


SEGUNDA AULA DE TEORIA DA DISCIPLINA ME5330

Raimundo (Alemão) Ferreira Ignácio

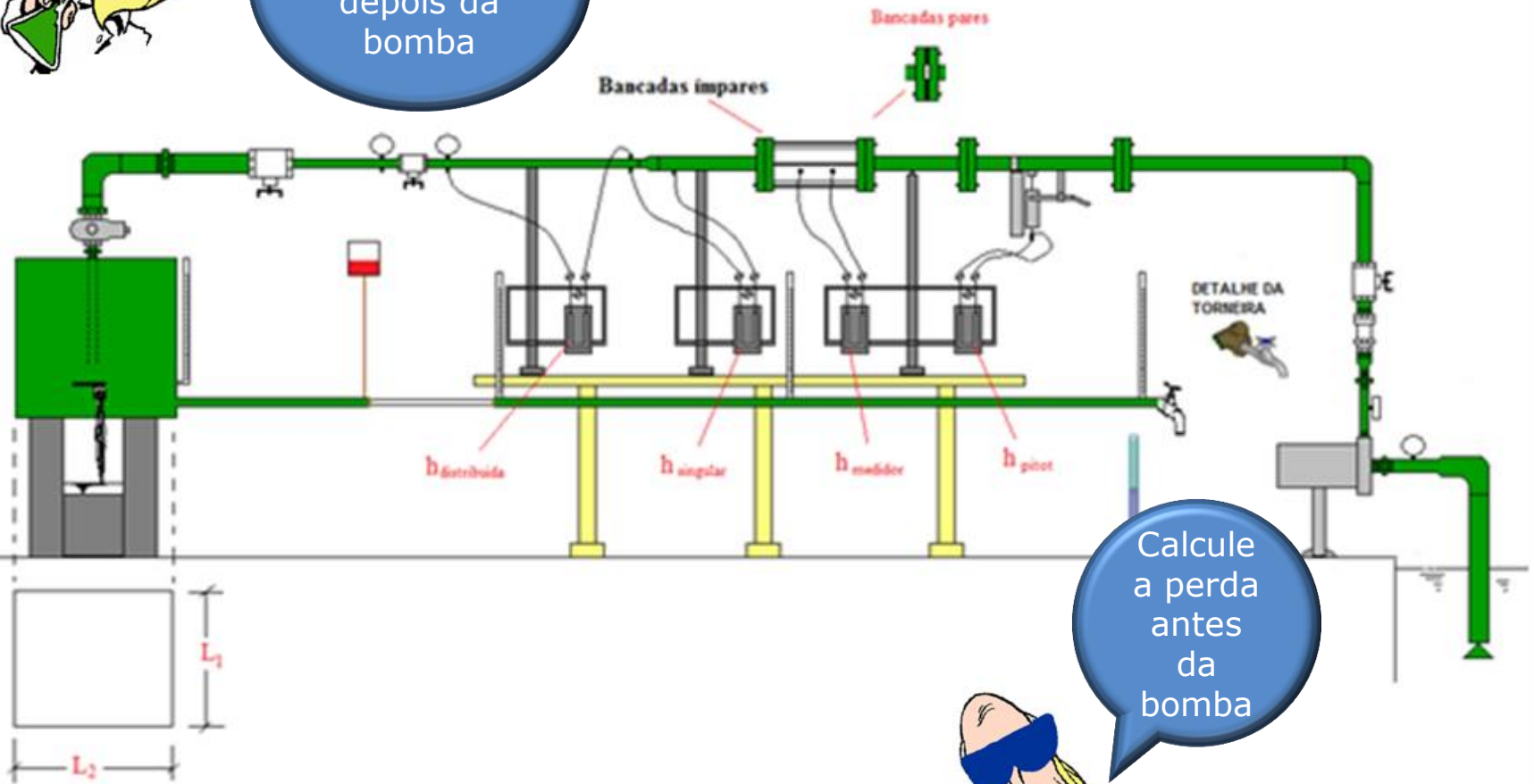
13/08/2013

A black and white cartoon illustration of a classroom. A teacher with a beard and a mustache stands in the center, looking towards the students. He has his hands on his hips. In the foreground, several students are seated at desks. One student on the left is looking towards the teacher. Another student on the right is wearing sunglasses and holding a book. A speech bubble is positioned above the teacher, containing the text 'Resolvendo o exercício proposto!'. The background shows a chalkboard with some faint lines.

Resolvendo o
exercício proposto!

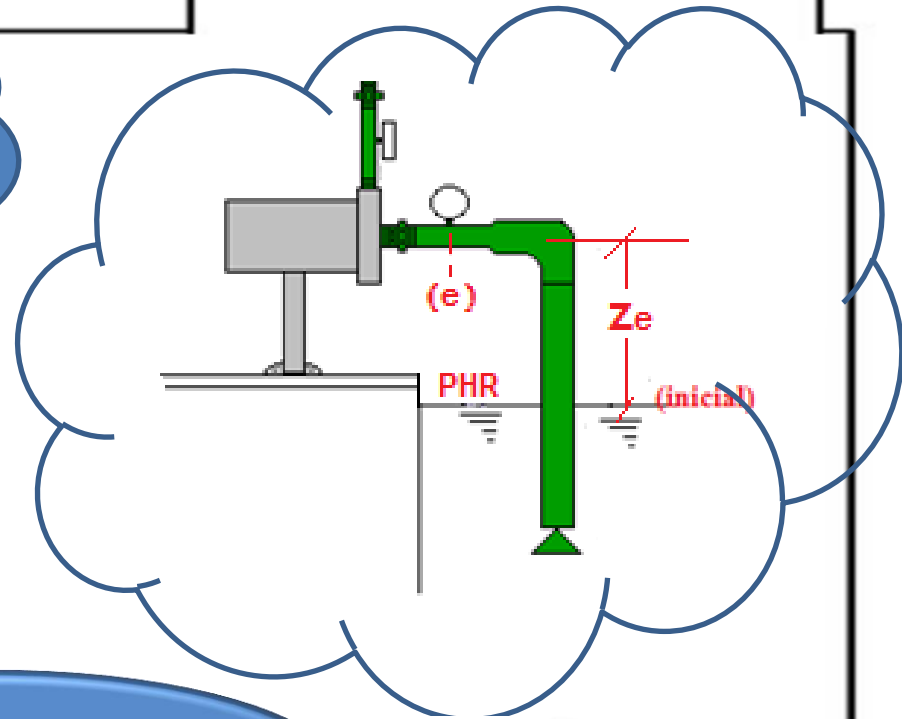


Calcule a perda depois da bomba



Calcule a perda antes da bomba

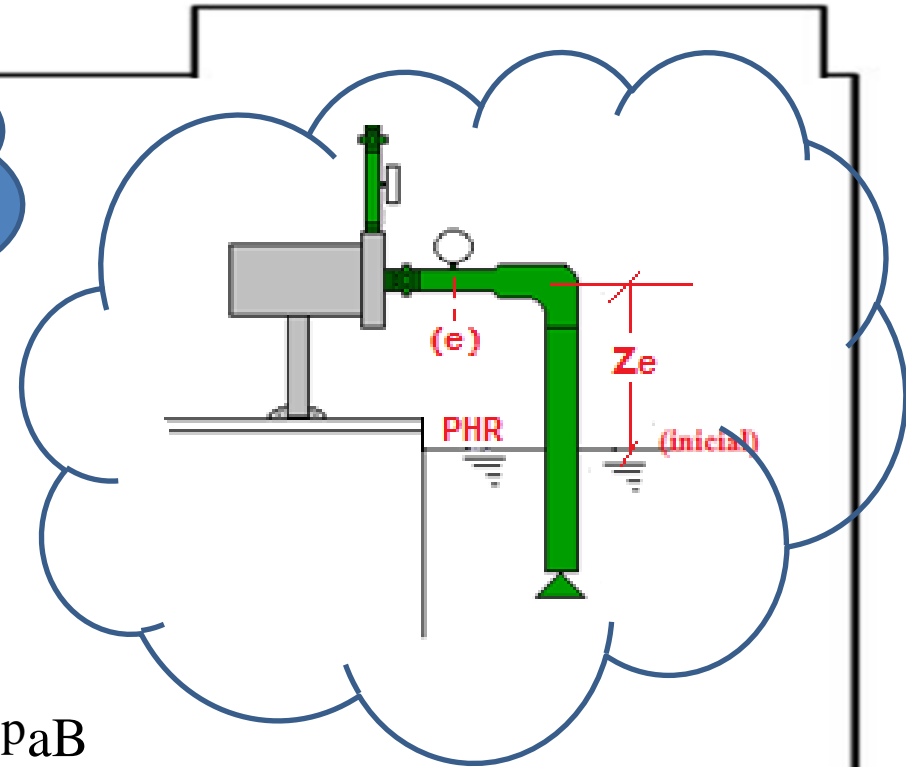
Perda na tubulação
antes da bomba.



Seria a tubulação
de sucção!



Perda na tubulação
antes da bomba.



$$H_{inicial} = H_e + H_{paB}$$

$$z_i + \frac{p_i}{\gamma} + \frac{v_i^2}{2g} = z_e + \frac{p_e}{\gamma} + \frac{\alpha_e \times v_e^2}{2g} + H_{paB}$$

$$H_{paB} = - \left[z_e + \left(\frac{p_{me} + \gamma \times h_e}{\gamma} \right) + \frac{\alpha_e \times v_e^2}{2g} \right]$$



Exemplo de cálculo na bancada 1 do laboratório

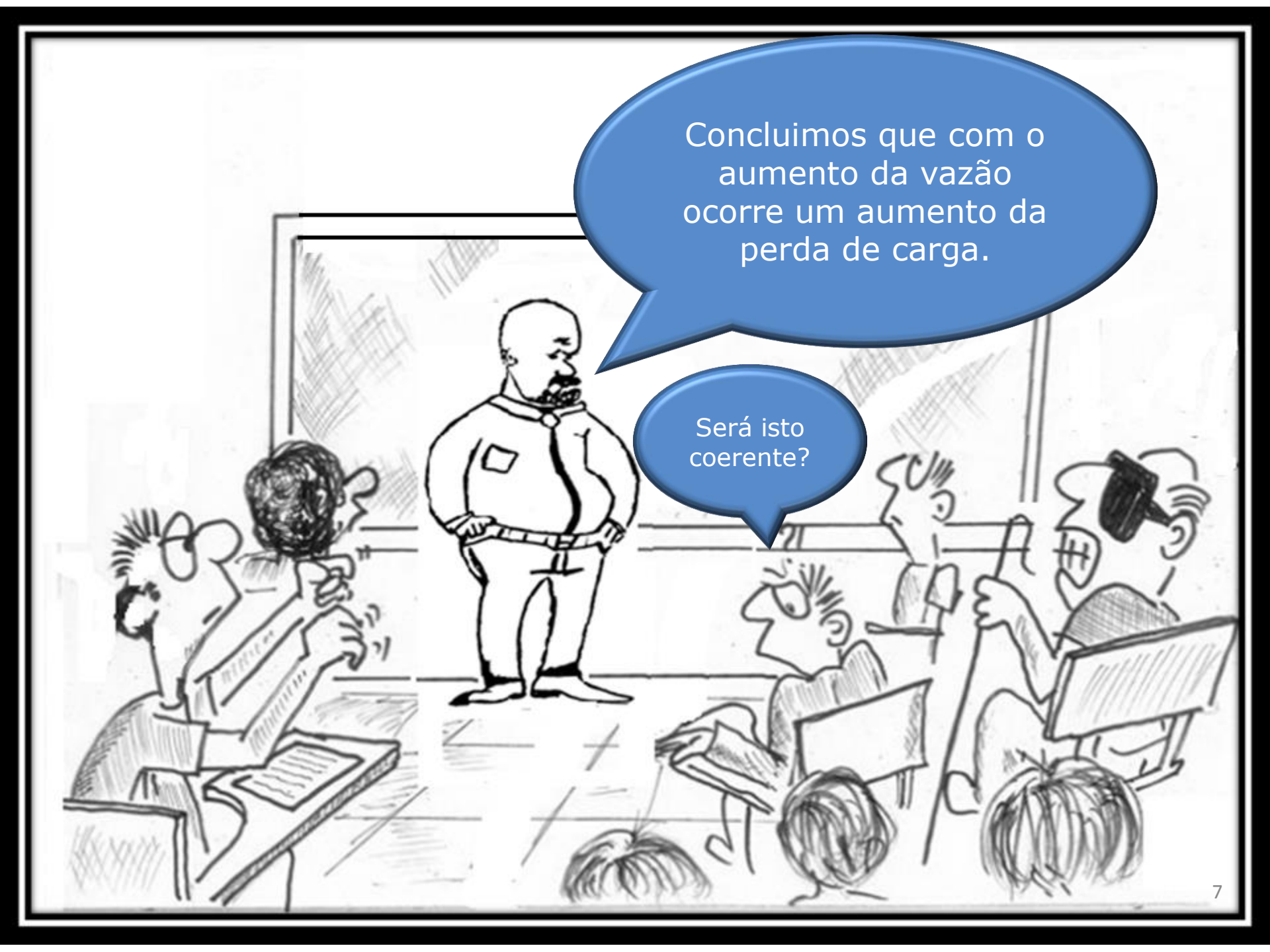


Bancada	L1 (m)	L2 (m)	he (cm)
exp. Monitores	0,74	0,74	11,5

Dados coletados pelos monitores

Bancada	Ensaio	Δh (mm)	t(s)	p _{me} (mmHg)	z _e (cm)
1	1	100	20,1	-180	124
	2	100	27,68	-140	
	3	100	46,03	-110	

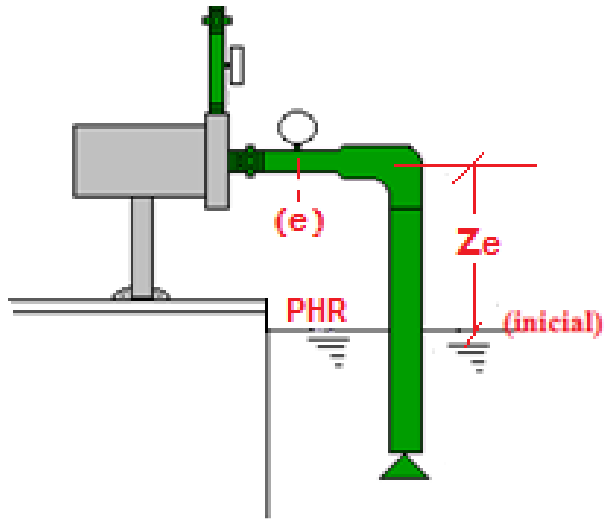
Bancada	Ensaio	Q (L/s)	v _e (m/s)	p _e (Pa)	H _{paB} (m)
1	1	2,7	2,1	-22770,6	0,868
	2	2,0	1,5	-17460,6	0,429
	3	1,2	0,9	-13478,1	0,096

A black and white cartoon illustration of a classroom. A bald man with a beard, wearing a white shirt and tie, stands at the front of the room with his hands on his hips. He is addressing a group of students. One student on the left is leaning forward, looking at a book. Another student on the right is wearing sunglasses and holding a book. In the foreground, the backs of several students' heads are visible. A large blue speech bubble is positioned above the teacher, containing the text 'Concluimos que com o aumento da vazão ocorre um aumento da perda de carga.' A smaller blue speech bubble is positioned below it, containing the text 'Será isto coerente?'.

Concluimos que com o aumento da vazão ocorre um aumento da perda de carga.

Será isto coerente?

Analisando a coerência:



$$H_{paB} = f \times \frac{(L + \sum Leq)_{aB}}{D_H} \times \frac{Q^2}{2g \times A^2}$$

$$(L + \sum Leq)_{aB} = L_{totalaB} = \text{constante}$$

$$\frac{H_{paB}}{L_{totalaB}} = f \times \left(\frac{1}{D_H \times 2g \times A^2} \right) \times Q^2$$

$$\frac{H_{paB}}{L_{totalaB}} = f \times \text{cte} \times Q^2$$

Aumentando a Q ,
temos uma
diminuição do "f",
será que diminui
mais que a Q
aumenta?

Vejam
a
tabela:

Q(m ³ /h)	v(m/s)	Re	f _{Churchill}	hf/Ltotal
9,8	2,1	88663,4	0,02303	0,125
7,1	1,5	64383,5	0,02381	0,068
4,3	0,9	38716,8	0,02543	0,026



Pela tabela
acima a
conclusão é
coerente!

O que vem a
ser f_{Churchill}?

$$f = 8 \times \left\{ \left(\frac{8}{\text{Re}} \right)^{12} + \left[\frac{1}{(\text{A} + \text{B})^{1,5}} \right] \right\}^{\frac{1}{12}}$$

$$\text{A} = \left\{ -2,457 \times \ln \left[\left(\frac{7}{\text{Re}} \right)^{0,9} + \frac{0,27 \times \text{K}}{\text{D}} \right] \right\}^{16}$$

$$\text{B} = \left(\frac{37530}{\text{Re}} \right)^{16}$$

Churchill elaborou uma fórmula para a determinação do f e que é válida para qualquer regime de escoamento.



É bom praticar a utilização desta fórmula através da calculadora!

Se não acabamos errando!

Tem que ser pela calculadora?

Dá para ser através de uma planilha eletrônica, por exemplo a dada na página:



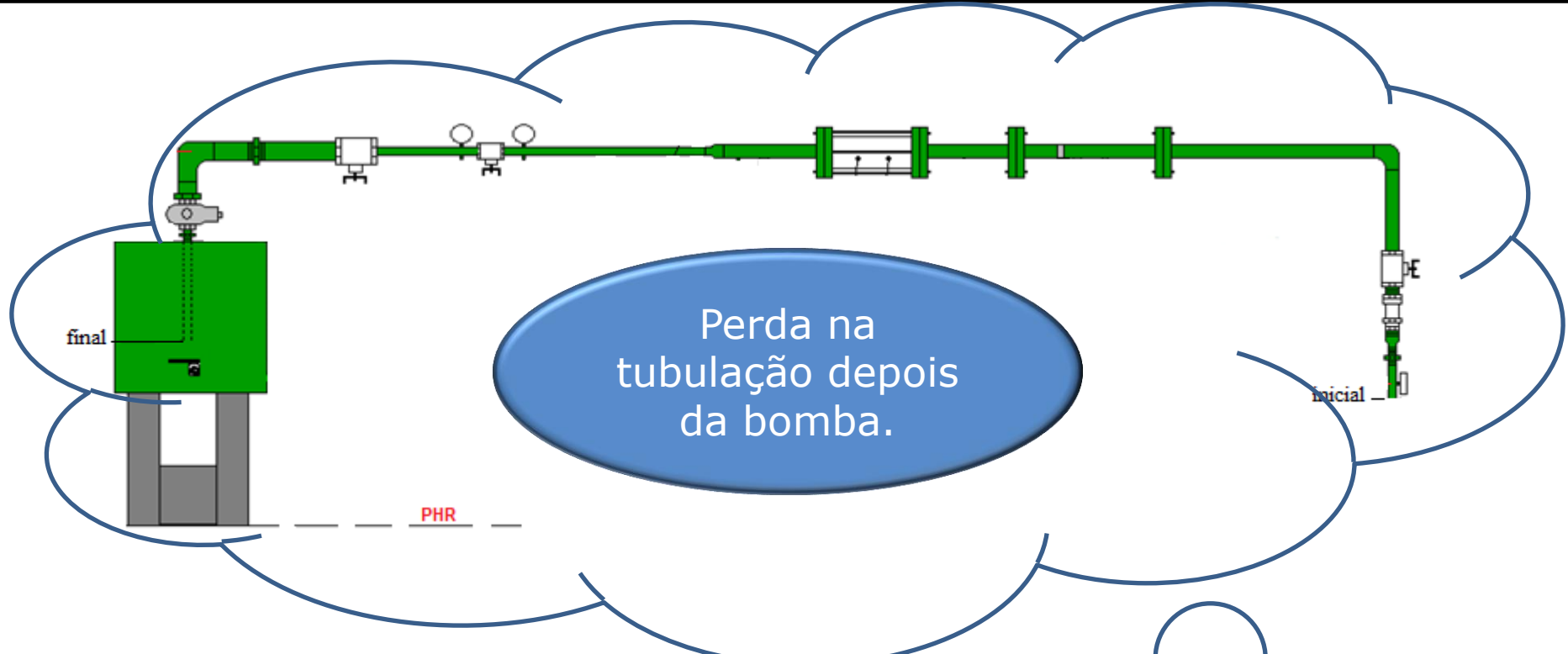
propriedades do fluido transportado				
temp (°C)	μ (kg/ms)	ρ (kg/m ³)	ρ_v (Pa)	v (m ² /s)
18	1,05E-03	998,6		1,055E-06
propriedades do local				
g =	m/s ²			
patm =	Pa			

http://www.escoladavida.eng.br/mecfluquimica/planejamento_12013/consulta7.htm

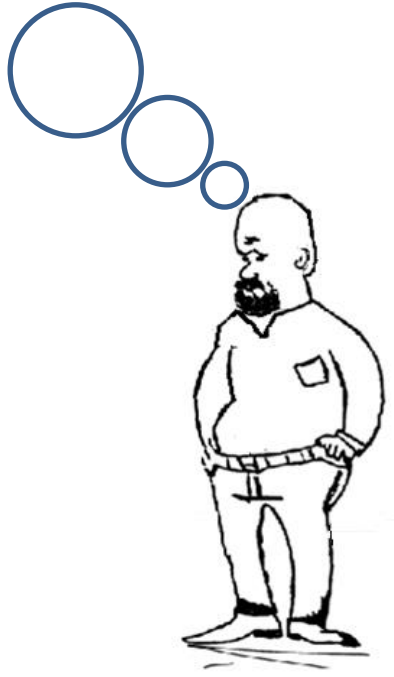
Legal!

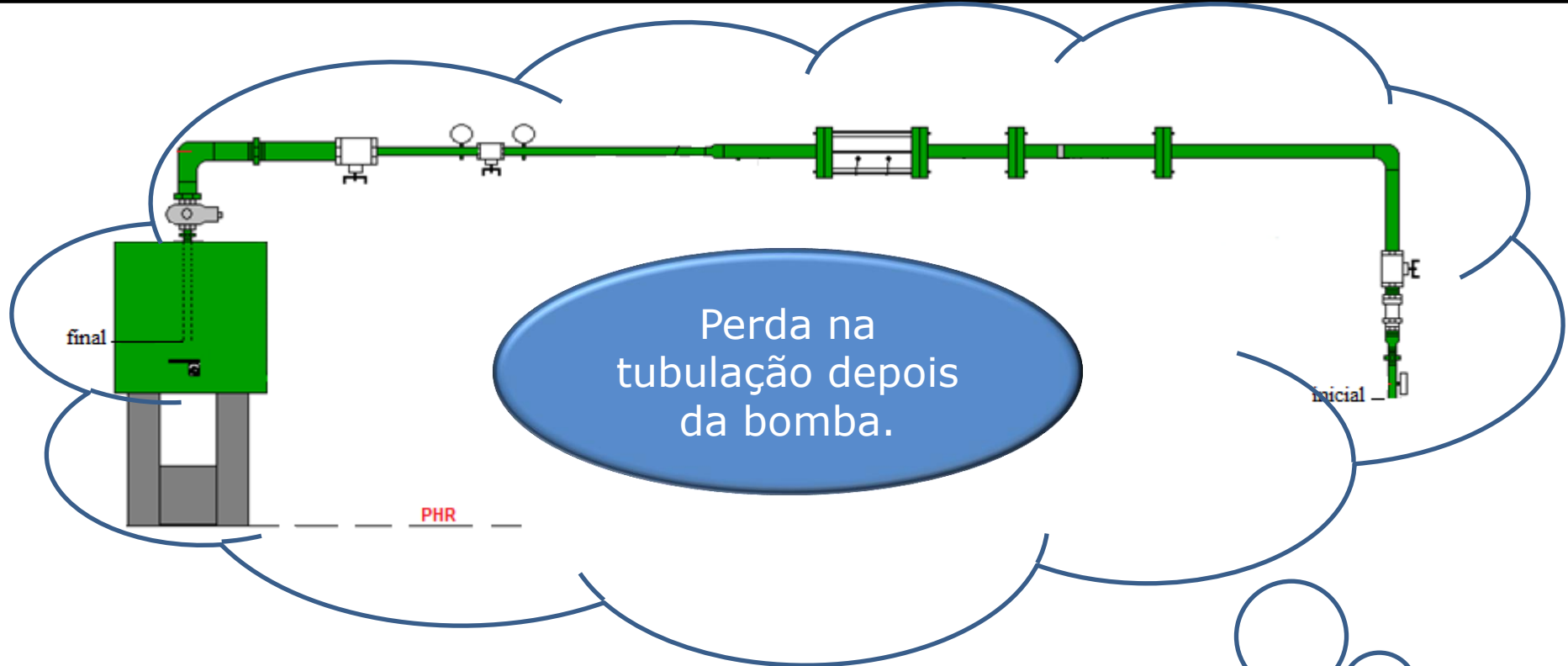
Vamos agora calcular a perda na tubulação após a bomba através do mesmo procedimento.





Seria a tubulação de recalque!



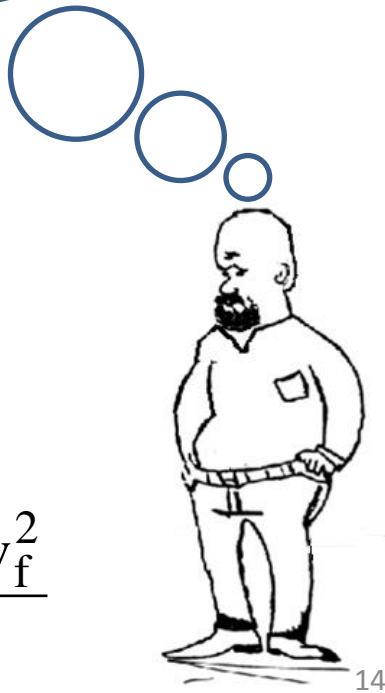


Perda na tubulação depois da bomba.

$$H_s = H_{\text{final}} + H_{\text{pdB}}$$

$$z_s + \frac{p_s}{\gamma} + \frac{\alpha_s \times v_s^2}{2g} = z_f + \frac{p_f}{\gamma} + \frac{\alpha_f \times v_f^2}{2g} + H_{\text{pdB}}$$

$$H_{\text{pdB}} = (z_s - z_f) + \frac{p_{\text{ms}} + \gamma \times h_s}{\gamma} + \frac{\alpha_s \times v_s^2 - \alpha_f \times v_f^2}{2g}$$



Exemplo de cálculo na bancada 1 do laboratório




Bancada	L1 (m)	L2 (m)	hs (cm)
1	0,74	0,74	9

Dados coletados pelos monitores

Bancada	Ensaio s	Δh (mm)	t(s)	pms (Kpa)	z_s (cm)	z_1 (cm)	z_2 (cm)	z_f (cm)
1	1	100	20,1	190	101	202	114	88
	2	100	27,68	225				
	3	100	46,03	260				

Bancada	Ensaio	Q (L/s)	v_s (m/s)	v_f (m/s)	ps (Pa)	H_{pdB} (m)
1	1	2,7	4,9	4,9	190880,1	19,7
	2	2,0	3,6	3,6	225880,1	23,2
	3	1,2	2,1	2,1	260880,1	26,8

A black and white cartoon illustration of a lecture hall. A professor with a beard and a white shirt stands at the front, looking towards the students. Several students are seated at desks, some looking at the professor, others looking at their papers. The scene is framed by a simple black border.

Observamos que com o aumento da vazão ocorre uma diminuição da perda de carga.

Isto é o oposto ao observado aB!

E agora?

$$H_{pdB} = f \times \frac{(L + \sum Leq)_{dB}}{D_H} \times \frac{Q^2}{2g \times A^2}$$

$(L + \sum Leq)_{dB} = L_{totaldB}$ = aumenta com a diminuição da Q

$$H_{paB} = f \times \left(\frac{L_{totaldB}}{D_H \times 2g \times A^2} \right) \times Q^2$$


$$H_{paB} = f \times \frac{L_{totaldB}}{cte} \times Q^2$$

Reflitam: diminuindo a Q, temos um aumento tanto do "f" como do $L_{totaldB}$, será que aumentam mais que a Q diminui?



Para responder a este novo questionamento, vamos à bancada do laboratório para calcular os comprimentos equivalentes da válvula globo com o seu fechamento parcial!





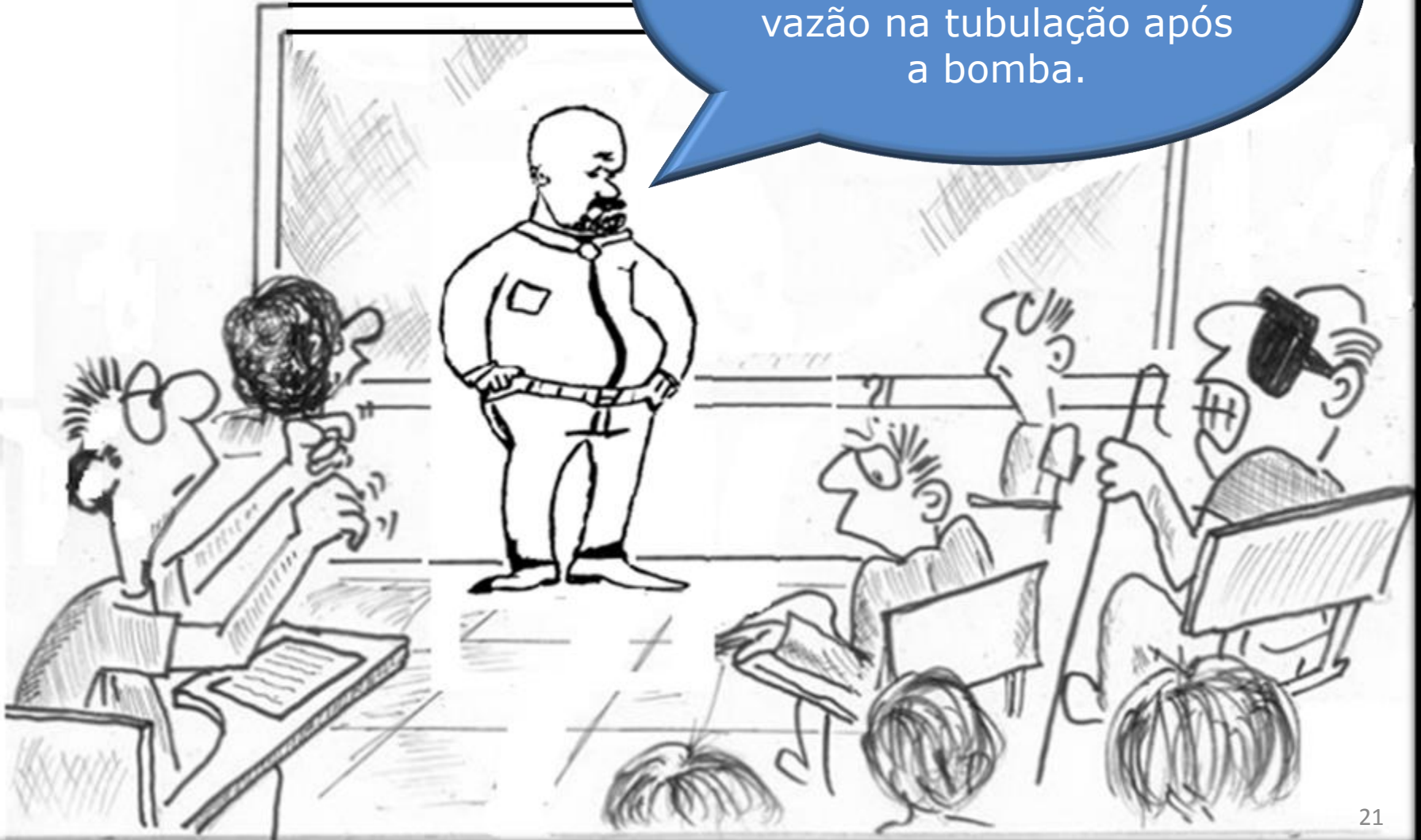
O engenheiro
além de
resolver
problemas tem
que criar
oportunidade!



Resolvendo
problemas e
criando
oportunidades
será feliz em
sua profissão!



Refletindo o porque da perda ter aumentado com a diminuição da vazão na tubulação após a bomba.



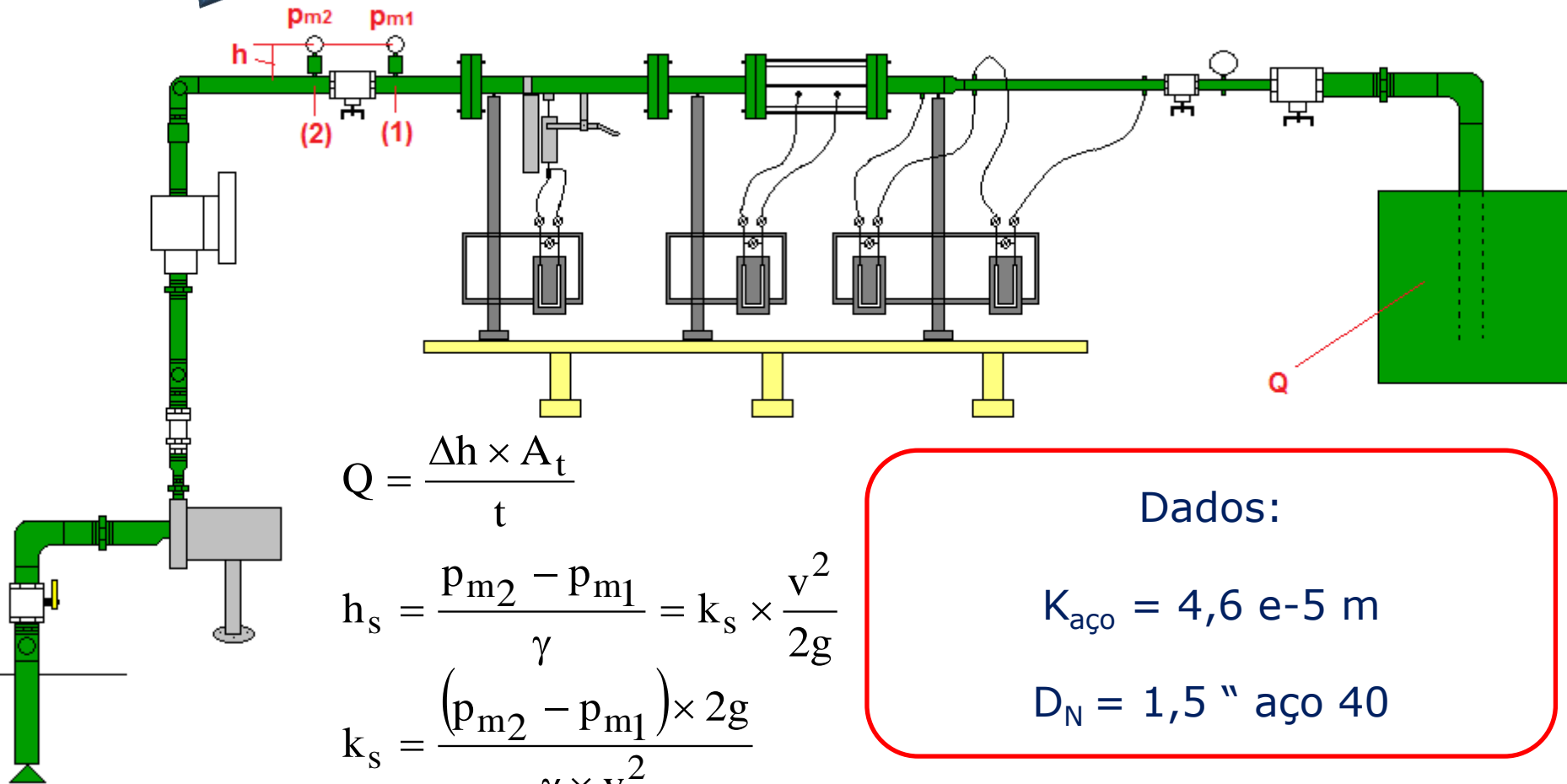


Proponho que vocês determinem o comprimento equivalente da válvula globo da bancada 7 para no mínimo quatro vazões sendo que uma deve ser a vazão máxima.

Não podemos esquecer de anotar a temperatura d'água.

Exemplo:

BANCADA 7



$$Q = \frac{\Delta h \times A_t}{t}$$

$$h_s = \frac{p_{m2} - p_{m1}}{\gamma} = k_s \times \frac{v^2}{2g}$$

$$k_s = \frac{(p_{m2} - p_{m1}) \times 2g}{\gamma \times v^2}$$

$f \rightarrow$ determinado na página www.escoladavida.eng.br

$$Leq = \frac{K_s \times D_H}{f}$$

Dados:

$$K_{aço} = 4,6 \text{ e-}5 \text{ m}$$

$$D_N = 1,5 \text{ " aço 40}$$

Mãos a obra!



Ensaio	Δh (mm)	t(s)	P_{m2} (_____)	P_{m1} (_____)
1				
2				
3				
4				

Tanque: $L_1 =$ e $L_2 =$

Temperatura d'água: $^{\circ}F$

Calculando o comprimento
equivalente da válvula globo das
bancadas 7.



E simulando uma prova de laboratório.

Essa eu quero ver!

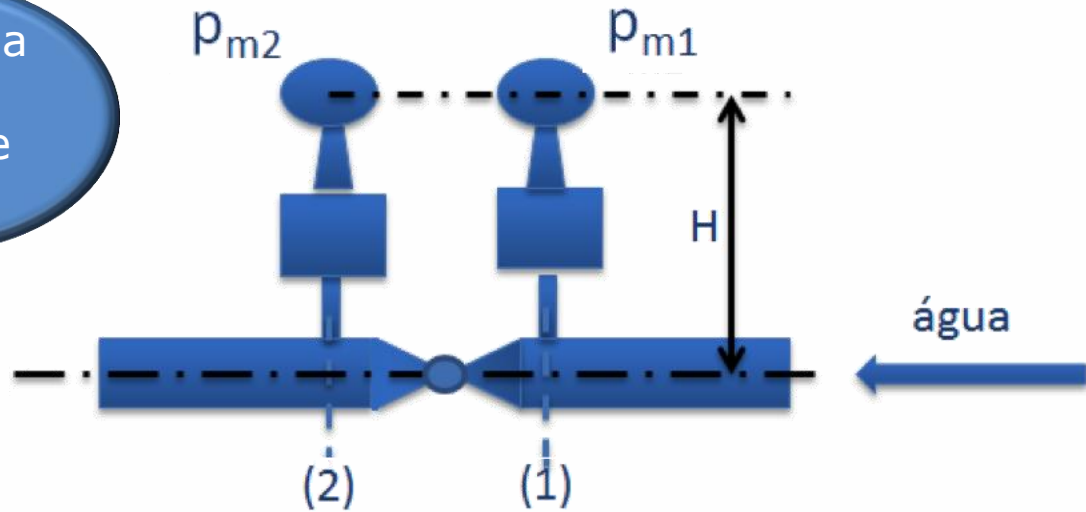


Considerando os dados a seguir que foram obtidos na bancada 7 do laboratório e sendo conhecidas as equações dadas, pede-se calcular o comprimento equivalente da válvula globo reta sem guia de 1,5".





Esboço da
válvula
globo de
1,5"



Ensaio	P _{m1} (kPa)	P _{m2} (kPa)	Δh (mm)	t (s)
3	300	46	100	43

Tanque superior L₁ = L₂ = 738 mm

Temperatura da água 76,1°F

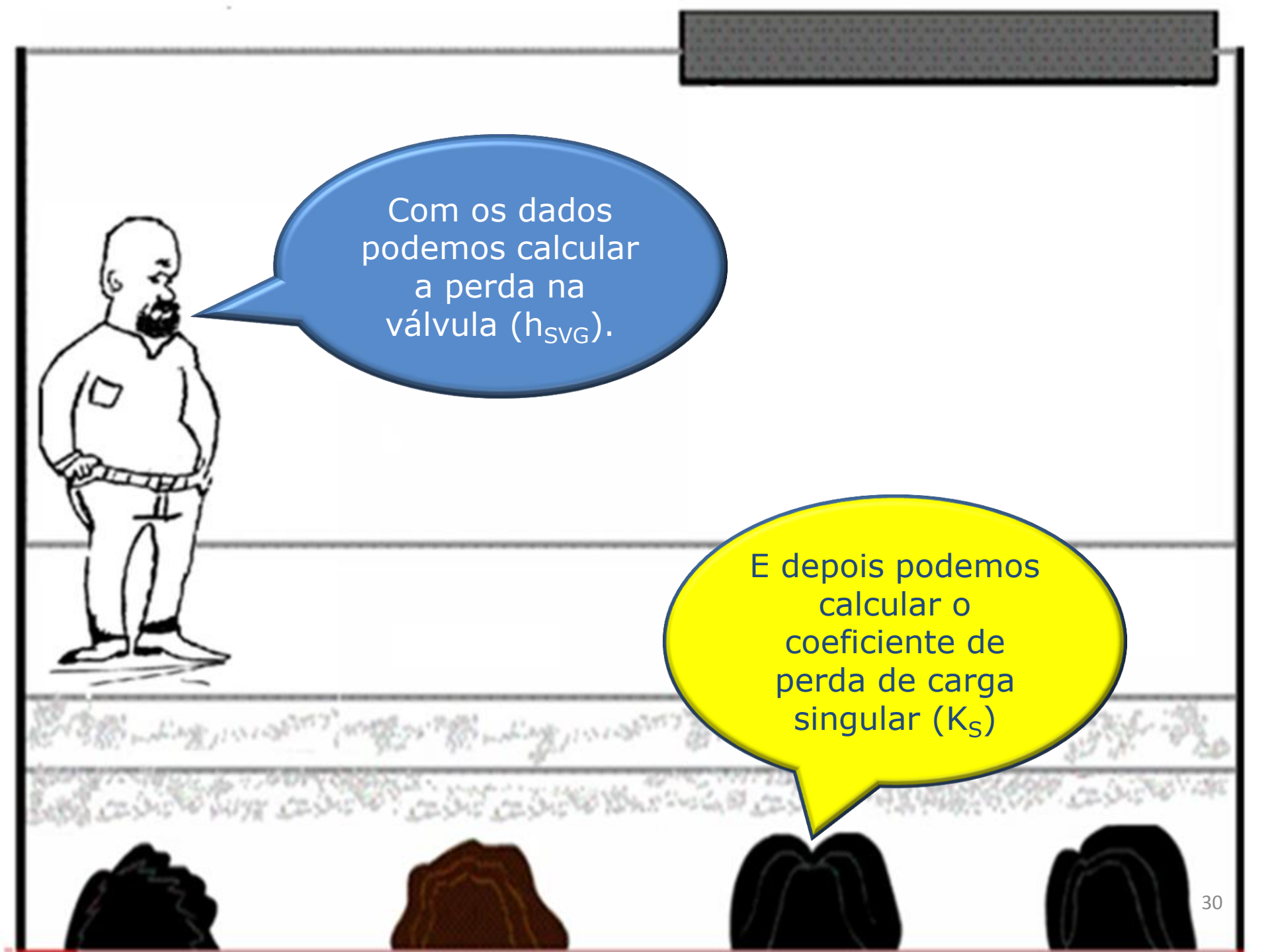
$$z = \frac{273(K)}{T(K)}$$

$$\rho_{\text{água}} = 1000 - 0,0178 \times |tc - 4|^{1,7} \pm 0,2\% \rightarrow [\rho_{\text{água}}] = \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\ln \frac{\mu}{\mu_0} \cong -1,704 - 5,306 \times z + 7,003 \times z^2 \rightarrow \mu_0 = 1,788 \times 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{m} \times \text{s}}$$

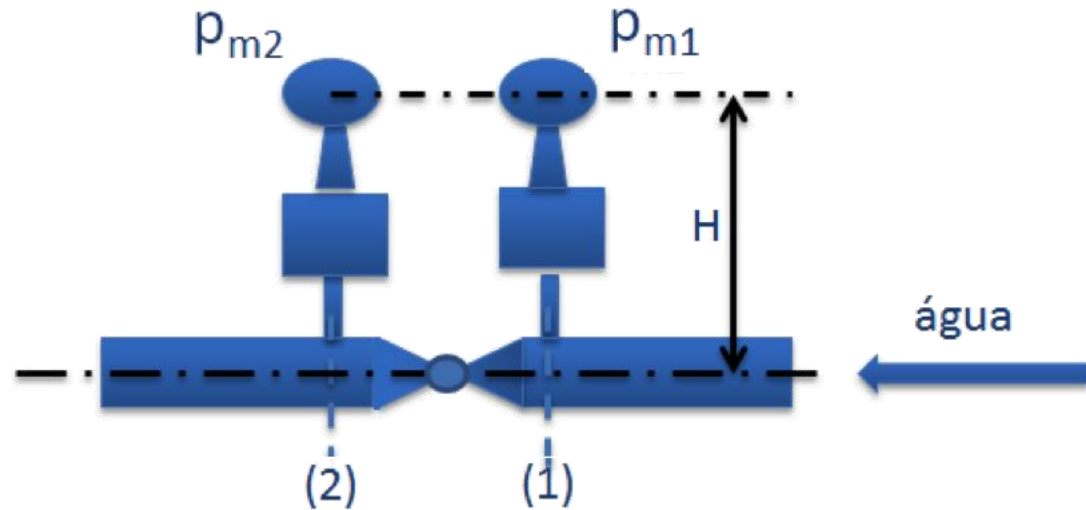
$$\frac{\text{kg}}{\text{m} \times \text{s}} = \text{Pa} \times \text{s}$$





Com os dados
podemos calcular
a perda na
válvula (h_{SVG}).

E depois podemos
calcular o
coeficiente de
perda de carga
singular (K_S)



$$H_1 = H_2 + H_{p1-2}$$

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{\alpha_1 \times v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{\alpha_2 \times v_2^2}{2g} + h_{SVG}$$

$$PH \Rightarrow z_2 = z_1 = \text{constante}$$

$$D = \text{cte} \Rightarrow v_2 = v_1 \Rightarrow \alpha_2 = \alpha_1$$

$$\therefore h_{SVG} = \frac{p_1 - p_2}{\gamma} = \frac{\rho_{m1} + \gamma \times H - \rho_{m2} - \gamma \times H}{\gamma} = \frac{\rho_{m1} - \rho_{m2}}{\gamma}$$



Relembrando a fórmula para o cálculo da perda de carga singular.

$$h_{sVG} = K_{sVG} \times \frac{v^2}{2g}$$

$$h_{sVG} = K_{sVG} \times \frac{Q^2}{2g \times A^2}$$

$$K_{sVG} = \frac{h_{sVG} \times 2g \times A^2}{Q^2}$$

Aí podemos pensar em calcular o Leq

Mas antes temos que calcular o coeficiente de perda de carga distribuída.



Proponho a fórmula de Churchill já que ela vale tanto para o escoamento laminar como para o turbulento.

Determinação do f pela fórmula de Churchill

$$f = 8 \times \left\{ \left(\frac{8}{\text{Re}} \right)^{12} + \left[\frac{1}{(A + B)^{1,5}} \right] \right\}^{\frac{1}{12}}$$

$$A = \left\{ -2,457 \times \ln \left[\left(\frac{7}{\text{Re}} \right)^{0,9} + \frac{0,27 \times K}{D} \right] \right\}^{16}$$

$$B = \left(\frac{37530}{\text{Re}} \right)^{16}$$

$$\text{Re} = \frac{\rho \times v \times D}{\mu}$$


$$\text{Re} = \frac{v \times D}{\nu}$$

Dados:

Tubo de aço 40 com diâmetro nominal de 1,5" portanto $D_{\text{int}} = 40,8 \text{ mm}$ e $A = 13,1 \text{ cm}^2$



Como eu começo?



Calculando a massa específica, a perda singular e a vazão de escoamento.

$$t_C = \frac{100}{180} \times (76,1 - 32) = 24,5^\circ\text{C}$$

$$\rho_{24,5^\circ\text{C}} = 1000 - 0,0178 \times |24,5 - 4|^{1,7}$$

$$\rho_{24,5^\circ\text{C}} \cong 996,98 \approx 997 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$h_{\text{SVG}} = \frac{(300 - 46) \times 1000}{997 \times 9,8} \cong 26\text{m}$$

$$Q = \frac{0,738^2 \times 0,1}{43} \cong 1,27 \times 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

E aí podemos pensar em calcular o comprimento equivalente.

$$Leq_{VG} = \frac{K_{SVG} \times D_H}{f} = \frac{K_{SVG} \times 40,8 \times 10^{-3}}{f}$$



Portanto, vamos calcular o K_S e o f

Já que calculamos a perda de carga na válvula globo (h_{SVG}) e a vazão, podemos calcular o coeficiente de perda singular.





$$K_S = \frac{h_S \times 2g}{v^2} = \frac{h_S \times 2g \times A_D^2}{Q^2}$$

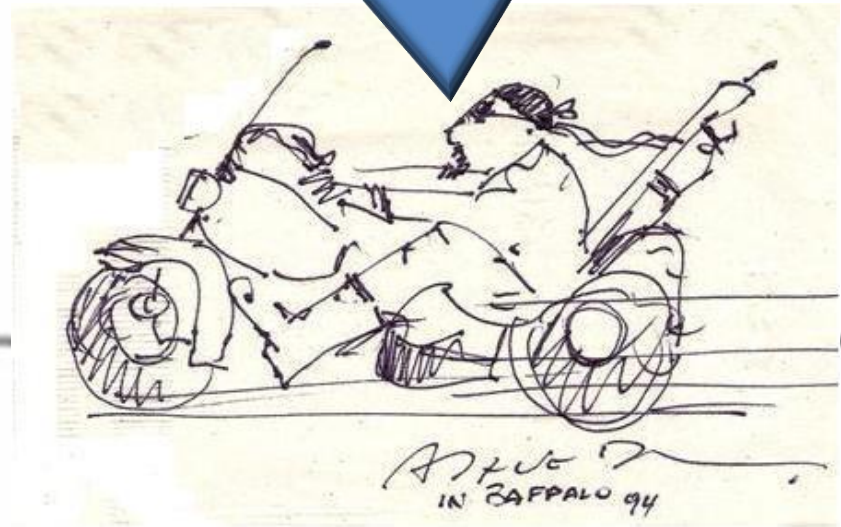
$$K_S = \frac{h_S \times 19,6 \times (13,1 \times 10^{-4})^2}{Q^2}$$



$$K_S = \frac{26 \times 19,6 \times (13,1 \times 10^{-4})^2}{(1,27 \times 10^{-3})^2}$$

$$\therefore K_S \cong 542,21$$

Agora é só calcular o coeficiente de perda de carga distribuída.





Começamos
calculando o
número de
Reynolds

$$Re = \frac{\rho \times v \times D}{\mu} = \frac{\rho \times Q \times D}{\mu \times A}$$

$$Re = \frac{997 \times 1,27 \times 10^{-3} \times 40,8 \times 10^{-3}}{\mu \times 13,1 \times 10^{-4}}$$

$$Re = \frac{39,43553588}{\mu}$$

E aí, temos que
calcular a
viscosidade!



Artista
IN BAFALO 94



$$\ln \frac{\mu}{1,788 \times 10^{-3}} \cong -1,704 - 5,306 \times z + 7,003 \times z^2 \rightarrow z = \frac{273}{273 + 24,5}$$

$$\ln \frac{\mu}{1,788 \times 10^{-3}} \cong -1,704 - 5,306 \times \left(\frac{273}{273 + 24,5} \right) + 7,003 \times \left(\frac{273}{273 + 24,5} \right)^2$$

$$\mu = 1,788 \times 10^{-3} \times e^{-0,675976193} \therefore \mu \cong 9,1 \times 10^{-4} (\text{Pa} \times \text{s})$$

Aí com Reynolds e a viscosidade, podemos calcular B e A.

$$Re = \frac{39,43553588}{9,1 \times 10^{-4}} \cong 43335,8$$

$$B = \left(\frac{37530}{43335,8} \right)^{16} \cong 0,100$$

$$A = \left\{ -2,457 \times \ln \left[\left(\frac{7}{43335,8} \right)^{0,9} + \frac{0,27 \times 4,6 \times 10^{-5}}{40,8 \times 10^{-3}} \right] \right\}^{16}$$

$$A \cong 1,091 \times 10^{20}$$

Agora podemos
calcular o f e o Leq!





$$f = 8 \times \left\{ \left(\frac{8}{43335,8} \right)^{12} + \left[\frac{1}{\left(1,091 \times 10^{20} + 0,100 \right)^{1,5}} \right] \right\}^{\frac{1}{12}}$$
$$f \cong 0,02502407 \approx 0,0251$$

$$Leq = \frac{542,21 \times 40,8 \times 10^{-3}}{0,0251} \cong 881,4\text{m}$$

$$H_p = f \times \frac{(L + \sum Leq + Leq_{VG})}{D_H} \times \frac{Q^2}{2g \times A^2} \rightarrow Q \downarrow \Rightarrow f \uparrow \Rightarrow Leq_{VG} \uparrow \uparrow \uparrow \therefore H_p \uparrow$$

que é oposto observado na tubulação antes da bomba