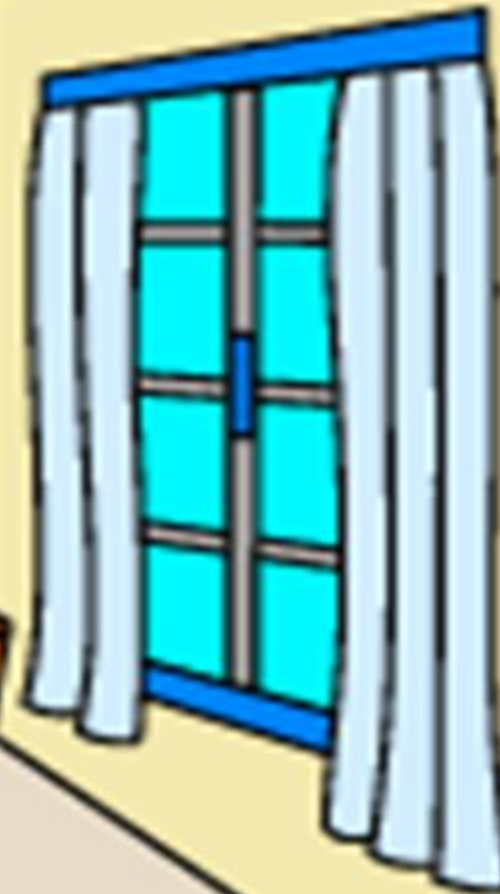
Neste encontro através de um exemplo prático abordamos as primeiras etapas do projeto de uma instalação básica de bombeamento



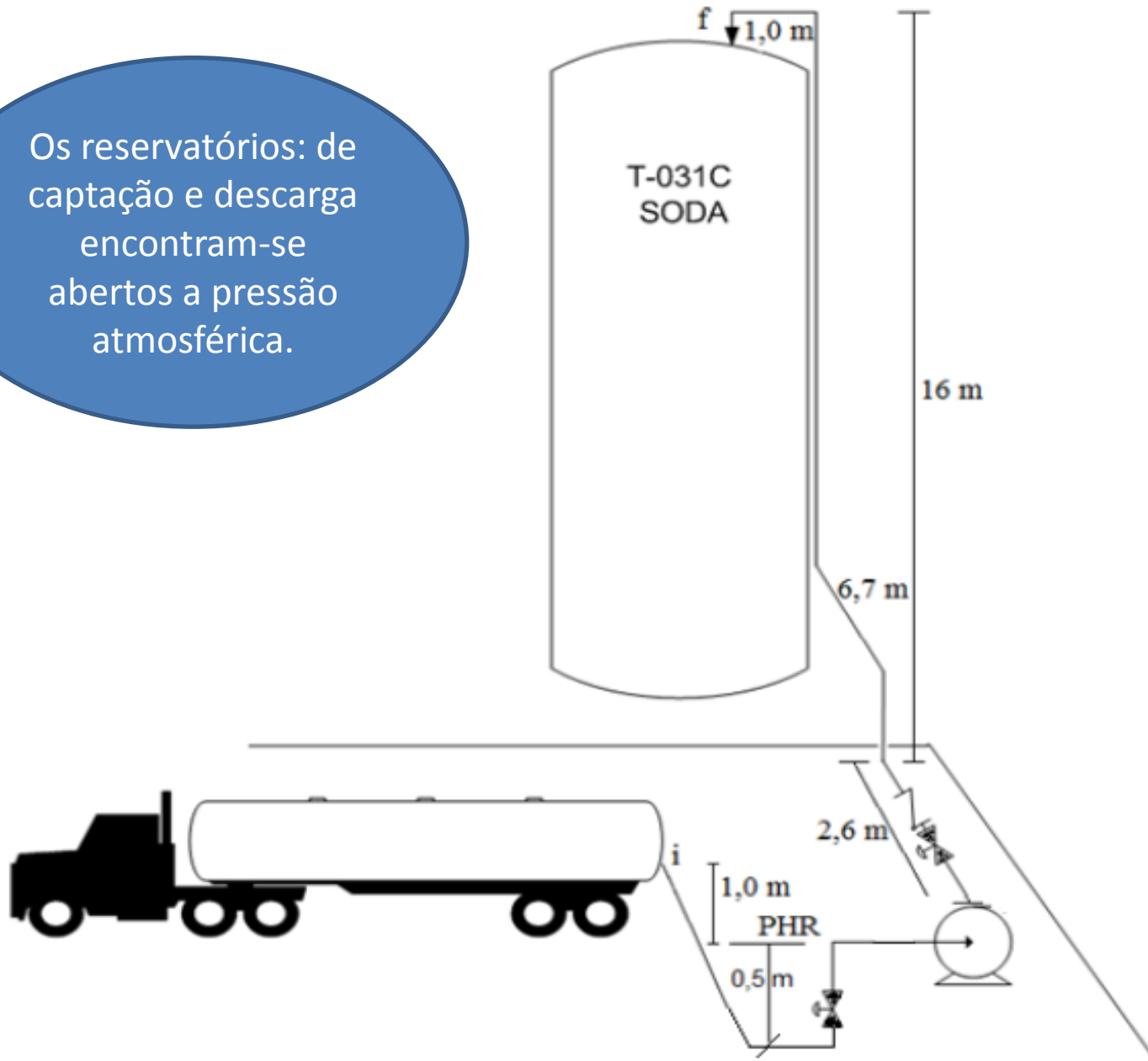
Vamos começar com o enunciado  
do exemplo prático, o qual nos foi  
encaminhado pelo engenheiro  
Tobias Alexandre Romanelli de  
Carvalho



**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.**



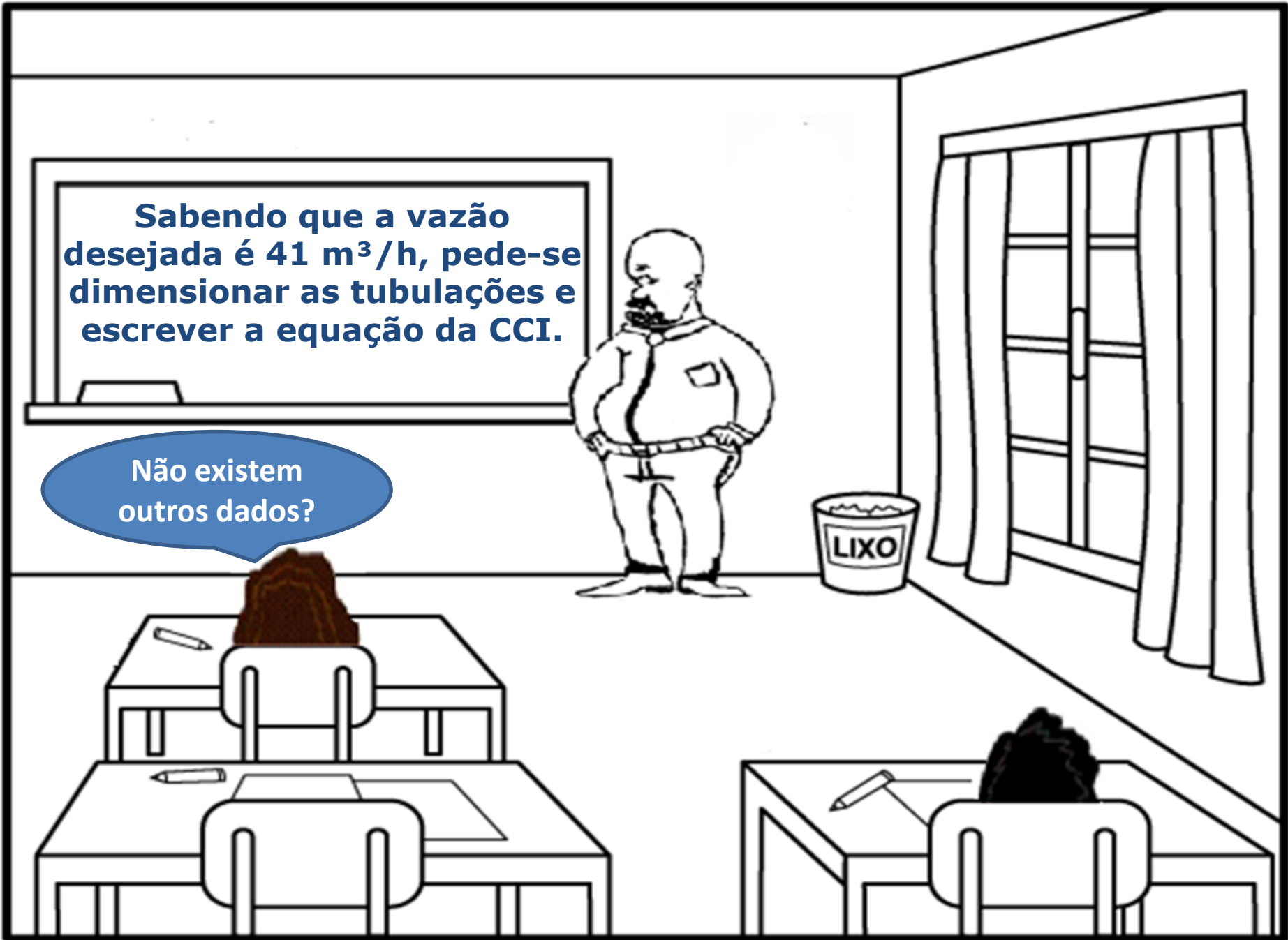
Os reservatórios: de captação e descarga encontram-se abertos a pressão atmosférica.



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

Não existem  
outros dados?

LIXO

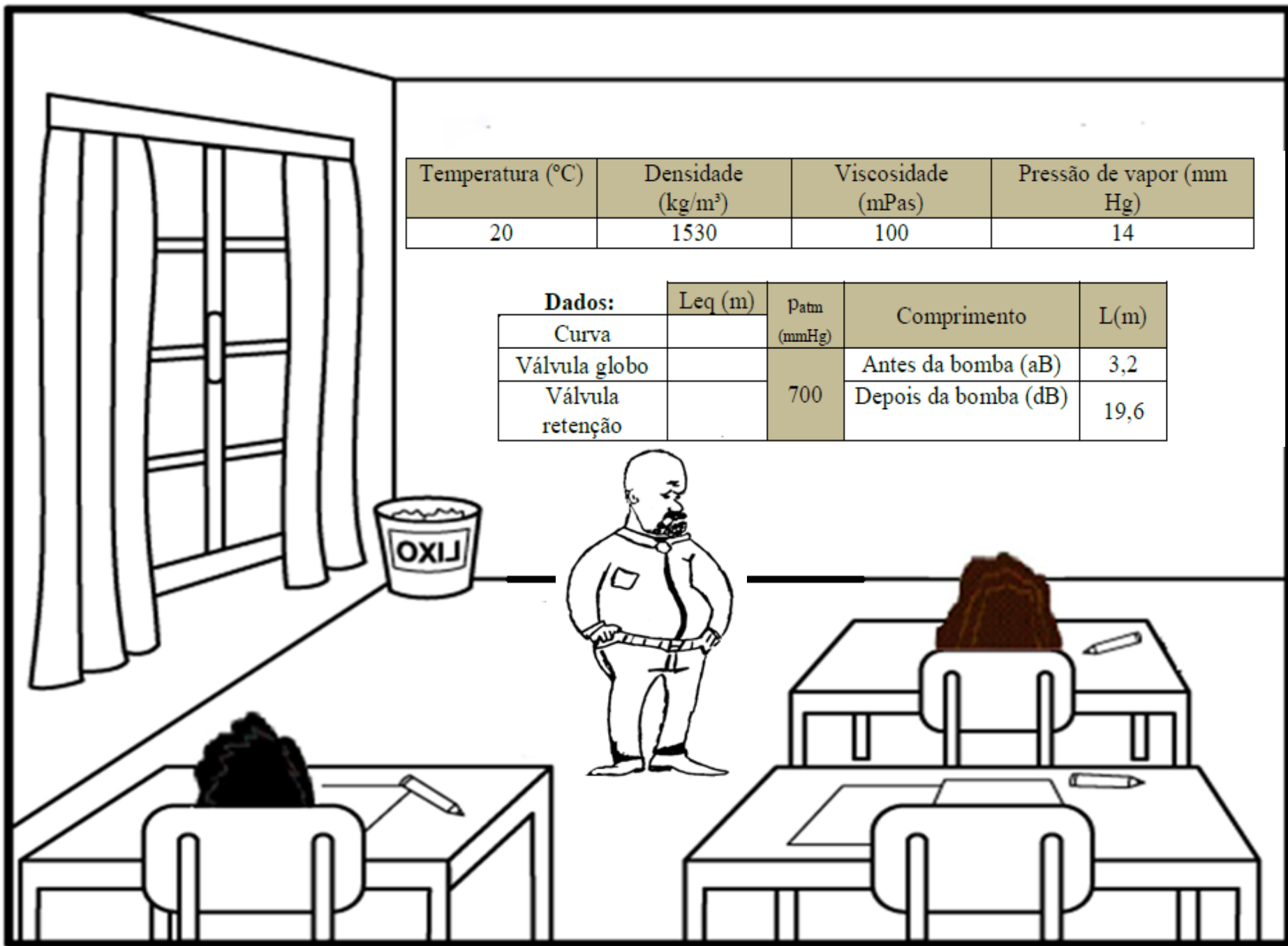




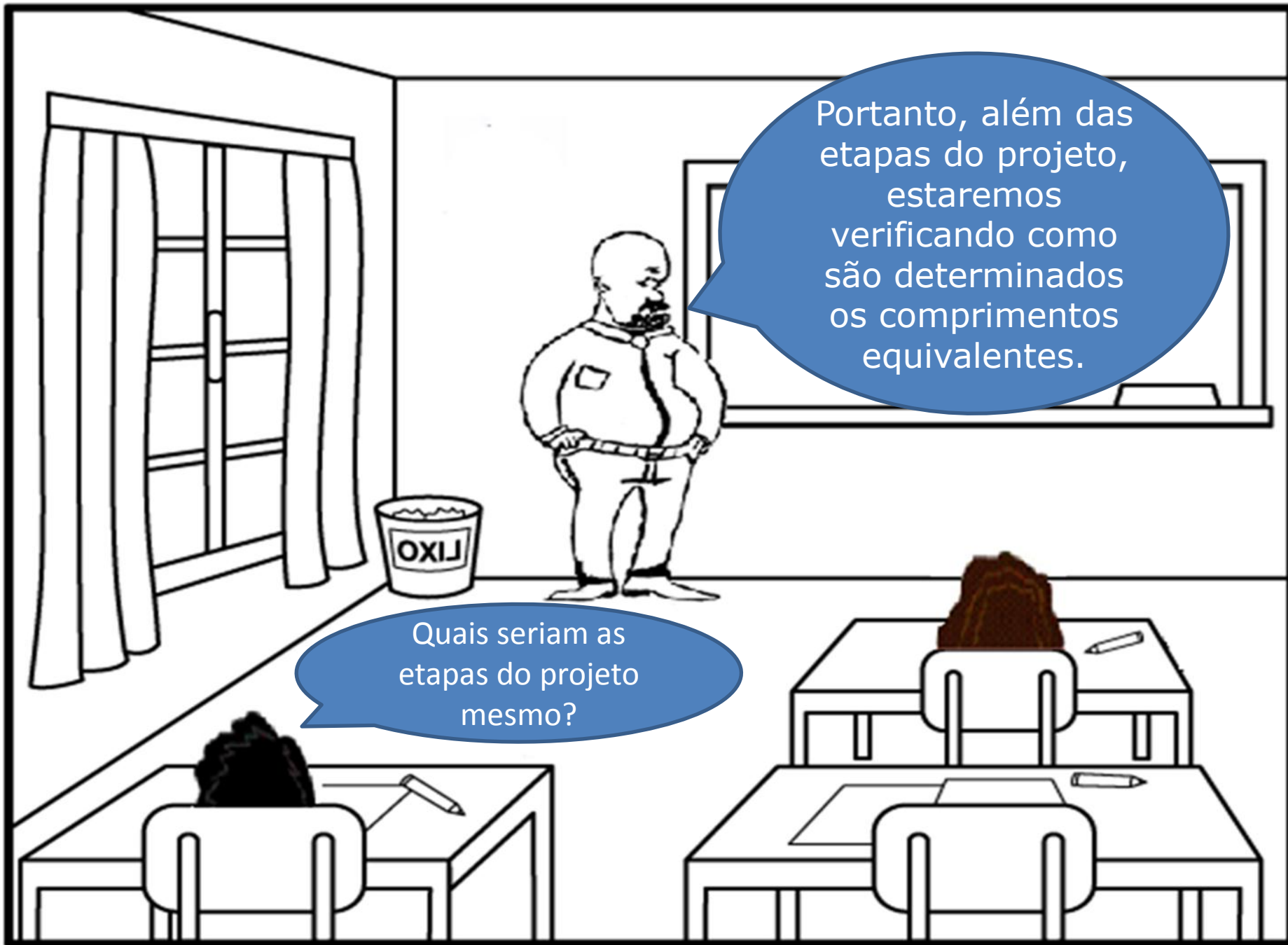
Existem e  
estão  
fornecidos  
no próximo  
slide.

Temperatura (°C)	Densidade (kg/m <sup>3</sup> )	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				

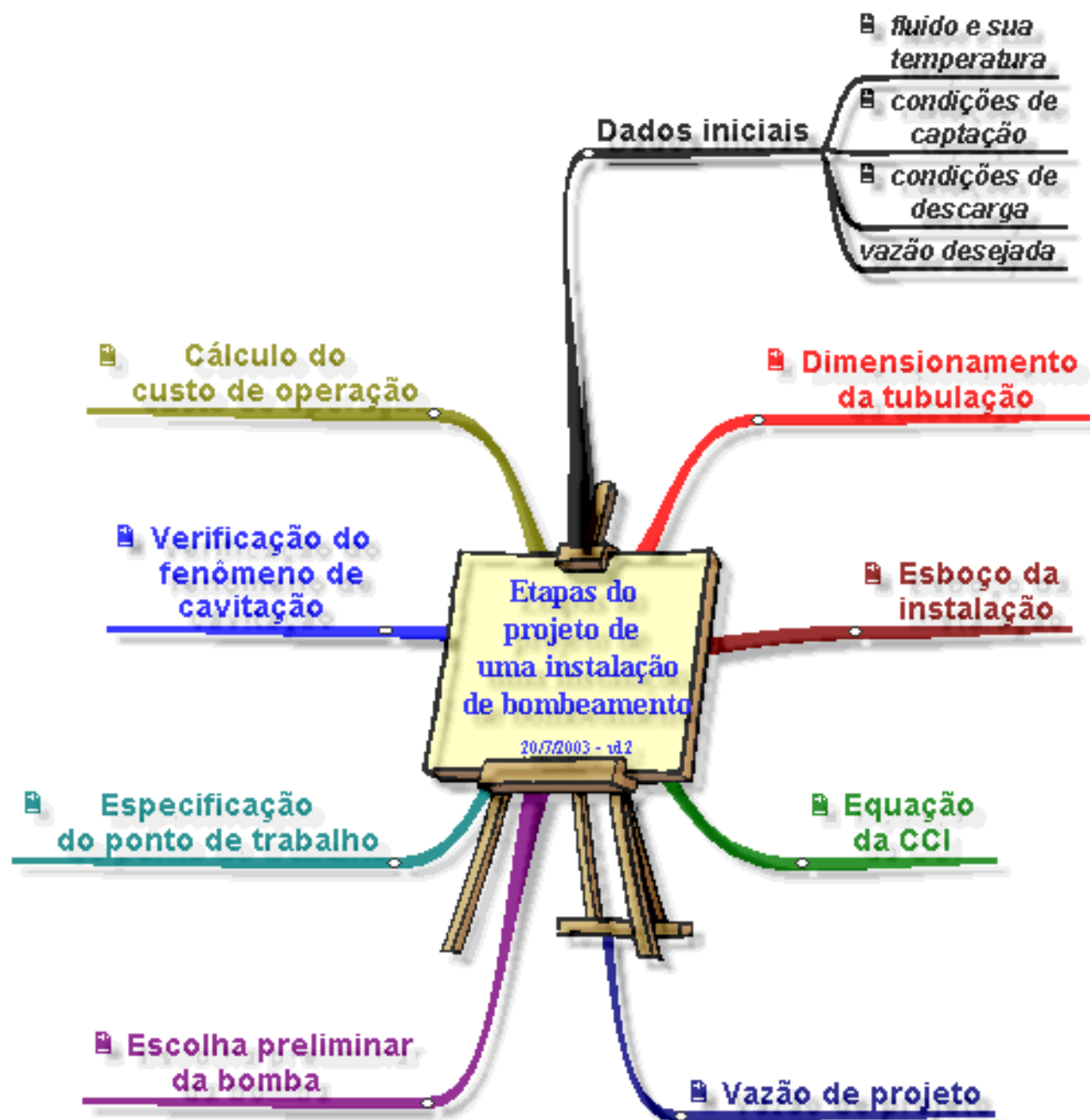






Portanto, além das etapas do projeto, estaremos verificando como são determinados os comprimentos equivalentes.

Quais seriam as etapas do projeto mesmo?



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 m<sup>3</sup>/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 <sup>2</sup> saturado	20 a 40
- de 2 a 10 kgf/cm <sup>2</sup>	40 a 80
- mais de 10 kgf/cm <sup>2</sup>	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



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)	Área da seção livre (cm <sup>2</sup> )	Área da seção de metal (cm <sup>2</sup> )	Superfície externa (m <sup>2</sup> /m)	Peso aproximado (kg/m)		Momento de inércia (cm <sup>4</sup> )	Momento resistente (cm <sup>3</sup> )	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	11,1	66,7	34,9	27,2		21,31	3,49	209,36	47,14	2,78
	XXS	15,2	58,4	26,8	35,3		27,65	2,68	249,32	56,22	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	13,5	87,3	59,9	42,7		33,49	5,99	552,34	96,70	3,60
	XXS	17,1	80,1	50,3	52,3		40,98	5,03	636,42	111,29	3,49

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

**Cavitação?!**









**Para as instalações hidráulicas, em particular a bomba hidráulica, cavitair 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.**

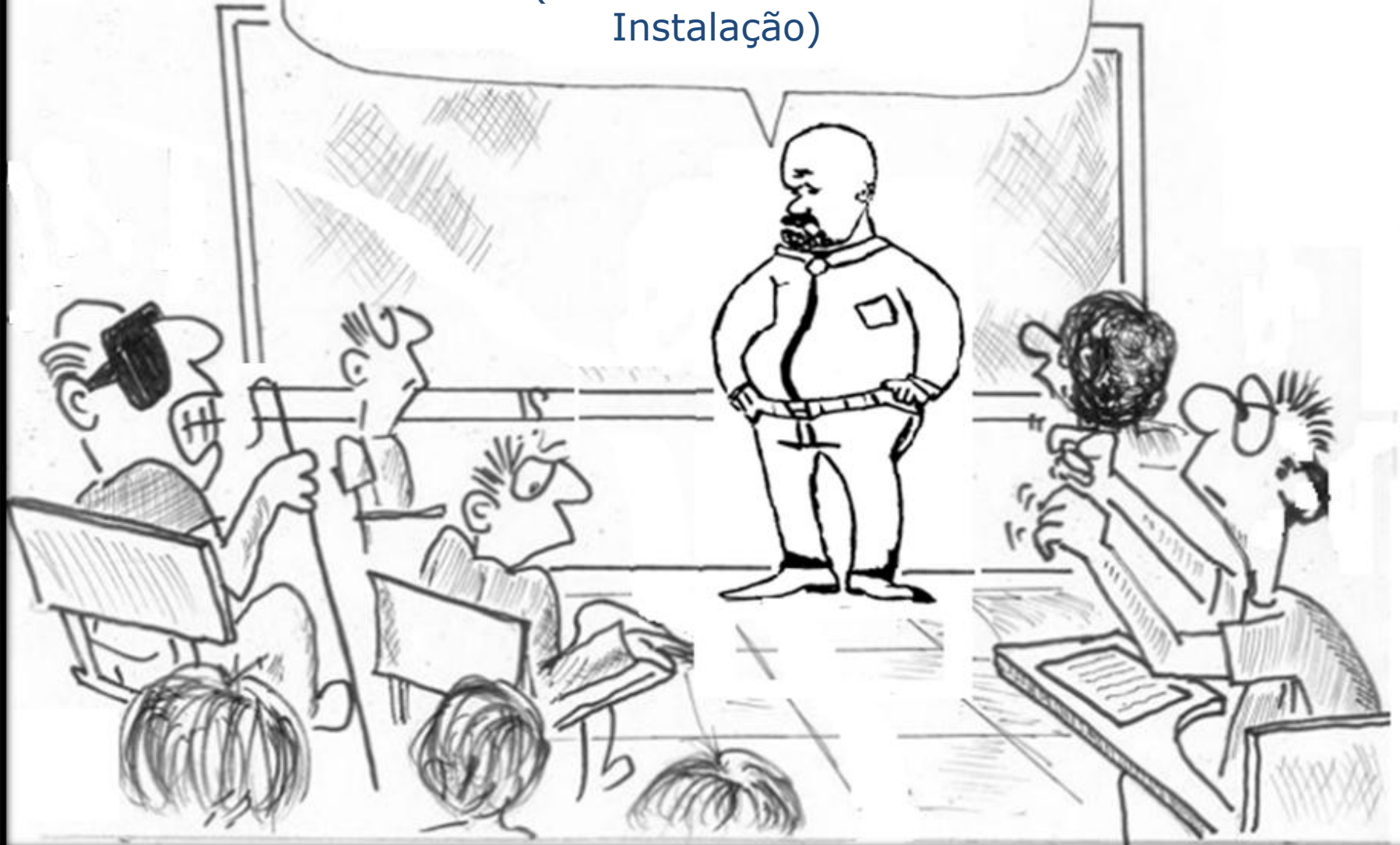




Consultando a norma ANSI B36.10 para aço ( $k=4,6 \times 10^{-5} \text{ m}$ ), temos para o tubo antes da bomba o tubo de diâmetro nominal de 5" e espessura 40:

DIMENSÕES					IDENTIF.	
NOMINAL	 m/m	 m/m	 m/m	 kg / m	DENOM.	SCHEDULE N°
	EXTERNO	INTERNO	PAREDE			
4"	114,30	102,26	6,02	16,06	STD	40
		97,18	8,56	22,29	XS	80
		92,04	11,13	28,27		120
		87,32	13,49	33,49		160
		80,06	17,12	40,98	XXS	
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 dada instalação a CCI é representada por  $H_S = f(Q)$  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

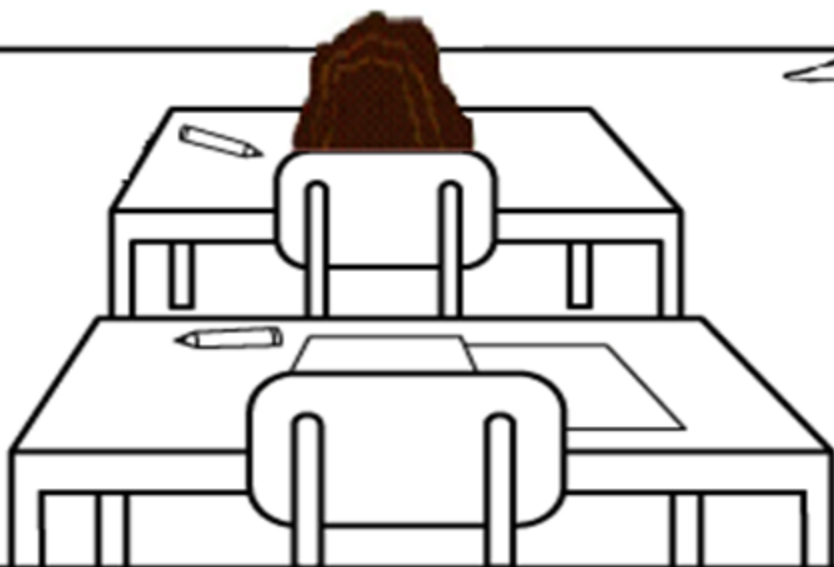
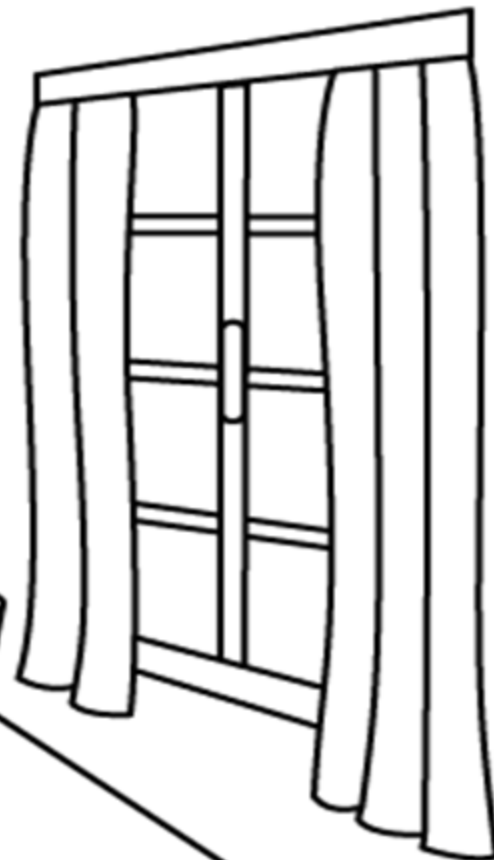
	L(m)	ΣLeq		
		Cotovêlo	VGA	
5"	3,2	3 x 4,7	1 x 43	
		Curva	VGA	VRetVert
4"	19,6	5 x 2,18	1 x 34	1 x 12,9

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

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

$$H_{p_{total}} = f_{5''} \times 143465,74 \times Q^2 + f_{4''} \times 572694,41 \times Q^2$$

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



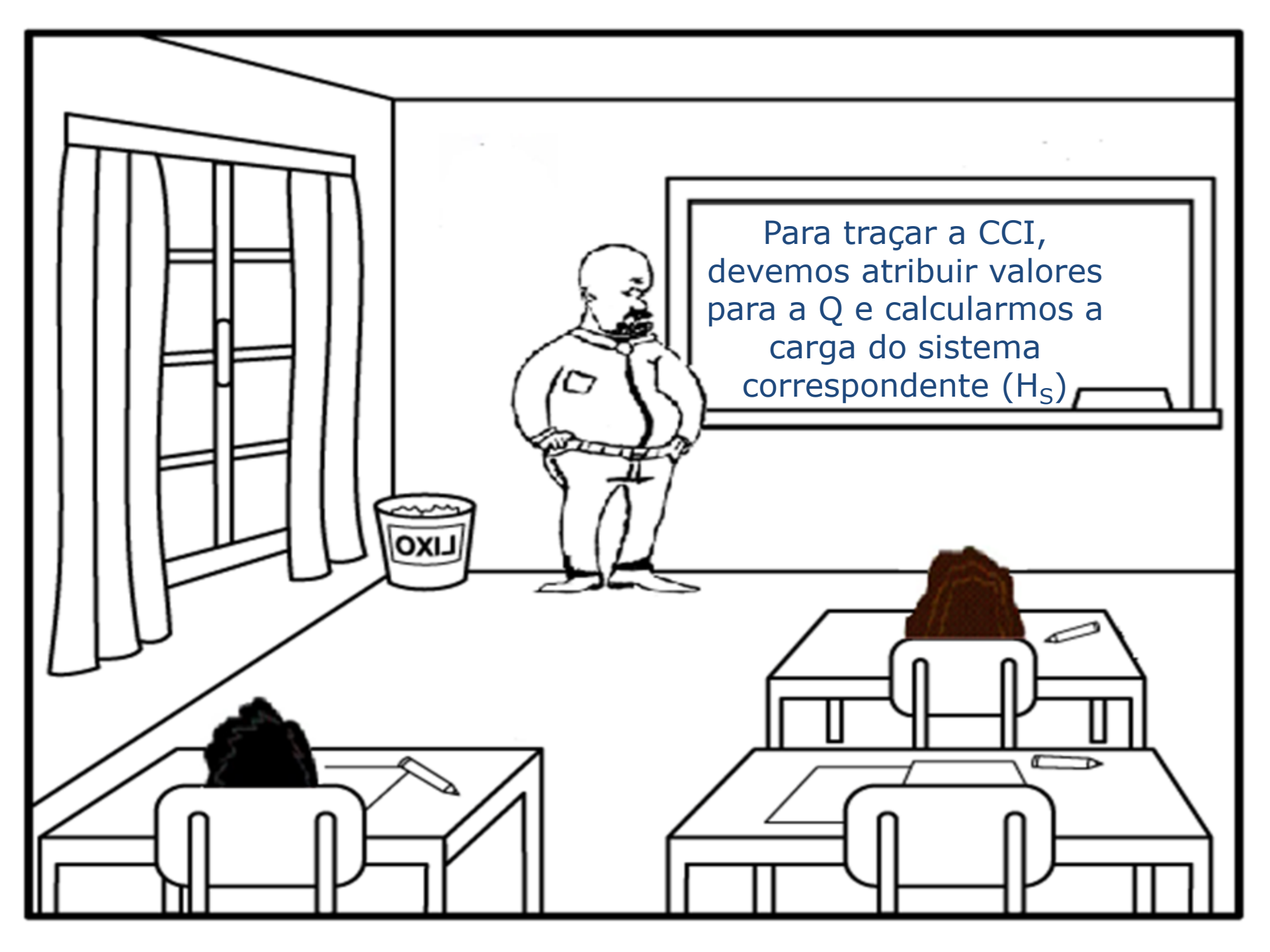
$$H_s = 15 + 756,94 \times \alpha_f \times Q^2 + (f_{5''} \times 143465,74 + f_{4''} \times 572694,41) \times Q^2$$

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

$$H_{estática} = H_{est} = 15m$$

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





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)	$\mu$ (kg/ms)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\rho_v$ (Pa)	$\nu$ (m <sup>2</sup> /s)
20	1,00E-01	1530	1866,5	6,536E-05



propriedades do local

$g =$	9,8	m/s <sup>2</sup>
$p_{atm} =$	93325.66	Pa
mat. tubo aço		
espessura	Dint (mm)	A (cm <sup>2</sup> )
40	128,3	129,3
K(m)	DH/k	
4,60E-05	2789	

Q
m <sup>3</sup> /h
2,0
4,0
6,0
8,0
10,0
12,0
14,0

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

propriedades do fluido transportado

temp (°C)		m (kg/ms)	r (kg/m <sup>3</sup> )	pv (Pa)	n (m <sup>2</sup> /s)
20		1,00E-01	1530	1866,5	6,536E-05

propriedades do local

g = 9,8 m/s<sup>2</sup>  
 patm = 93325.66 Pa



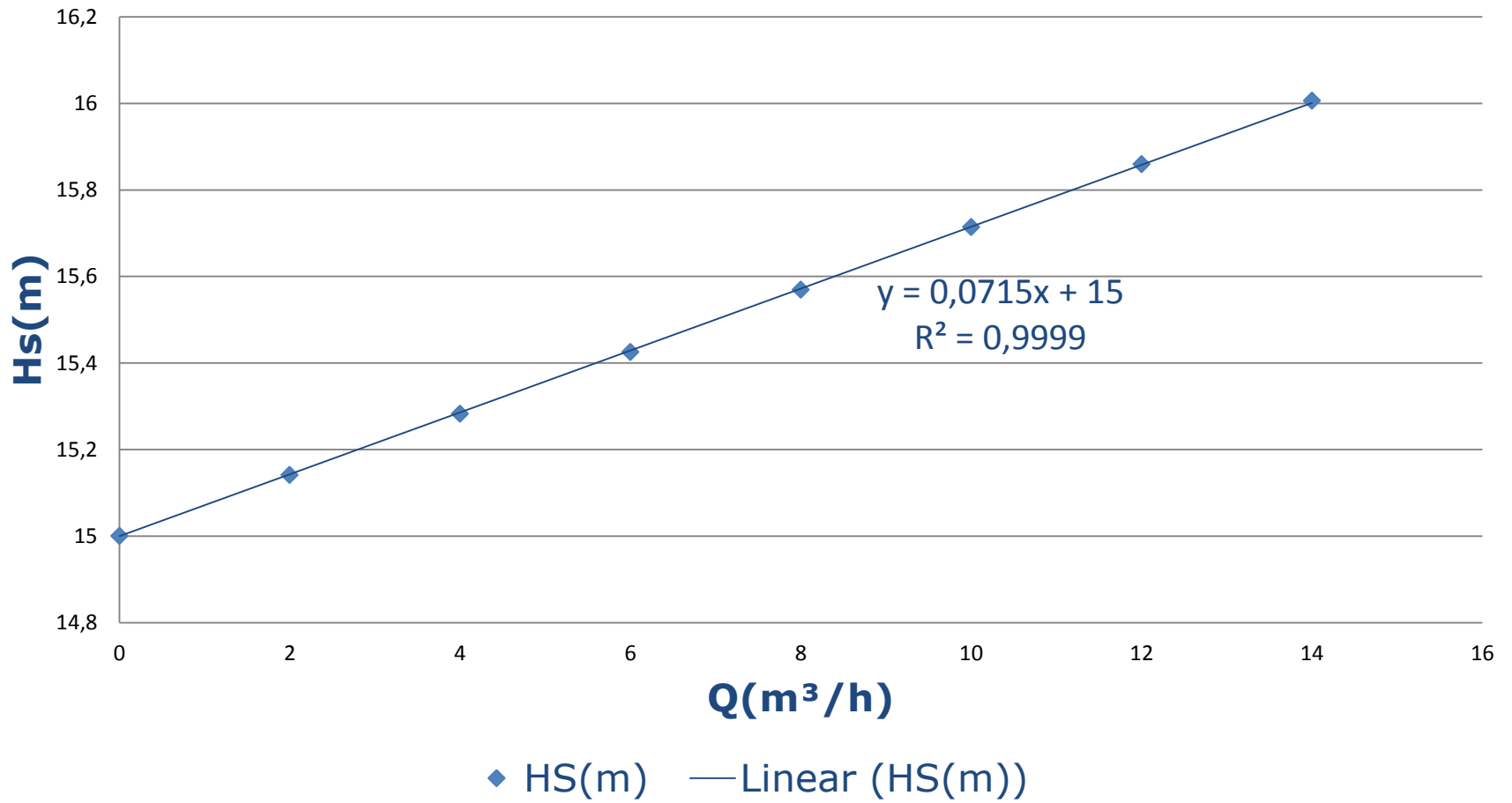
				Q m <sup>3</sup> /h
				2,0
				4,0
mat. tubo aço				6,0
	espessura	Dint (mm)	A (cm <sup>2</sup> )	8,0
	40	102,3	82,1	10,0
				12,0
	K(m)	DH/k		14,0
	4,60E-05	2224		

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

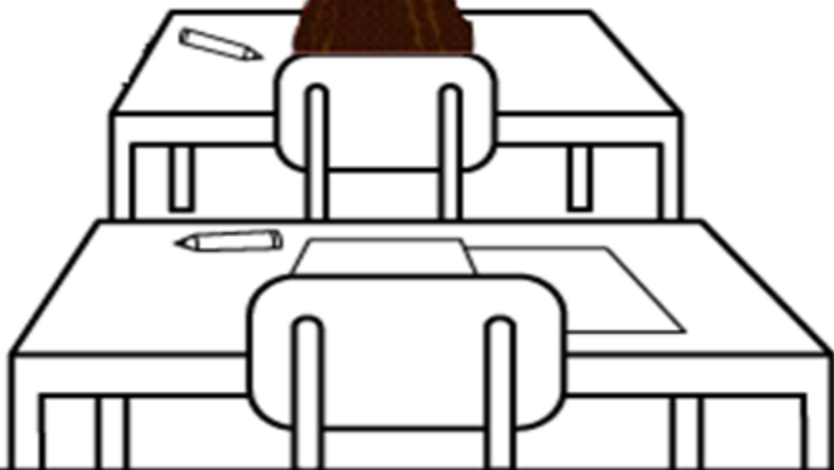
## VALORES DA CCI

Q(m <sup>3</sup> /h)	Q(m <sup>3</sup> /s)	$\alpha$	f <sub>5"</sub>	f <sub>4"</sub>	H <sub>s</sub> (m)
0	0	0	0	0	15
2	0,000556	2,0	0,7588	0,6043	15,1
4	0,00111	2,0	0,3794	0,3021	15,3
6	0,00167	2,0	0,2529	0,2014	15,4
8	0,00222	2,0	0,1897	0,1511	15,6
10	0,00278	2,0	0,1518	0,1209	15,7
12	0,00333	2,0	0,1265	0,1007	15,9
14	0,00389	2,0	0,1084	0,0863	16,0

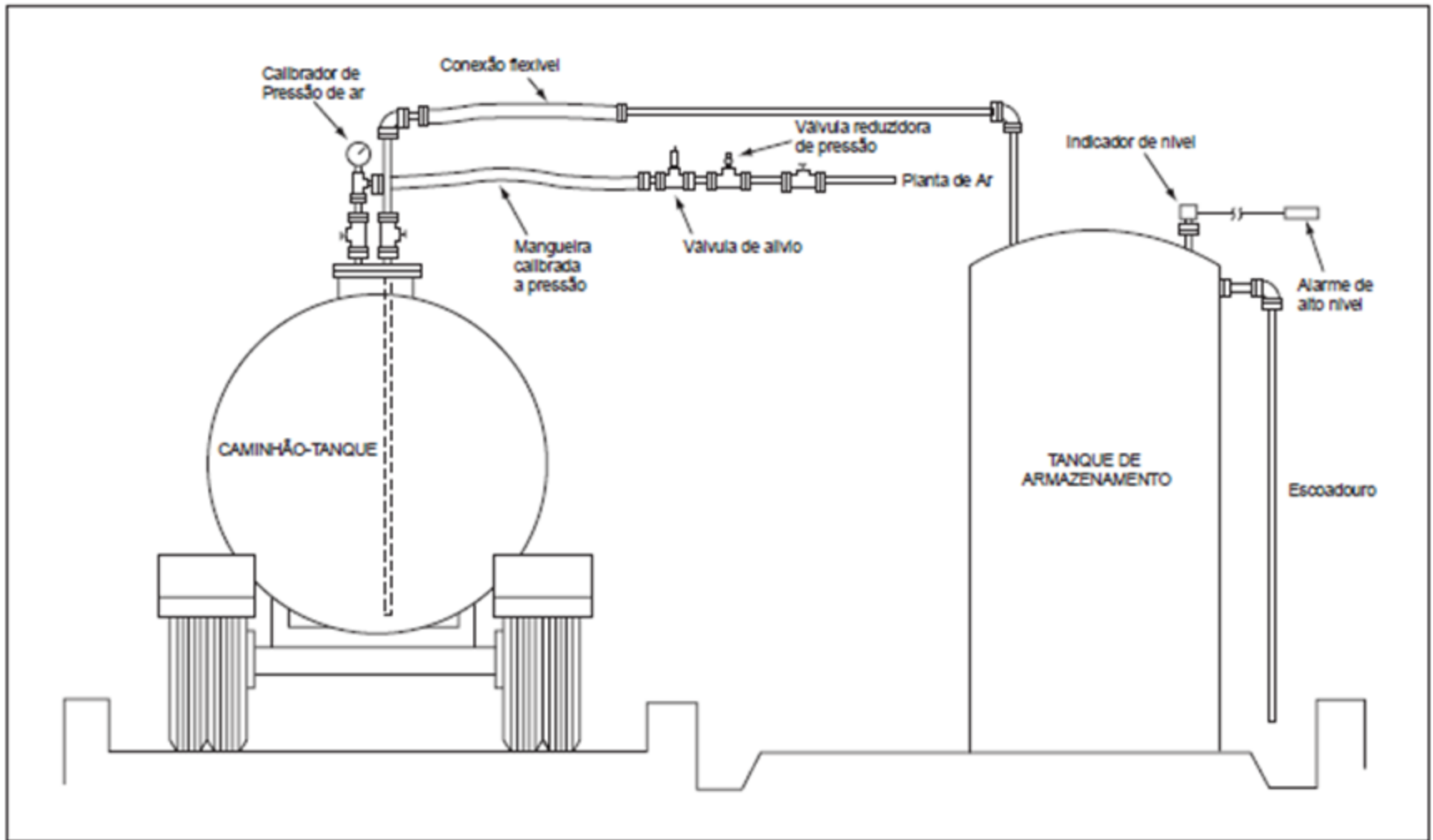
**cci**



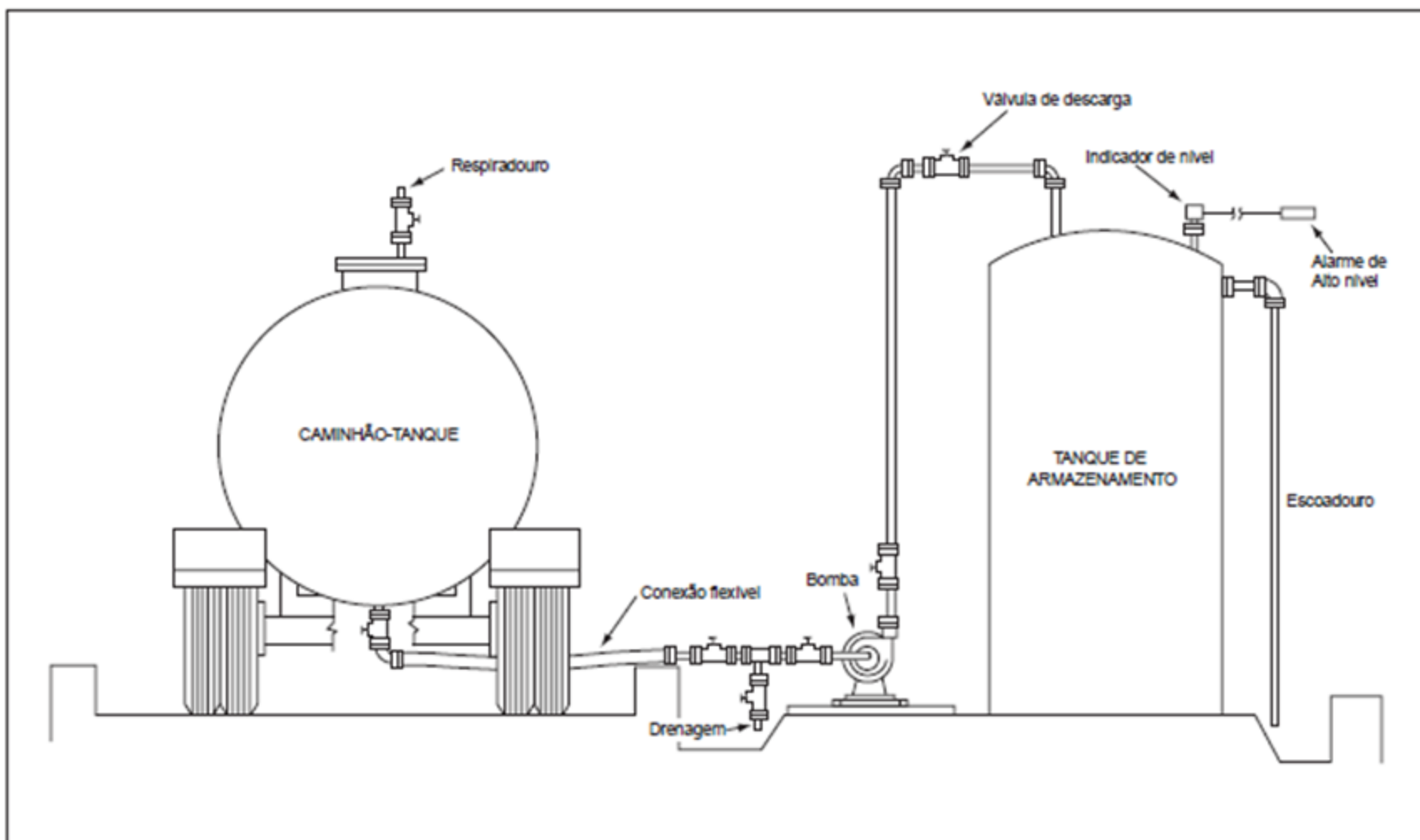
A seguir mostro outras possibilidades de descarregar o caminhão com soda cáustica 50% e algumas das suas propriedades.



**Figura 10** Descarregamento de Soda Cáustica por Cima do Caminhão-Tanque com Pressão de Ar



**Figura 11** Descarregamento de Soda Cáustica por Baixo do Caminhão-Tanque com Bomba



Para obtenção da viscosidade da soda cáustica

