

PROJETO DE UMA INSTALAÇÃO DE BOMBEAMENTO BÁSICA

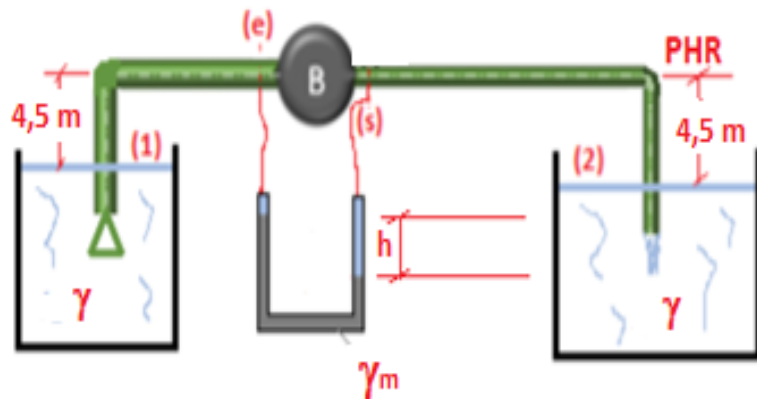


RAIMUNDO FERREIRA IGNÁCIO



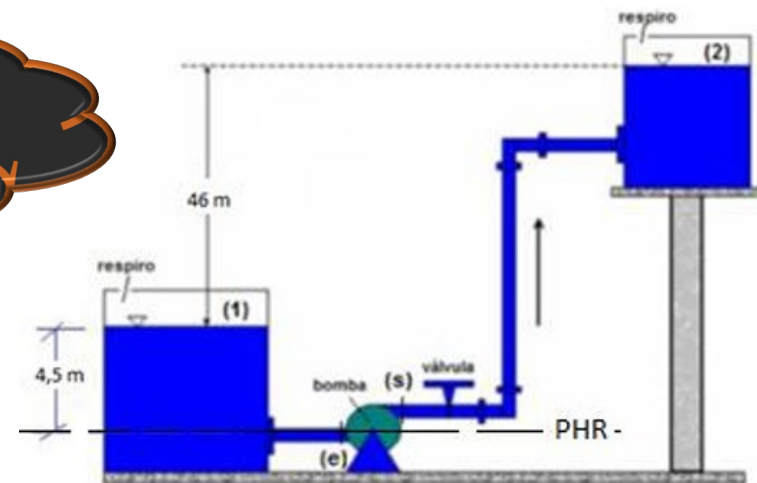
Cálculos das perdas de carga



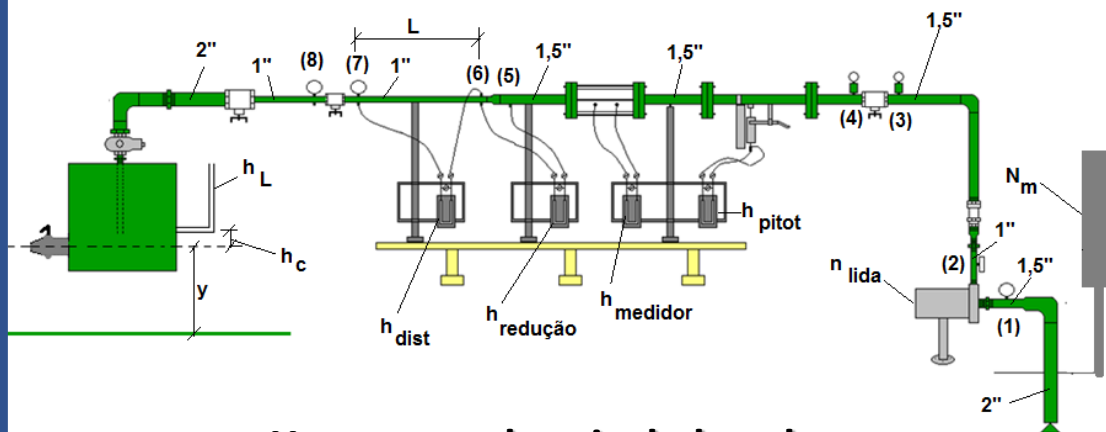


$p_s - p_e$; desnível h e $H_{p_{inst}}$

Nas primeiras aulas,
calculamos:



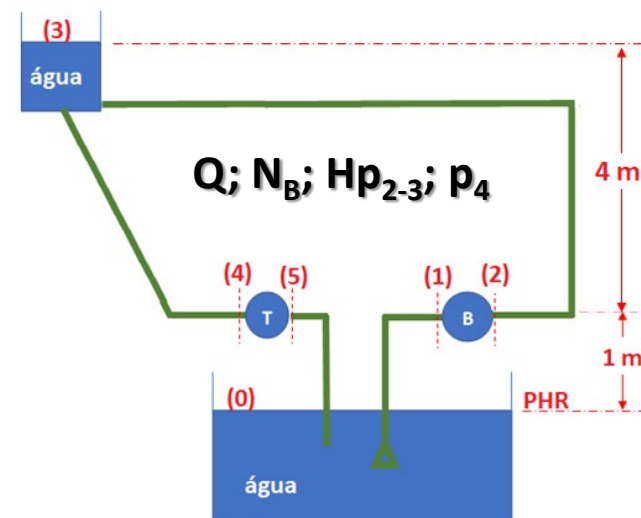
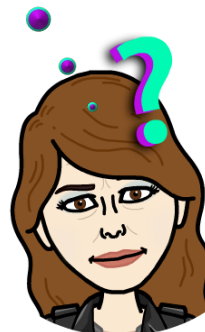
H_B ; N_B ; Pitot: v e desnível h



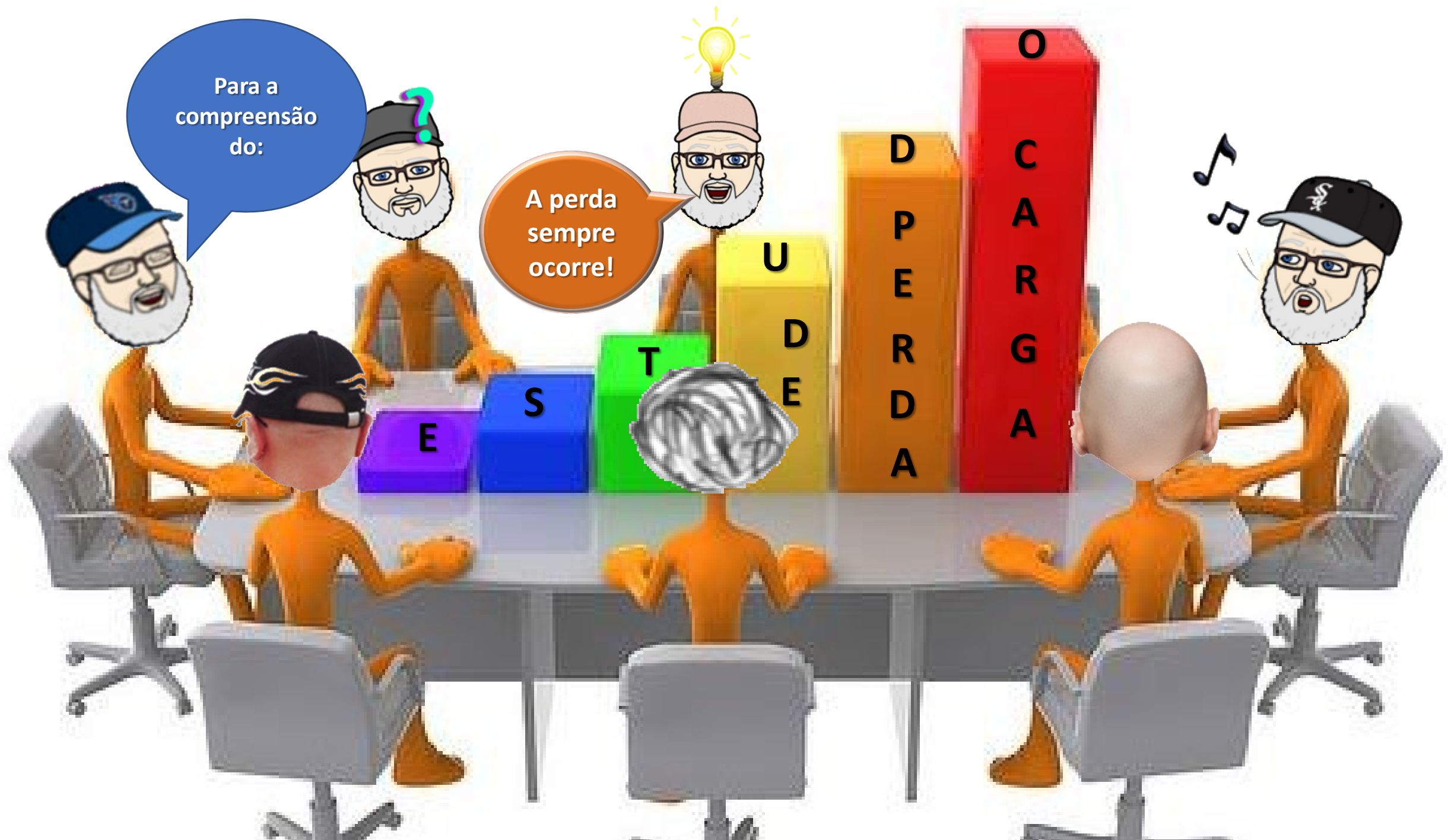
as H_p antes e depois da bomba



Para que?

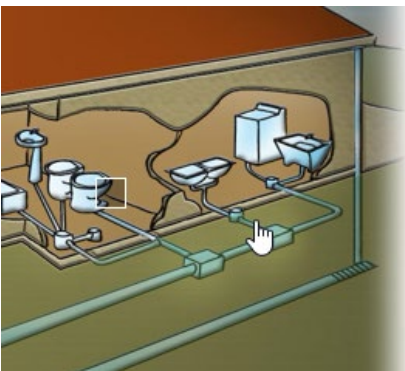


Q ; N_B ; $H_{p_{2-3}}$; p_4





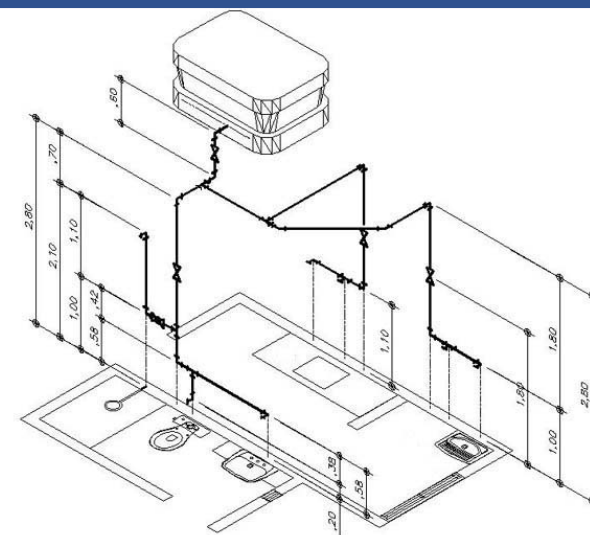
Sim, dentro das tubulações, sempre são originadas as perdas de carga e, para assegurar um bom funcionamento de uma instalação hidráulica, é essencial os cálculos das mesmas!



Você pode definir tubulação?



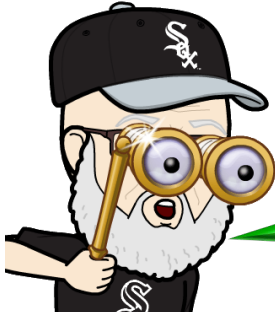
É o conjunto de tubos e acessórios hidráulico (conexões, curvas, válvulas, reduções, ampliações, flanges, ...) utilizados para transportar um fluido!



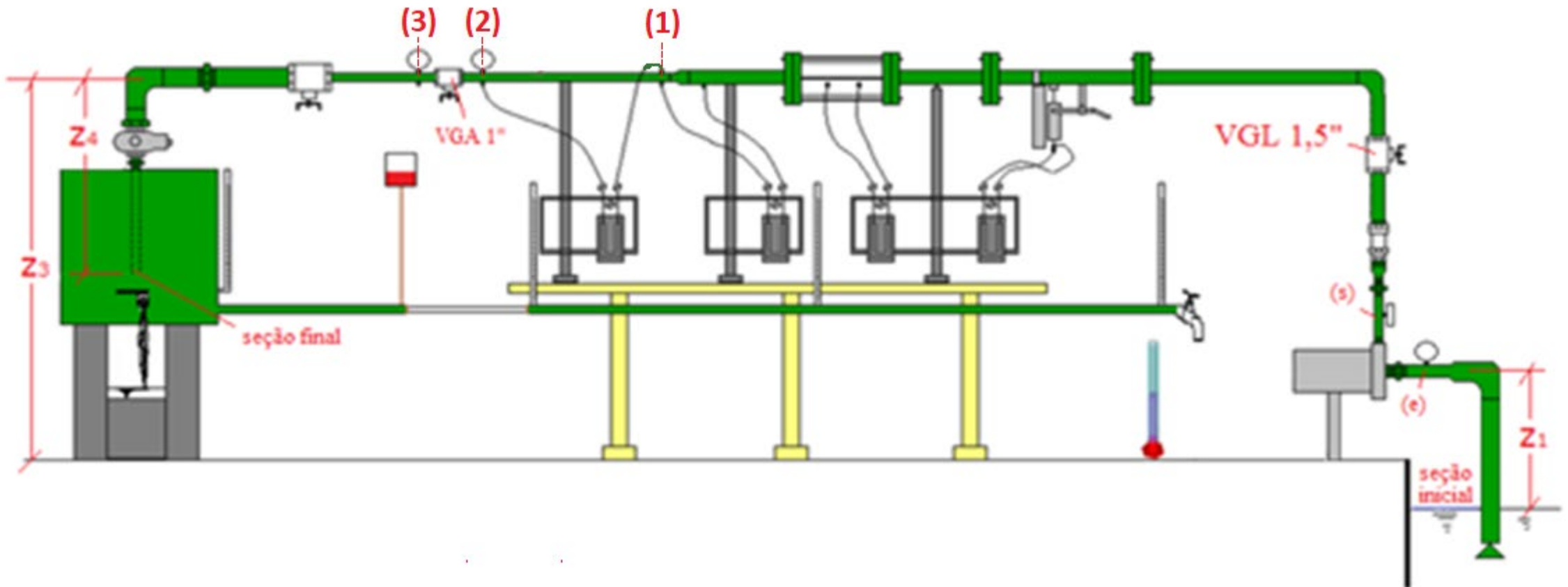


A perda de carga em uma
instalação sempre acarreta
uma redução de pressão no
sentido de escoamento!

Isto foi observado
experimentalmente?

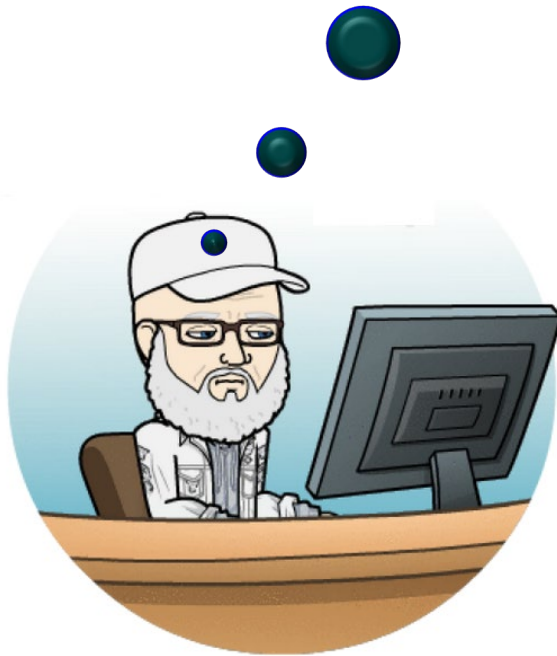
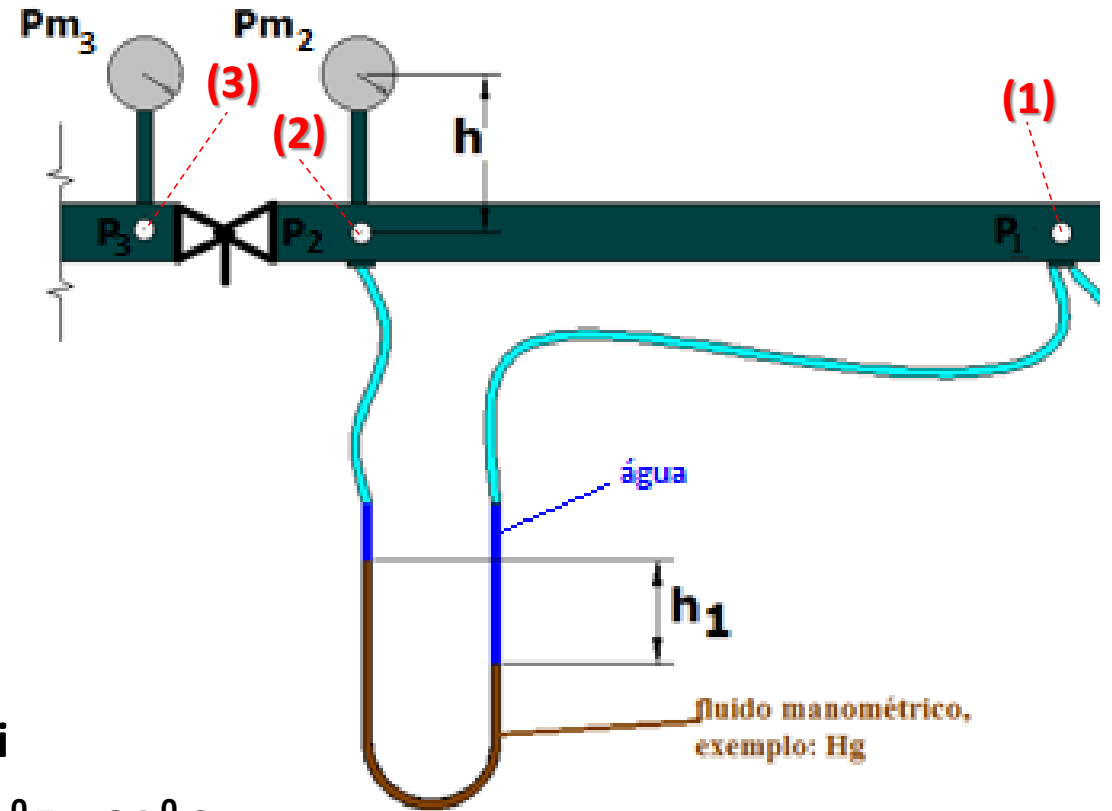


Sim, vejamos isto através da bancada de laboratório, onde consideramos inicialmente as seções (1), (2) e (3)



A coleta dos dados pode ser vista
no YouTube:

<https://youtu.be/t7l9kJepBk>



$$h_1 = 196\text{mm}$$

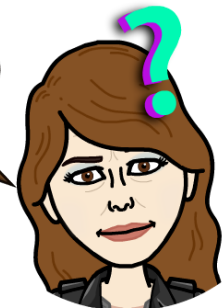
$$p_{m2} = 12\text{psi}; p_{m3} = 8,5\text{psi}$$

temperatura d'água $69^{\circ}\text{F} \approx 21^{\circ}\text{C}$

$$\rho_{\text{água}} = 998 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}; v_{\text{água}} = 0,98 \times 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$\rho_{\text{Hg}} = 13543 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}; g = 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

E agora?



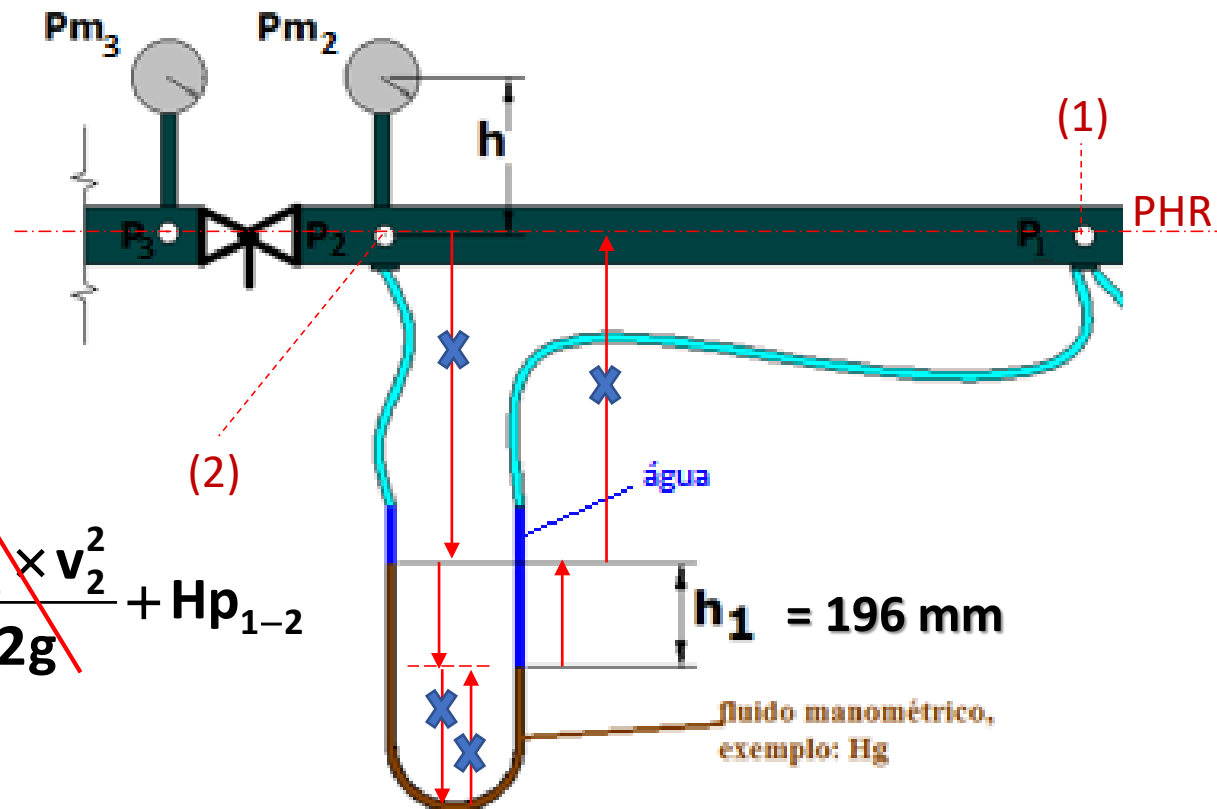


Aplicamos a equação da energia de (1) a (2):

$$H_1 = H_2 + H_{p_{1-2}}$$

$$\cancel{z_1} + \frac{\cancel{p_1}}{\gamma} + \frac{\cancel{\alpha_1} \times \cancel{v_1^2}}{2g} = \cancel{z_2} + \frac{\cancel{p_2}}{\gamma} + \frac{\cancel{\alpha_2} \times \cancel{v_2^2}}{2g} + H_{p_{1-2}}$$

$$\therefore H_{p_{1-2}} = \frac{p_1 - p_2}{\gamma}$$



Aplicamos a equação manométrica de (1) a (2) com origem em (2):

$$\rho_{\text{água}} = 998 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}; \rho_{\text{Hg}} = 13543 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}; g = 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}; \gamma = \rho \times g$$

$$p_2 + h_1 \times \gamma_{\text{Hg}} - h_1 \times \gamma_{\text{água}} = p_1$$

$$\therefore H_{p_{1-2}} = \frac{0,196 \times 9,8 \times (13543 - 998)}{998 \times 9,8} \cong 2,5 \text{ m}$$

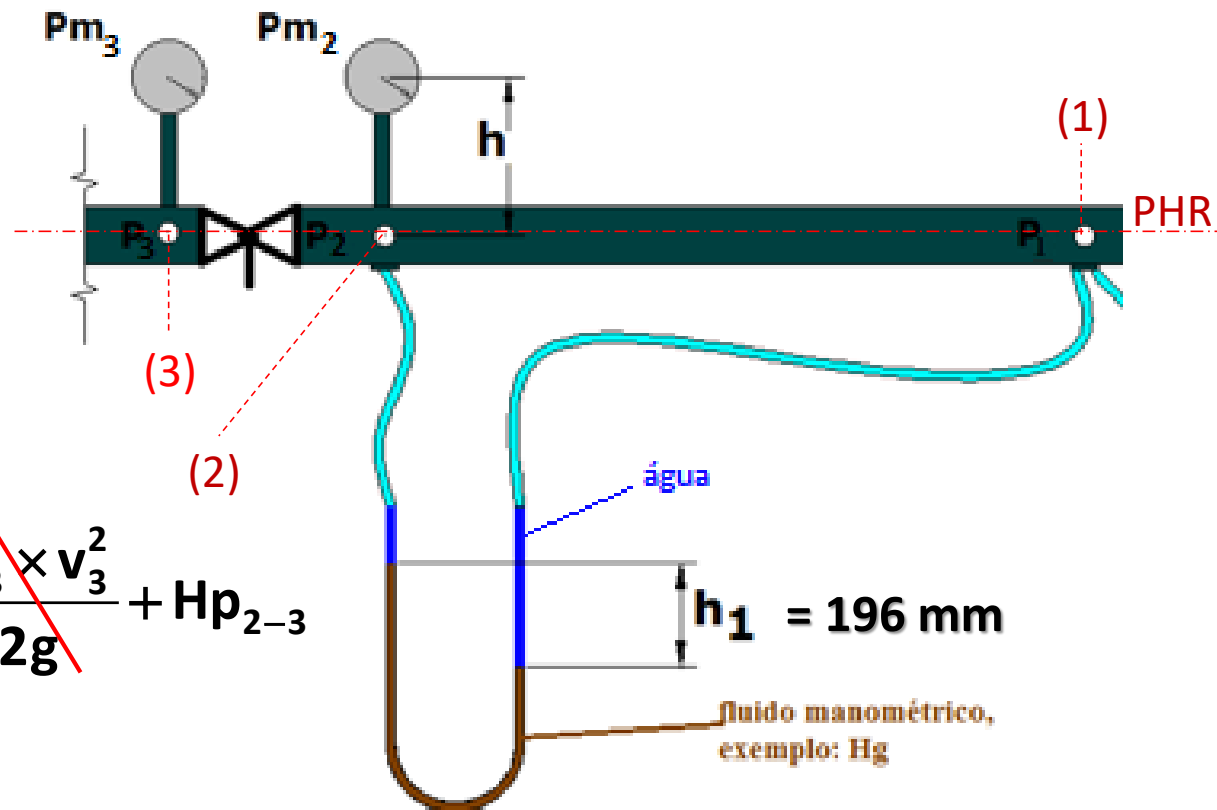


Agora aplicamos a equação da energia de (2) a (3):

$$H_2 = H_3 + H_{p_{2-3}}$$

$$\cancel{z_2} + \cancel{\frac{p_2}{\gamma}} + \cancel{\frac{\alpha_2 \times v_2^2}{2g}} = \cancel{z_3} + \frac{p_3}{\gamma} + \cancel{\frac{\alpha_3 \times v_3^2}{2g}} + H_{p_{2-3}}$$

$$\therefore H_{p_{2-3}} = \frac{p_2 - p_3}{\gamma}$$



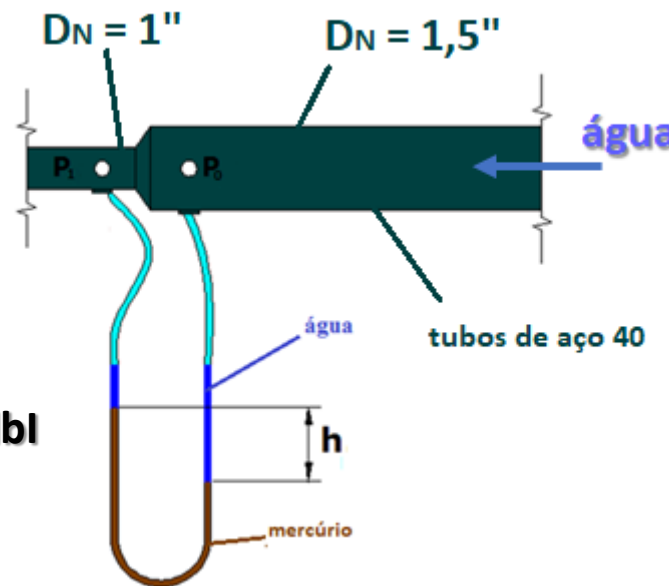
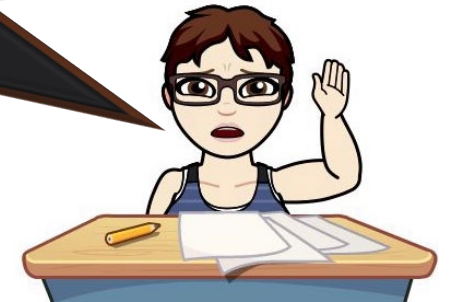
Basta a transformação de psi para Pa e como "h" está na seção (2) e (3), não há necessidade de correção das pressões nestas seções.

$$p_{m2} = 12\text{psi}; p_{m3} = 8,5\text{psi} \quad 1\text{psi} \cong 6894,76\text{Pa}$$

$$\therefore H_{p_{2-3}} = \frac{6894,76 \times (12 - 8,5)}{998 \times 9,8} \cong 2,47\text{m}$$

Nos cálculos anteriores, a vazão apesar de influenciar nas leituras das pressões manométricas e no desnível do mercúrio, não entrou no cálculo das perdas, é sempre assim?

Não! Para justificar minha resposta acompanhe o próximo exemplo.



A coleta dos dados pode ser vista no YouTube:

https://youtu.be/ta_YdwO2dbI

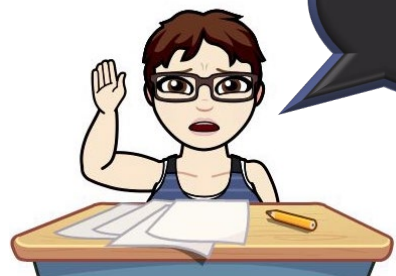


$h = 106\text{mm}$

temperatura d'água $69^{\circ}\text{F} \approx 21^{\circ}\text{C}$

$$\rho_{\text{água}} = 998 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}; v_{\text{água}} = 0,98 \times 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$\rho_{\text{Hg}} = 13543 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}; g = 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

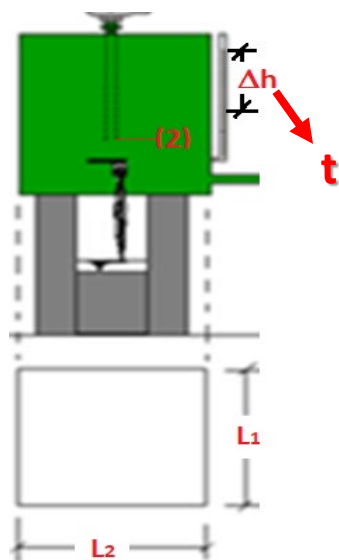


E a
vazão?



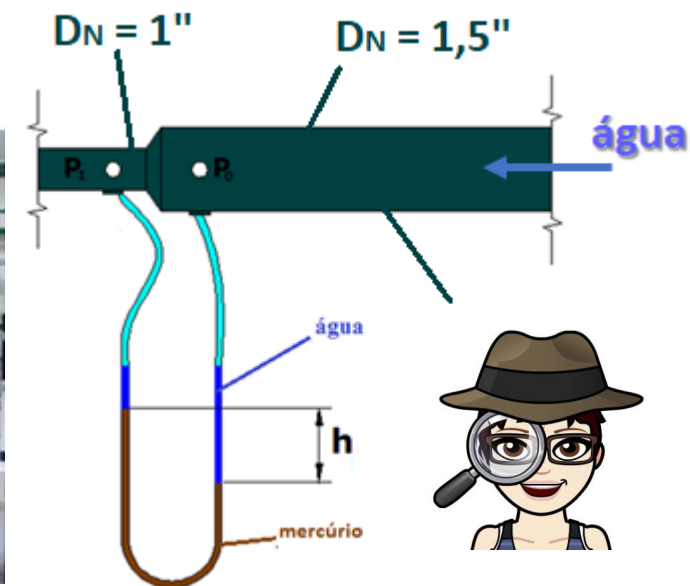
Será calculada
com os dados
coletados como
pode ser visto no
YouTube:

https://youtu.be/ta_YdwO2dbI



$$\Delta h = 100\text{mm} \Rightarrow t = 22,3\text{s}$$

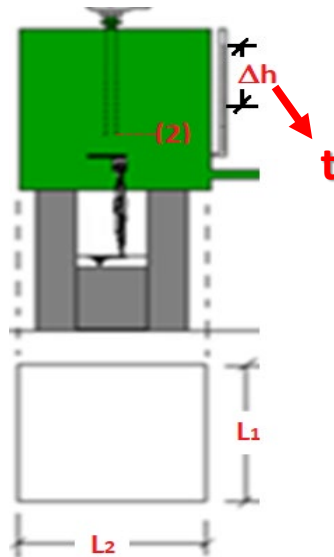
$$L_1 = 73,5\text{cm}; L_2 = 74\text{cm}$$





Vamos começar calculando a vazão (Q):

$$Q = \frac{\text{volume}}{\text{tempo}}$$



$$Q = \frac{\Delta h \times (L_1 \times L_2)}{t}$$

$$Q = \frac{0,1 \times (0,735 \times 0,74)}{22,3}$$

$$Q \cong 2,44 \times 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 2,44 \frac{\text{L}}{\text{s}}$$

$$D_N = 1,5'' \rightarrow \text{ANSI B3610} \rightarrow D_{\text{int}} = 40,8\text{mm} \Leftrightarrow A = 13,1\text{cm}^2$$

$$v_{1,5''} = \frac{2,44 \times 10^{-3}}{13,1 \times 10^{-4}} \cong 1,9 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$D_N = 1'' \rightarrow \text{ANSI B3610} \rightarrow D_{\text{int}} = 26,6\text{mm} \Leftrightarrow A = 5,57\text{cm}^2$$

$$v_{1''} = \frac{2,44 \times 10^{-3}}{5,57 \times 10^{-4}} \cong 4,4 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Aí lembramos o Alemão
 $Q = vA$ e calculamos as
 velocidades médias:

$$v = \frac{Q}{A}$$





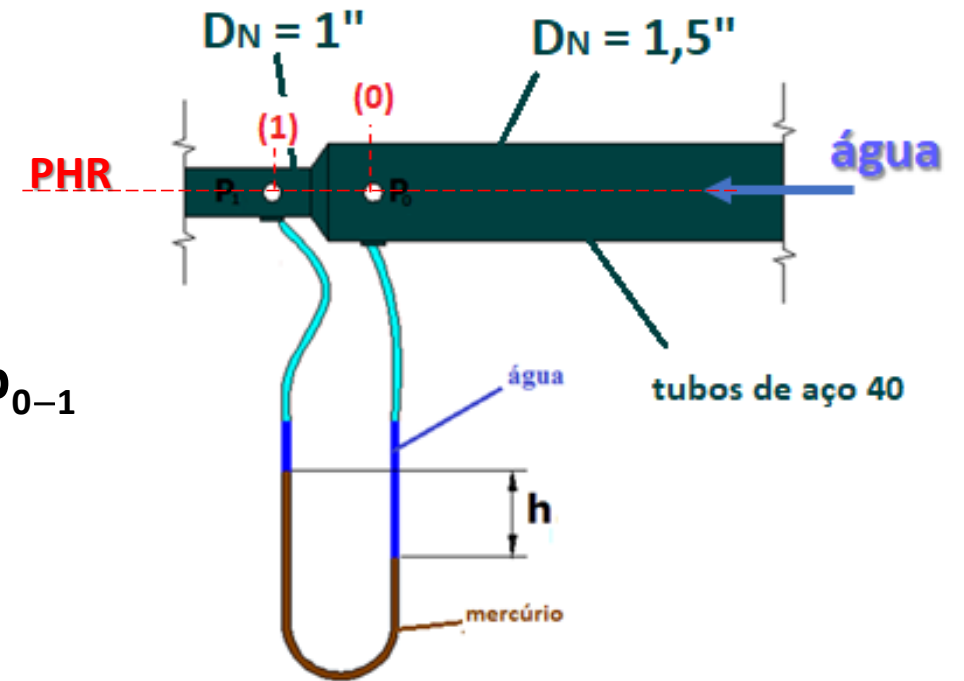
Aplicamos a equação da energia de (0) a (1):

$$H_0 = H_1 + H_{p_{0-1}}$$

$$\cancel{z_0} + \frac{p_0}{\gamma} + \frac{\alpha_0 \times v_0^2}{2g} = \cancel{z_1} + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{\alpha_1 \times v_1^2}{2g} + H_{p_{0-1}}$$

$$\therefore H_{p_{0-1}} = \frac{p_0 - p_1}{\gamma} + \frac{\alpha_0 v_0^2 - \alpha_1 v_1^2}{2g}$$

$$\rho_{\text{água}} = 998 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}; v_{\text{água}} = 0,98 \times 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$



$$Re_{1,5''} = \frac{1,9 \times 0,0408}{0,98 \times 10^{-6}} \cong 79102$$

$$\therefore \alpha_0 \cong 1,0 \Rightarrow Re_{1''} > Re_{1,5''} \therefore \alpha_1 \cong 1,0$$

Para definir os coeficientes de Coriolis, calculamos o número de Reynolds

$$Re = \frac{\rho \times v \times D_H}{\mu} = \frac{v \times D_H}{\nu}$$





Aplicamos a equação manométrica de (0) a (1) com origem em (0):

$$\rho_{\text{água}} = 998 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}; \rho_{\text{Hg}} = 13543 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}; g = 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}; \gamma = \rho \times g$$

$$p_0 + h \times \gamma_{\text{água}} - h \times \gamma_{\text{Hg}} = p_1$$

$$p_0 - p_1 = 0,106 \times 9,8 \times (13543 - 998)$$

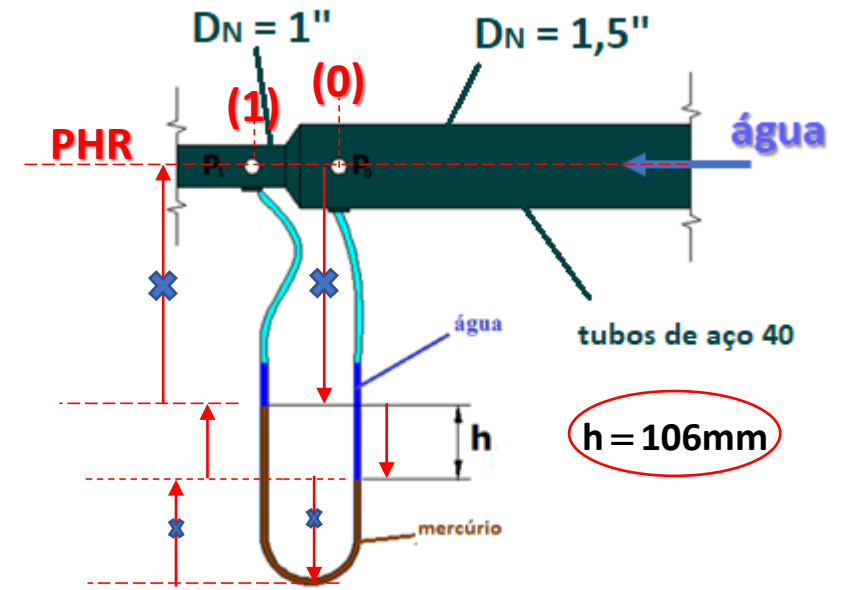
$$p_0 - p_1 \cong 13031,746 \text{ Pa}$$

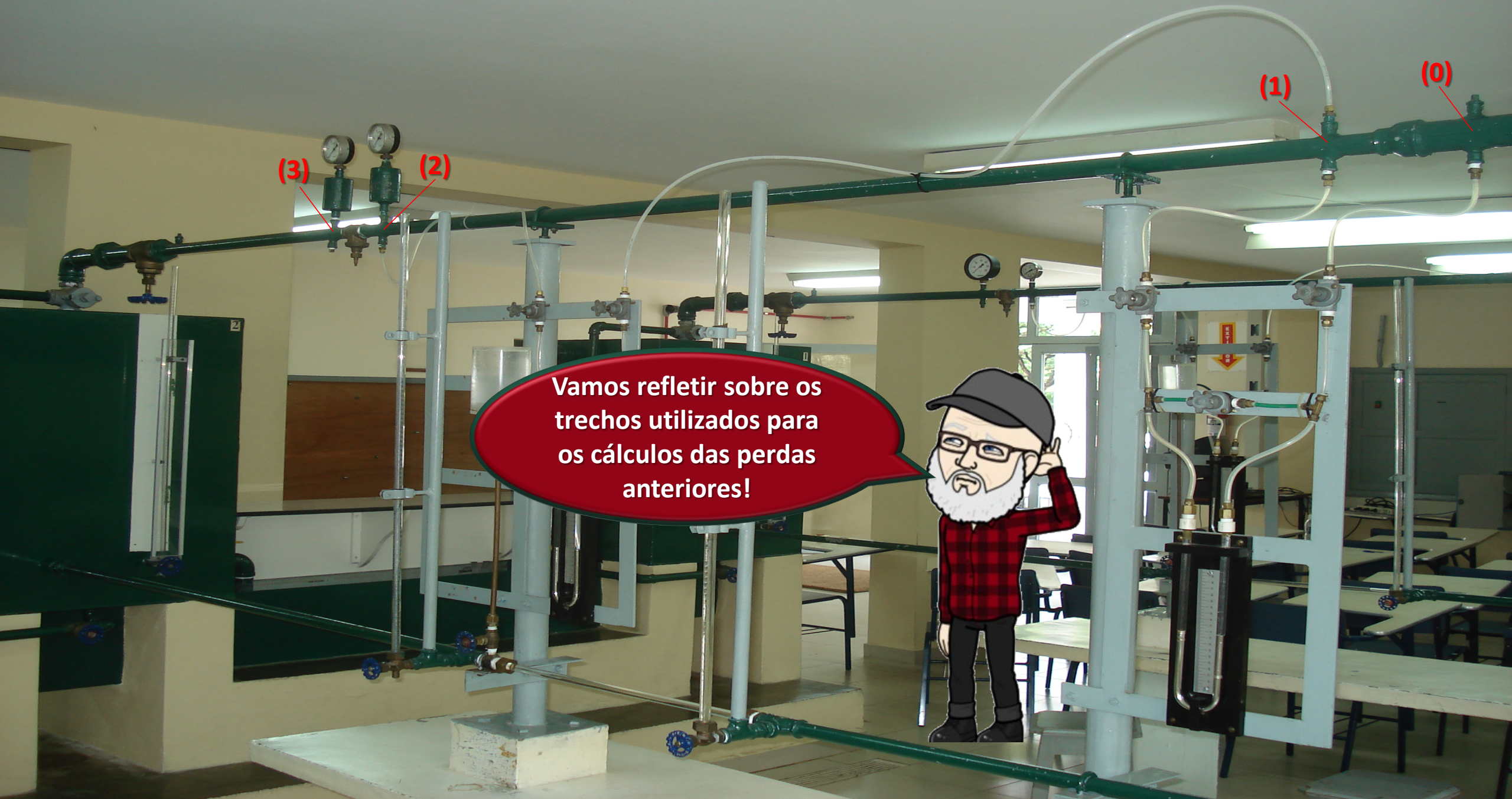


Agora é calcular a perda de carga na redução:

$$H_{p_{0-1}} = \frac{13031,746}{998 \times 9,8} + \frac{1 \times 1,9^2 - 1 \times 4,4^2}{2 \times 9,8}$$

$$\therefore H_{p_{0-1}} \cong 0,529 \text{ m}$$





Vamos refletir sobre os trechos utilizados para os cálculos das perdas anteriores!



Considerando os comprimentos, podemos afirmar que em relação ao comprimento total da bancada, temos: L_{0-1} desprezível; L_{1-2} não desprezível e L_{2-3} desprezível. Já em relação as áreas das seções: A_0 é diferente de A_1 e a partir daí a área fica constante. Agora em relação a acessórios hidráulicos: no trecho 1-2 sem acessórios e nos trechos de 0-1 e 2-3 têm os acessórios!

Está parecendo que existem dois tipos de perda de carga!

Isso mesmo, e antes de
falar delas, gostaria de ler
um parágrafo:



“Poucos problemas merecem tanta atenção ou foram
tão investigados quanto a determinação das perdas de
carga nas instalações. As dificuldade que se
apresentam ao estudo analítico da questão são tantas
que levaram os pesquisadores às investigações
experimentais.” (Azevedo Netto, Manual de Hidráulica,
página 118

ummmm...



Agora ficou claro porque
iniciamos resolvendo os
exercícios anteriores com
dados experimentais!





$$H_{p_{1-2}} = h_{f_{1-2}}$$

(2)

(1)

A perda no tubo com área constante e comprimento não desprezível é a perda de carga distribuída, no nosso curso representada por h_{f_r} , é devido a viscosidade do fluido e/ou a rugosidade do tubo.




$$H_{p_{0-1}} = h_{s_{0-1}} \text{ e } H_{p_{2-3}} = h_{s_{2-3}}$$



Já os trechos com comprimentos desprezíveis e onde temos presença de acessório hidráulico, mudança de seção ou direção, ocorre a perda singular ou localizada, que no nosso curso representamos por h_s

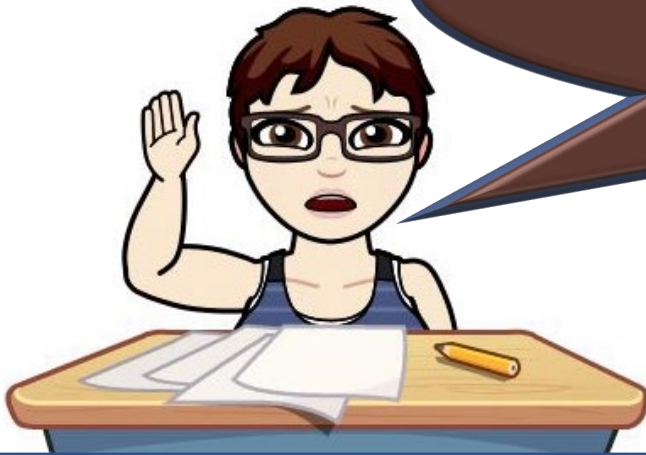


Exemplos de acessórios hidráulicos ou singularidades

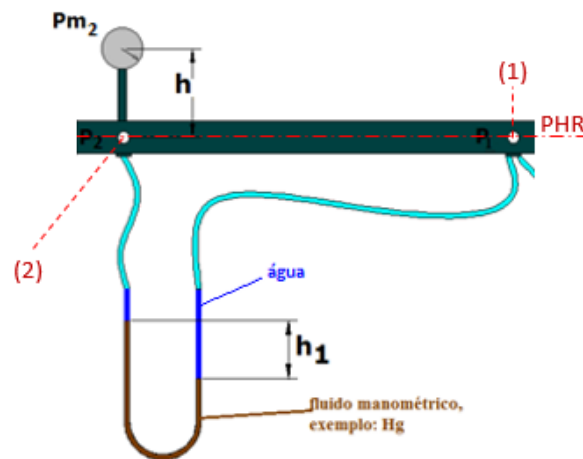
Existem outros,
como por exemplo
os medidores de
vazão!



Para projetos não podemos usar os procedimentos mostrados até agora, já que ainda a instalação não existe fisicamente e aí como fazemos?

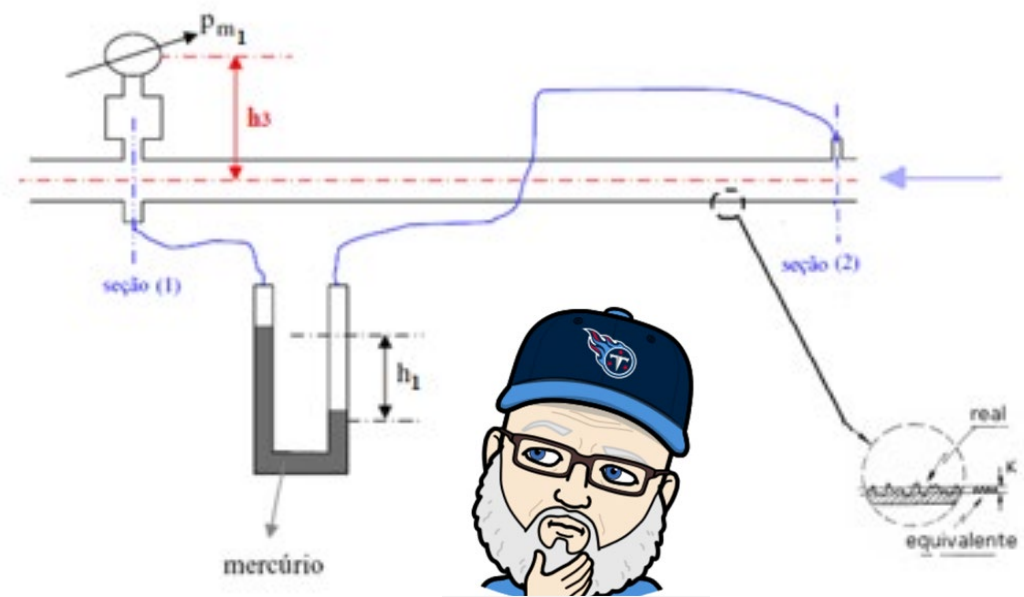
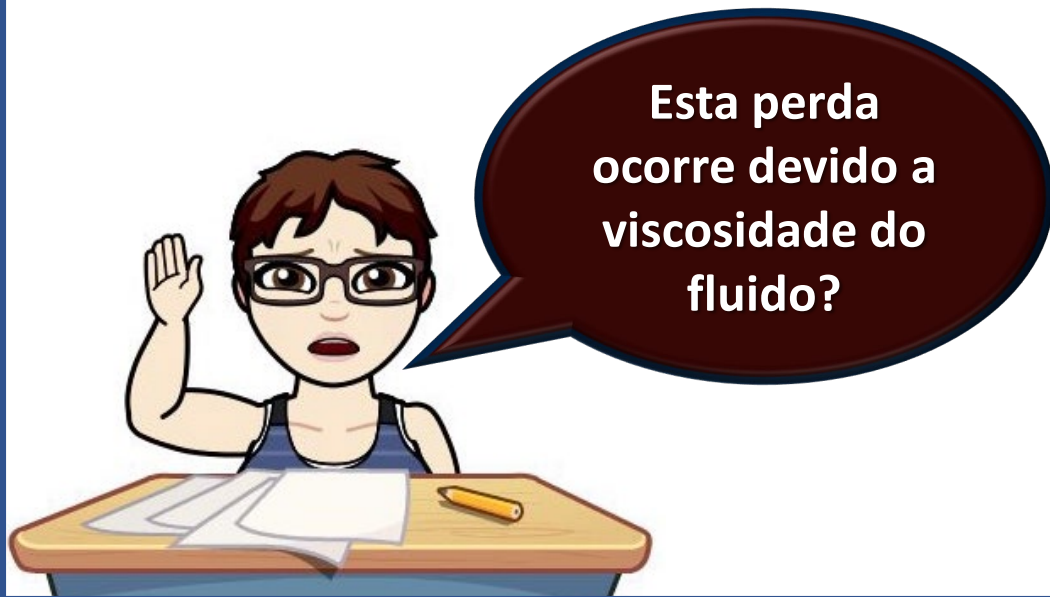


Vamos começar!



Iniciamos com a perda de carga distribuída (h_f)



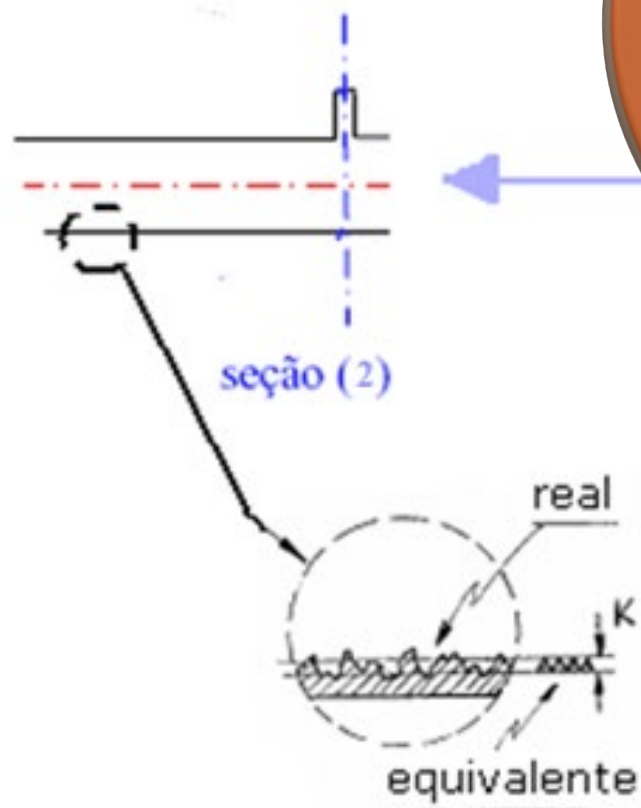


ummmm...



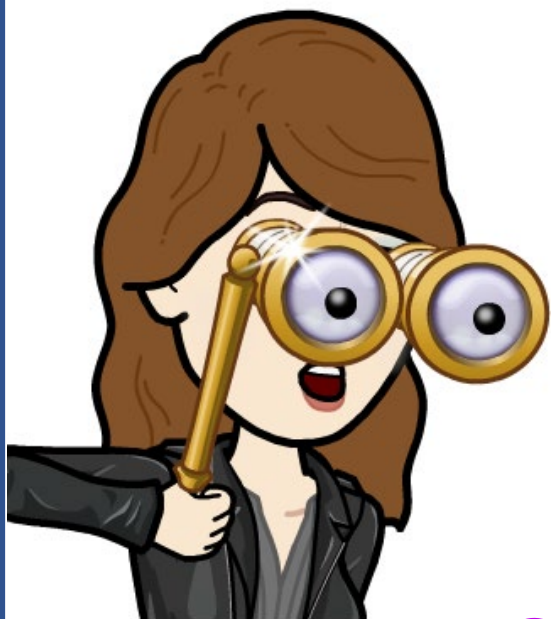
Para o escoamento laminar isto é uma verdade, mas para o escoamento turbulento não é só a viscosidade que a influencia!





No escoamento turbulento, temos a perda causada pela viscosidade e pela rugosidade. Trabalhamos com a rugosidade equivalente (K), que representa a rugosidade média, ou seja uniformemente distribuída e ela geralmente aumenta com o passar do tempo, isto acarreta um aumento de perda de carga e em consequência uma diminuição da vazão de escoamento. A seguir mostro fotos do aumento da rugosidade e a diminuição percentual da vazão.





O que
isso
acarreta?

Tabela 7,1 – Capacidade das canalizações de ferro e aço. (Sem revestimento permanente interno – pg 118 do livro: Manual de Hidráulica – Azevedo Netto

Idade	D = 4" (100 mm)	6" (150 mm)	10" (250 mm)	16" (400 mm)	20" (500 mm)	30" (750 mm)
Tubos novos	Q = 100%	100%	100%	100%	100%	
Após 10 anos	81%	83%	85%	86%	86%	100%
Após 20 anos	68%	72%	74%	75%	76%	87%
Após 30 anos	58 a 62%	65%	67%	68%	69%	77%
Após 40 anos	50 a 55%	58%	61%	62%	63%	
Após 50 anos	43 a 49%	54%	56%	57%	59%	



Amostra de incrustação na rede de ferro fundido cinzento



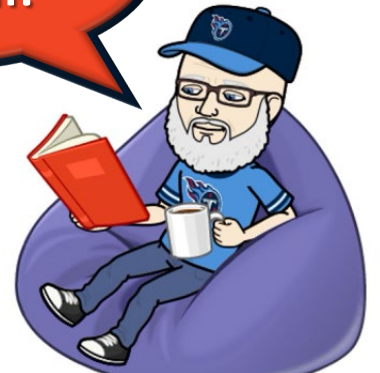
E no tubo liso não ocorrem a perda distribuída?



Como calcular a perda devido a viscosidade dos fluidos e a rugosidade dos tubos, ou seja, a perda distribuída, também denominada de perda continua?



Também ocorrem!



Existem várias maneiras para este cálculo, nesta aula apresento o seu cálculo pela fórmula universal, também denominada de fórmula de Darcy Weisbach



Vamos aprender
fazendo, resolvam
os próximos
problemas!

$$h_f = f \times \frac{L}{D_H} \times \frac{v^2}{2g} = f \times \frac{L}{D_H} \times \frac{Q^2}{2g \times A^2}, \text{ onde:}$$

h_f = perda de carga distribuída ou contínua

f = coeficiente de perda de carga distribuída

L = comprimento do tubo

D_H = diâmetro hidráulico

v = velocidade média do escoamento

g = aceleração da gravidade

Q = vazão do escoamento

A = área da seção formada pelo fluido

A fórmula universal uma das mais empregadas na indústria, pois pode ser utilizada para qualquer tipo de líquido (fluido incompressível) e para tubulações de qualquer diâmetro e material



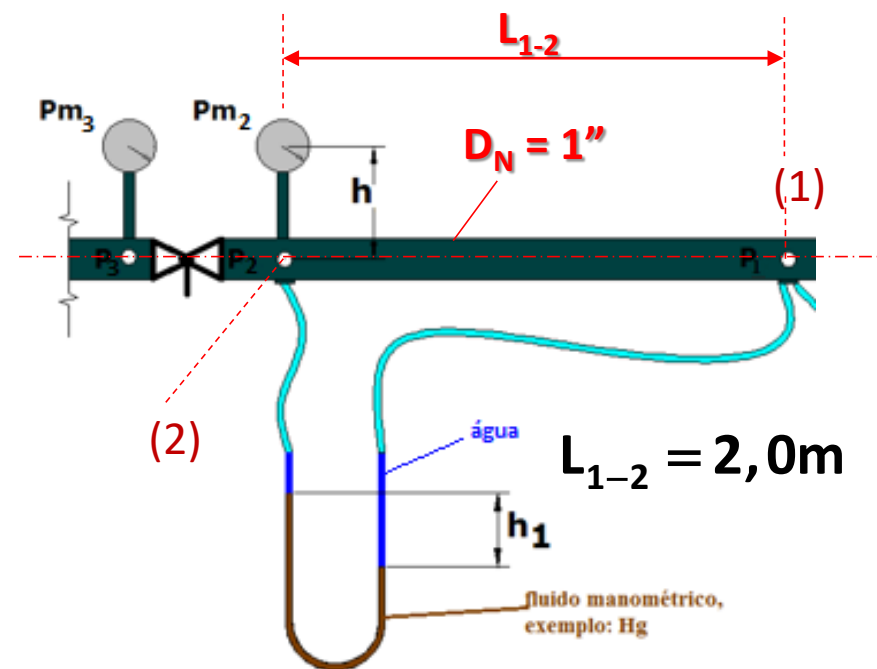
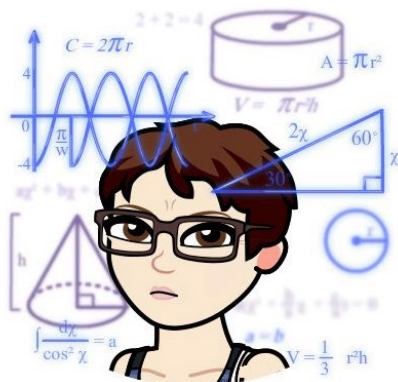
Considerando a perda calculada de (1) a (2), especifique o coeficiente de perda de carga distribuída experimental neste tubo.

Dados:

$$H_{p_{1-2}} \cong 2,5\text{m}$$

$$g = 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$D_N = 1'' \rightarrow \text{ANSI B3610} \rightarrow D_{\text{int}} = 26,6\text{mm} \Leftrightarrow A = 5,57\text{cm}^2$$



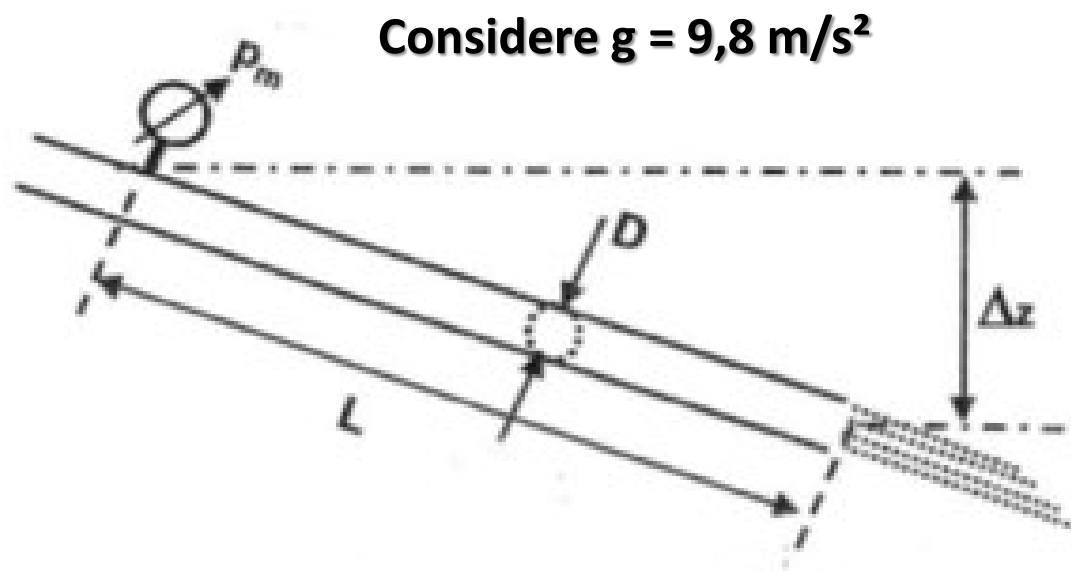
$$Q \cong 2,44 \times 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 2,44 \frac{\text{L}}{\text{s}}$$

Resposta: $f = 0,034$



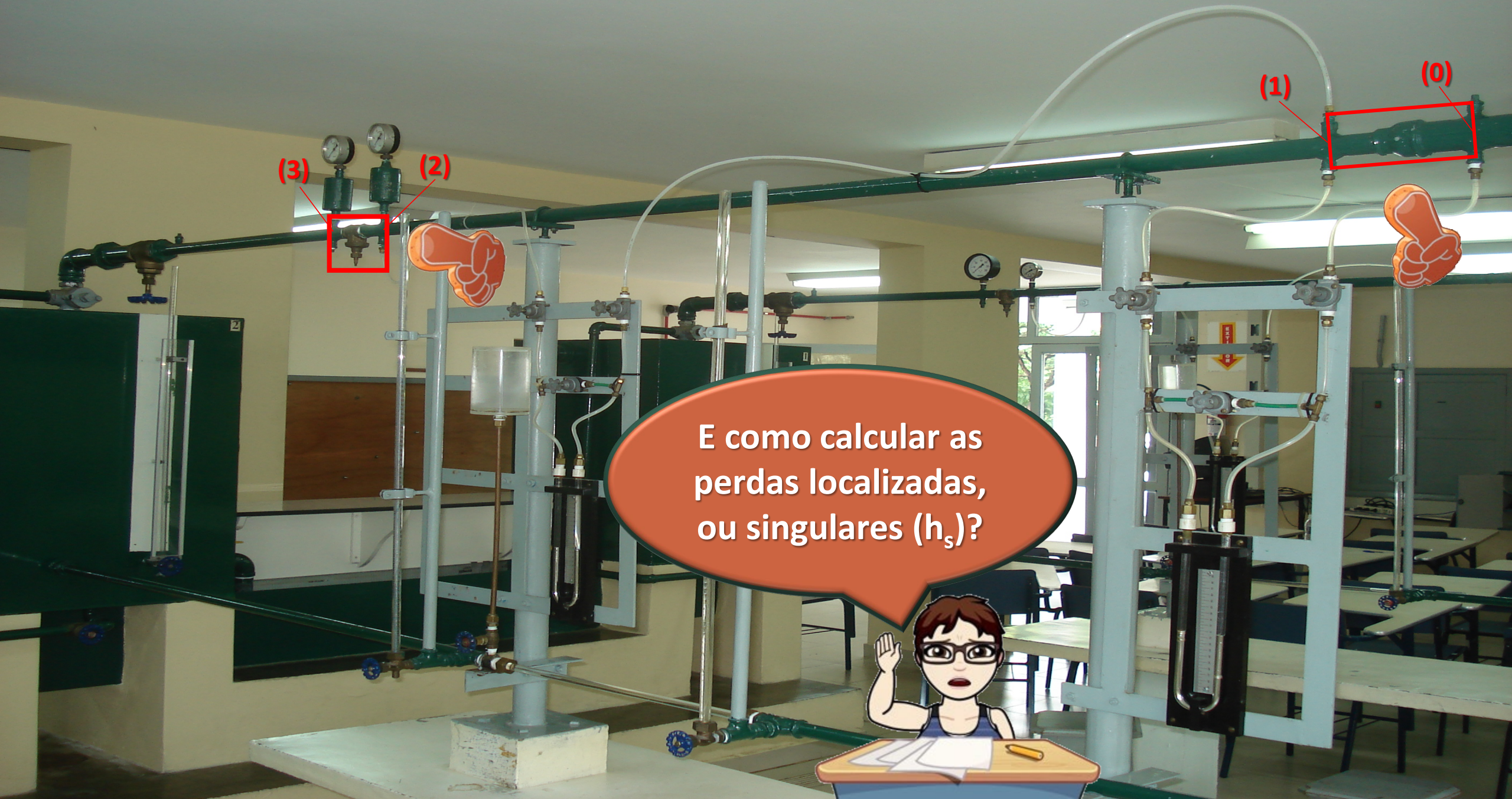
42. Para o trecho da instalação representado a seguir, o tubo tem um diâmetro interno igual a 10 cm e transporta um fluido com peso específico igual a 8000 N/m^3 e viscosidade igual a $0,0025 \text{ N}\cdot\text{s/m}^2$. Sabendo que a diferença de cotas entre as seções consideradas é igual a 2 m, que a vazão do escoamento é 25 L/s , que o comprimento do tubo considerado é 95 m e que a leitura do manômetro metálico é 80 kPa . Pede-se:

- a perda de carga entre o manômetro metálico e a seção de saída do tubo;
- o coeficiente de perda de carga distribuída;
- o tipo de escoamento no trecho.



Respostas: $h_f = 10 \text{ m}$;
 $f = 0,0204$ e
escoamento
turbulento já que o
número de Reynolds
é aproximadamente
 $104489,8$





E como calcular as perdas localizadas, ou singulares (h_s)?



Uma das
possibilidades é
pela equação a
seguir:

$$h_s = k_s \times \frac{v^2}{2g} = k_s \times \frac{Q^2}{2g \times A^2}$$

h_s = perda singular ou localizada

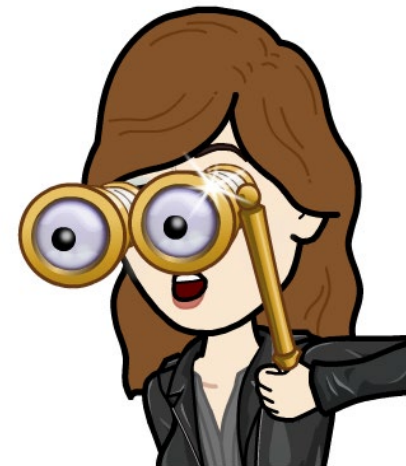
K_s = coeficiente de perda de carga singular

v = velocidade média do escoamento

g = aceleração da gravidade

Q = vazão do escoamento

A = área da seção formada pelo fluido





Considerando a perda calculada de (0) a (1), especifique o coeficiente de perda de carga singular para redução.

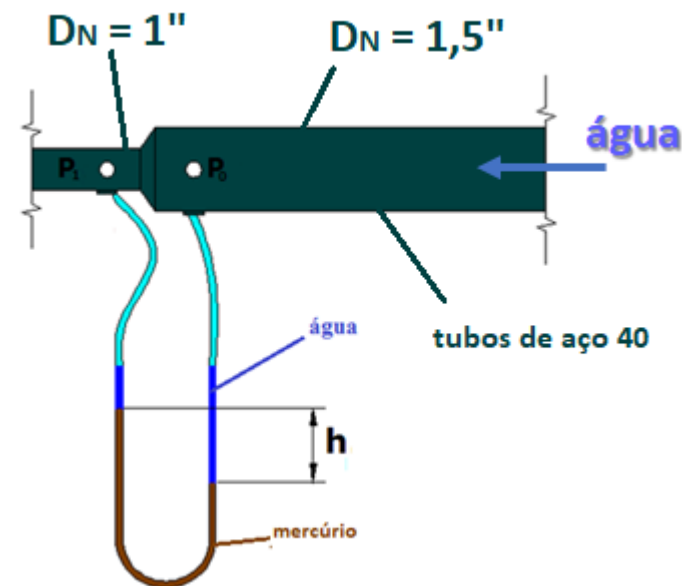
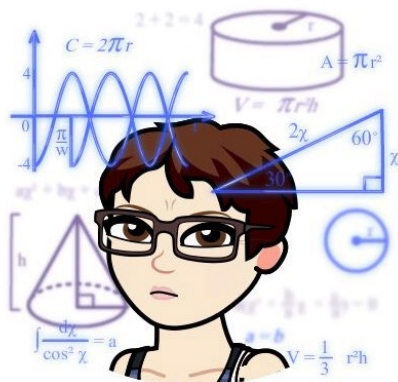
Dados:

$$H_{p_{0-1}} \cong 0,529\text{m}$$

$$g = 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$D_N = 1,5'' \rightarrow \text{ANSI B3610} \rightarrow D_{\text{int}} = 40,8\text{mm} \Leftrightarrow A = 13,1\text{cm}^2$$

$$D_N = 1'' \rightarrow \text{ANSI B3610} \rightarrow D_{\text{int}} = 26,6\text{mm} \Leftrightarrow A = 5,57\text{cm}^2$$

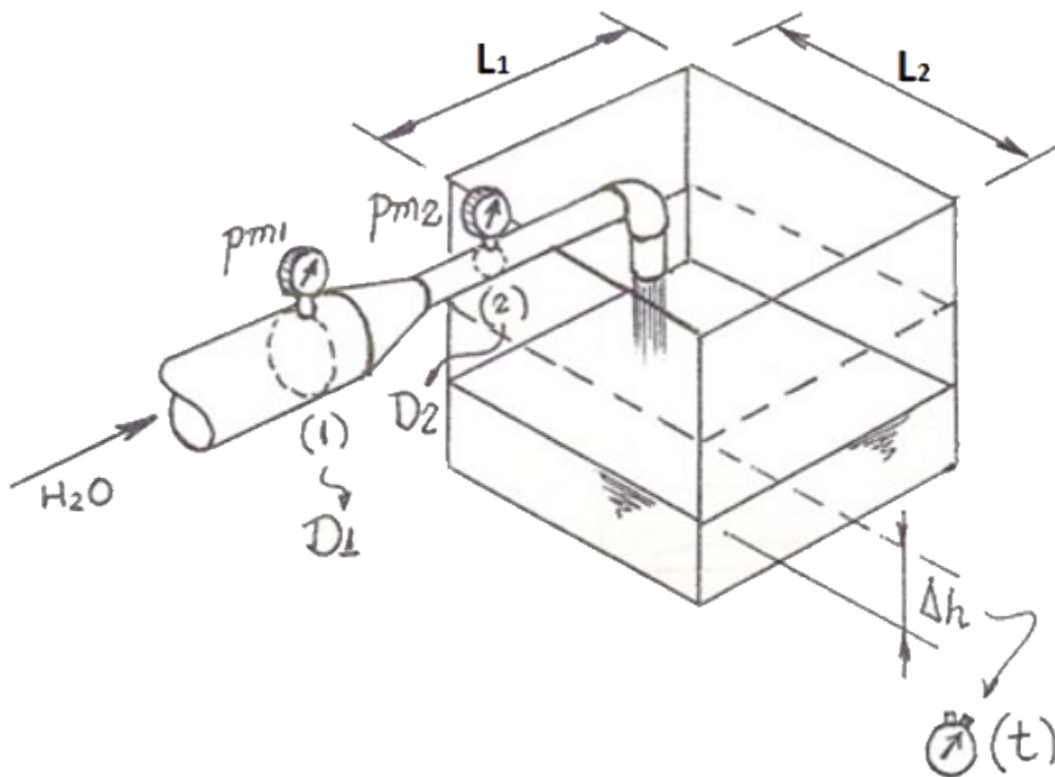


$$Q \cong 2,44 \times 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 2,44 \frac{\text{L}}{\text{s}}$$

Resposta: $K_s = 0,54$



44. Na experiência de perda de carga singular, foram obtidos os seguintes dados: $p_{m1} = 80,4$ kPa; $p_{m2} = 68,6$ kPa; para uma variação de nível (Δh) de 50 mm o tempo cronometrado foi de 19,5 s; $L_1 = 70$ cm; $L_2 = 60$ cm; diâmetro interno da seção (1) igual a 40,8 mm; diâmetro interno da seção (2) igual a 26,6 mm; massa específica da água igual a $998,2$ kg/m³; viscosidade cinemática igual a $0,98 \cdot 10^{-6}$ m²/s; aceleração da gravidade $9,8$ m/s², especifique a perda de carga localizada na redução e o seu coeficiente de perda de carga localizada (ou singular).

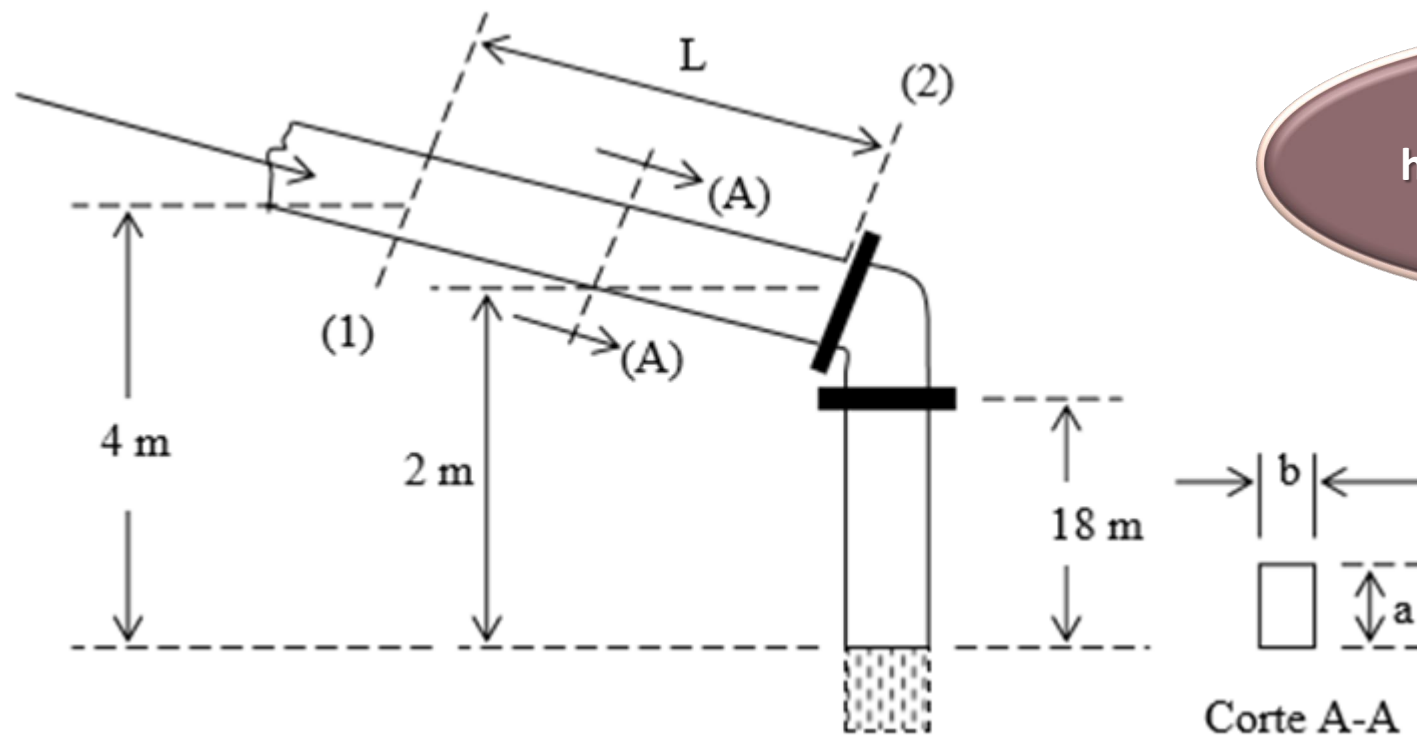


Respostas: $h_s = 1,05$ m
e $K_s = 5,5$



45. Para o trecho de instalação esquematizado a seguir são dados $a = 8 \text{ cm}$; $b = 5 \text{ cm}$ (“a” e “b” constantes para toda tubulação); $L = 13 \text{ m}$; coeficiente de perda de carga distribuída igual a $0,028$; aceleração da gravidade igual a $9,8 \text{ m/s}^2$; peso específico do fluido igual a 8000 N/m^3 ; vazão de 12 L/s ; pressão na seção (2) igual a 32000 Pa . Pede-se:

- a perda de carga no trecho L;
- A pressão estática na seção (1);
- O coeficiente de perda de carga localizada no cotovelo.



Respostas:

$$h_{fl} = 2,7 \text{ m}; p_1 = 37600 \text{ Pa}$$
$$\text{e } K_s = 4,92$$





No desenvolvimento de projetos não conseguiremos achar o coeficiente de perda de carga distribuída (f), nem o coeficiente de perda de carga singular como foi mostrado até aqui, como iremos determina-los?

Se você consultar referências ligadas ao assunto, elas vão indicar várias possibilidades, aqui eu vou trabalhar com a minha página da web para determinação dos f e dos demais coeficientes.

[http://www.escoladavida.eng.br/hidraulica I/consultas.htm](http://www.escoladavida.eng.br/hidraulica%20I/consultas.htm)



CLICAR EM: [•Determinação do \$f\$, por Haaland, Swamee e Jain, Churchill e planilha](#)





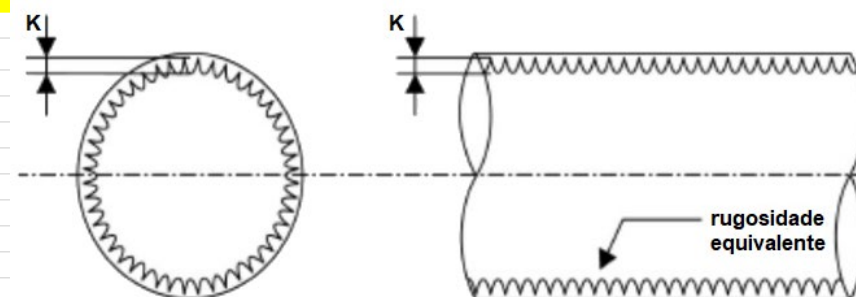
Ir  abrir uma planilha Excel com esta, sendo que de princípio ela vale para água até 40  C, não sendo água, ou sendo outro fluido, a viscosidade, a massa específica e a viscosidade cinemática devem ser inseridas digitando.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1																
2		propriedades do fluido transportado														
3		temp (�C)		μ (kg/ms)	ρ (kg/m ³)	p_v (Pa)	ν (m ² /s)									
4		18		1,05E-03	998,6		1,055E-06									
5		propriedades do local														
6		g =		m/s ²												
7		patm =		Pa												
8																
9																
10																
11		mat. tubo �o														
12		espessura		Dint (mm)	A (cm ²)											
13																
14																
15																
16																
17																
18																
19																
20																
21																
22																
23																
24																
25																
26																
27																
28																
29																
30																
31																

FLUIDO (líquido)	Velocidade econ�mica (m/s)	Material da Tubulação
�gua:		
- serviços gerais	0,9 a 2,5	�o
- rede industrial	0,9 a 2,2	�o
Bombas:		
- linha de sucção	0,9 a 2,2	�o
- linha de recalque	2,1 a 3,0	�o
�cido clorídrico	1,5	rev. de borracha
�cido sulfúrico 88 a 98%	1,2	F� F�
�mon�aco	1,8	�o

2. Em seguida você vai digitar o diâmetro interno e a área da seção livre.

3. Digitamos a rugosidade equivalente



4. Digitamos a vazão em m³/h



Clicamos na aba de comparação_f e temos as opções a seguir:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1												
2												
3		Q(m³/h)	v(m/s)	Re	f _{Haaland}	f _{Swamee e Jain}	f _{Churchill}	f _{planilha}	f _{experimental}			
4		0,0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!				
5		0,0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!				
6		0,0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!				
7		0,0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!				
8		0,0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!				
9		0,0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!				
10		0,0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!				
11		0,0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!				
12		0,0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!				
13		0,0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!				
14		0,0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!				
15		0,0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!				
16		0,0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!				
17												
18												
19												
20												
21												
22												
23												
24												
25												
26												
27												
28												
29												
30												
31												
32												

Introdução_e_dados propriedades d'água Haaland Swamee e Jain Churchill Planilha **comparação_f**

Não esqueça que para escoamento Laminar não precisamos da planilha:

$Re \leq 2000 \rightarrow$ esc. laminar

$$f = \frac{64}{Re} \Leftrightarrow Re = \frac{\rho v D_H}{\mu} = \frac{v D_H}{\nu}$$

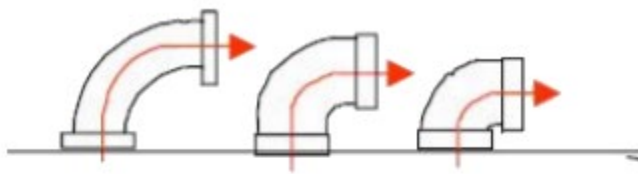


Exemplos:

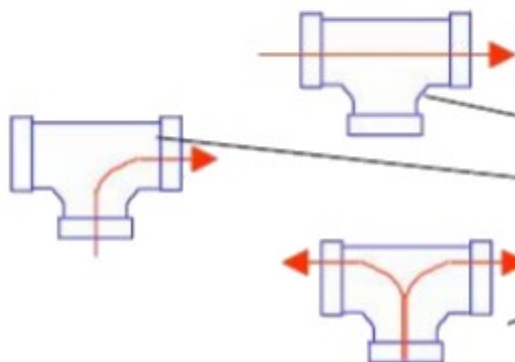
Rugosidade aproximada de tubos comuns

TUBOS	RUGOSIDADE , K	
	Milímetros	Pés
Aço rebitado	0,9 - 9	0,003 - 0,03
Concreto	0,3 - 3	0,001 - 0,001
Madeira	0,2 - 0,9	0,0006 - 0,003
Ferro fundido	0,26	0,00085
Ferro galvanizado	0,15	0,0005
Ferro fundido asfaltado	0,12	0,0004
Aço comercial ou ferro forjado	0,046	0,00015
Trefilado	0,0015	0,000005

Valores do coeficiente K_s , para os elementos mais comuns das canalizações, são apresentados na tabela a seguir:



$$h_s = k_s \times \frac{v^2}{2g} = k_s \times \frac{Q^2}{2g \times A^2}$$



Singularidade	K_s
Alargamento gradual	0,30
Bocais	2,75
Comporta aberta	1
Curva de raio Longo	0,25 a 0,40
Curva de raio curto (cotovelo de 90°)	0,9 até 1,5
Curva de 45°	0,20
Cotovelo de 45°	0,40
Curva de 22° 30'	0,10
Curva de retorno	2,2
Crivo	0,75
Redução gradual	0,15
Medidor venturi	2,5
Registro de gaveta aberto	0,2
Registro de globo aberto	10
Registro de ângulo aberto	5
Junção	0,40
T de passagem direta	0,60
T de saída lateral	1,3
T de saída bilateral	1,8
Válvula de retenção	2,5
Válvula de pé	1,75

Apenas um exemplo:



Outras fontes devem ser consultadas e sempre que possível, considere os valores fornecidos pelo fabricante da singularidade. Os valores da Tupy e da MIPEL, podem ser acessados na página:

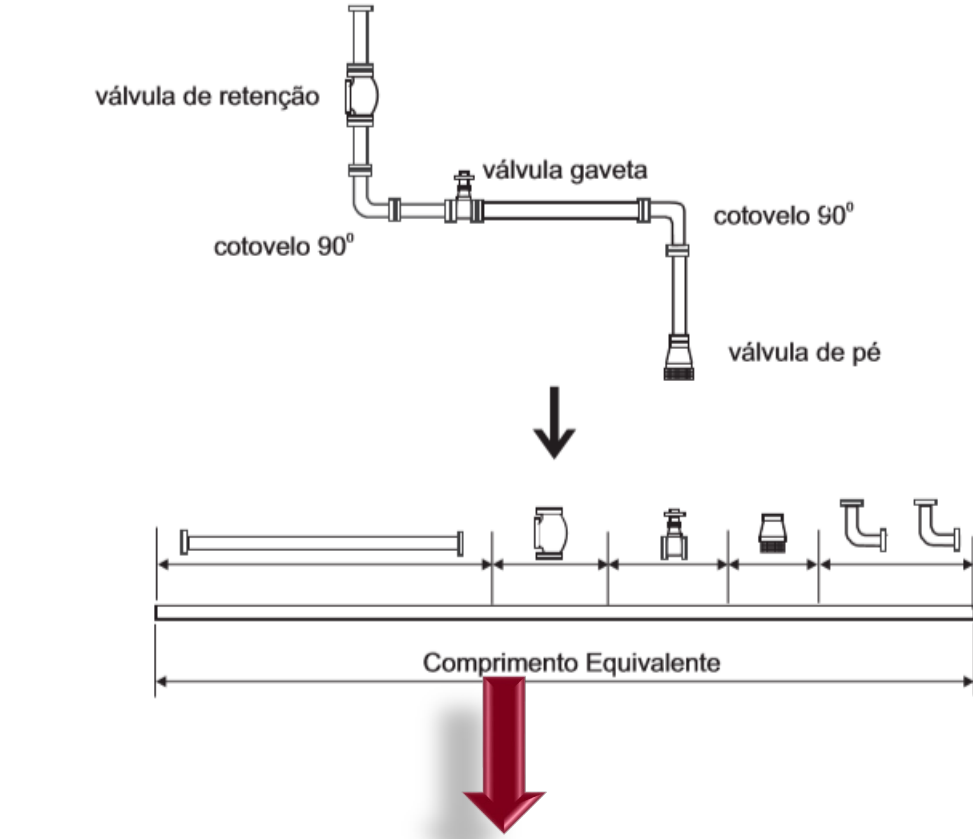
http://www.escoladavida.eng.br/hidraulica_1/consultas.htm

Para projetos é mais comum trabalharmos com os comprimentos equivalentes (L_{eq})

Exemplo de valores de comprimentos equivalentes:

Outras fontes devem ser consultadas e sempre que possível, considere os valores fornecidos pelo fabricante da singularidade. Os valores da Tupy e da MIPEL, podem ser acessados na página:

http://www.escoladavida.eng.br/hidraulica_1/consultas.htm



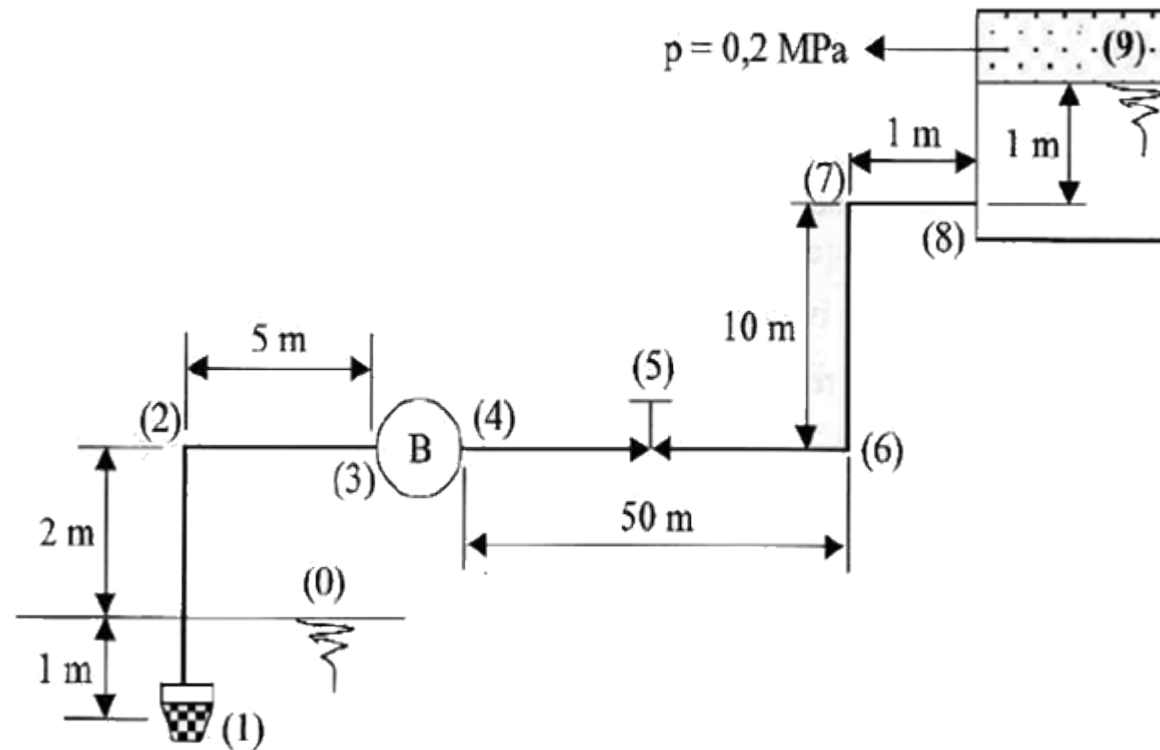
$$h_f = f \times \frac{(L + \sum Leq)}{D_H} \times \frac{v^2}{2g} = f \times \frac{(L + \sum Leq)}{D_H} \times \frac{Q^2}{2g \times A^2}$$

Comprimentos equivalentes a perdas localizadas. (Expressos em metros de canalização retilínea)*

DIÂMETRO D		COTOVELO 90° RAIO LONGO	COTOVELO 90° RAIO MEDIO	COTOVELO 90° RAIO CURTO	COTOVELO 45°	CURVA 90° R/D - 1 1/2	CURVA 90° R/D - 1	CURVA 45°	ENTRADA NORMAL	ENTRADA DE BORDA	REGISTRO DE GAVETA ABERTO	REGISTRO DE GLOBO ABERTO	REGISTRO DE ÂNGULO ABERTO	TÊ PASSAGEM DIRETA	TÊ SAÍDA DE LADO	TÊ SAÍDA BILATERAL	VÁLVULA DE PÉ E CRIVO	SAÍDA DA CANALIZAÇÃO	VÁLVULA DE RETENÇÃO TIPO LEVE	VÁLVULA DE RETENÇÃO TIPO PESADO
mm	pol.																			
13	1/2	0,3	0,4	0,5	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	0,4	0,1	4,9	2,6	0,3	1,0	1,0	3,6	0,4	1,1	1,6
19	3/4	0,4	0,6	0,7	0,3	0,3	0,4	0,2	0,3	0,5	0,1	6,7	3,6	0,4	1,4	1,4	5,6	0,5	1,6	2,4
25	1	0,5	0,7	0,8	0,4	0,3	0,5	0,2	0,3	0,7	0,2	8,2	4,6	0,5	1,7	1,7	7,3	0,7	2,1	3,2
32	1 1/4	0,7	0,9	1,1	0,5	0,4	0,6	0,3	0,4	0,9	0,2	11,3	5,6	0,7	2,3	2,3	10,0	0,9	2,7	4,0
38	1 1/2	0,9	1,1	1,3	0,6	0,5	0,7	0,3	0,5	1,0	0,3	13,4	6,7	0,9	2,8	2,8	11,6	1,0	3,2	4,8
50	2	1,1	1,4	1,7	0,8	0,6	0,9	0,4	0,7	1,5	0,4	17,4	8,5	1,1	3,5	3,5	14,0	1,5	4,2	6,4
63	2 1/2	1,3	1,7	2,0	0,9	0,8	1,0	0,5	0,9	1,9	0,4	21,0	10,0	1,3	4,3	4,3	17,0	1,9	5,2	8,1
75	3	1,6	2,1	2,5	1,2	1,0	1,3	0,6	1,1	2,2	0,5	26,0	13,0	1,6	5,2	5,2	20,0	2,2	6,3	9,7
100	4	2,1	2,8	3,4	1,3	1,3	1,6	0,7	1,6	3,2	0,7	34,0	17,0	2,1	6,7	6,7	23,0	3,2	8,4	12,9
125	5	2,7	3,7	4,2	1,9	1,6	2,1	0,9	2,0	4,0	0,9	43,0	21,0	2,7	8,4	8,4	30,0	4,0	10,4	16,1
150	6	3,4	4,3	4,9	2,3	1,9	2,5	1,1	2,5	5,0	1,1	51,0	26,0	3,4	10,0	10,0	39,0	5,0	12,5	19,3
200	8	4,3	5,5	6,4	3,0	2,4	3,3	1,5	3,5	6,0	1,4	67,0	34,0	4,3	13,0	13,0	52,0	6,0	16,0	25,0
250	10	5,5	6,7	7,9	3,8	3,0	4,1	1,8	4,5	7,5	1,7	85,0	43,0	5,5	16,0	16,0	65,0	7,5	20,0	32,0
300	12	6,1	7,9	9,5	4,6	3,6	4,8	2,2	5,5	9,0	2,1	102,0	51,0	6,1	19,0	19,0	78,0	9,0	24,0	38,0
350	14	7,3	9,5	10,5	5,3	4,4	5,4	2,5	6,2	11,0	2,4	120,0	60,0	7,3	22,0	22,0	90,0	11,0	28,0	45,0

* Os valores indicados para registros de globo, aplicam-se também às torneiras, válvulas para chuveiros e válvulas de descarga.

46. Na instalação de bombeamento a seguir, pede-se determinar a potência da bomba necessária para originar uma vazão de 10 L/s no escoamento da água a 20°C, supondo que seu rendimento é de 70%. Dados: tubulação de aço 40 ($K_{aço} = 4,6 \cdot 10^{-5} \text{ m}$), que na sucção tem um diâmetro nominal de 4" ($D_{int} = 102,3 \text{ mm}$ e $A = 82,1 \text{ cm}^2$) e no recalque 3" ($D_{int} = 77,9 \text{ mm}$ e $A = 47,7 \text{ cm}^2$), $L_{eq1} = 42,65 \text{ m}$, $L_{eq2} = 3,76 \text{ m}$; $L_{eq5} = 25,90 \text{ m}$; $L_{eq6} = L_{eq7} = 2,82 \text{ m}$ e $L_{eq8} = 2,2 \text{ m}$.



Resposta: $N_b = 5548 \text{ W}$

47. Considere o bombeamento de 2,5 L/s de um fluido viscoso através de um tubo de aço 80 ($K_{\text{aço}} = 4,6 \cdot 10^{-5} \text{ m}$) com diâmetro nominal de 2" , cujas propriedades são:

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

Considerando um trecho de 80 m onde as perdas singulares são desprezadas, calcule a perda de carga no mesmo. **Resposta: $H_p = 9,3 \text{ m}$**

48. 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 ($K = 4,6 \cdot 10^{-5} \text{ m}$) com diâmetro nominal igual a 2,5". Calcule a perda de carga distribuída por unidade de comprimento, ou seja m/m. Dado: 1 cSt = $10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$.

Resposta: 0,823 m/m

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 ²)	Área 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			
1/4	10S	1,65	10,4	0,85	0,62	0,043	0,49	0,085	0,116	0,169	0,430
--	Std, 40, 40S	2,23	9,2	0,67	0,81		0,62	0,067	0,138	0,202	0,413
	XS, 80, 80S	3,02	7,7	0,46	1,01		0,79	0,046	0,157	0,229	0,393
13,7											
1/8	10S	1,65	13,8	1,50	0,81	0,054	0,63	0,150	0,236	0,285	0,551
--	Std, 40, 40S	2,31	12,5	1,23	1,08		0,84	0,123	0,304	0,354	0,531
	XS, 80, 80S	3,20	10,7	0,91	1,40		1,10	0,090	0,359	0,419	0,506
17,1											
1/2	Std, 40, 40S	2,77	15,8	1,96	1,61	0,071	0,42	0,20	0,71	0,67	0,66
--	XS, 80, 80S	3,73	13,8	1,51	2,06		1,62	0,15	0,84	0,78	0,64
	160	4,75	11,8	1,10	2,47		1,94	0,11	0,92	0,86	0,61
21	XXS	7,47	6,4	0,32	3,52		2,55	0,03	1,01	0,95	0,56
3/4	Std, 40, 40S	2,87	20,9	3,44	2,15	0,083	1,68	0,34	1,54	1,16	0,85
--	XS, 80, 80S	3,91	18,8	2,79	2,80		2,19	0,28	1,86	1,40	0,82
	160	5,54	15,6	1,91	3,68		2,88	0,19	2,19	1,65	0,77
27	XXS	7,82	11,0	0,95	4,63		3,63	0,10	2,41	1,81	0,72
1	Std, 40, 40S	3,37	26,6	5,57	3,19	0,105	2,50	0,56	2,64	2,18	1,07
--	XS, 80, 80S	4,55	24,3	4,64	4,12		3,23	0,46	4,40	2,63	1,03
	160	6,35	20,7	3,37	5,39		4,23	0,34	5,21	3,12	0,98
33	XXS	9,09	15,2	1,82	6,94		5,44	0,18	5,85	3,50	0,92
1 1/4	Std, 40, 40S	3,56	35	9,65	4,32	0,132	3,38	0,96	8,11	3,85	1,37
--	XS, 80, 80S	4,85	32,5	8,28	5,68		4,46	0,83	10,06	4,77	1,33
	160	6,35	29,4	6,82	7,14		5,60	0,68	11,82	5,61	1,29
42	XXS	9,70	22,7	4,07	9,90		7,76	0,41	14,19	6,74	1,20
1 1/2	Std, 40, 40S	3,68	40,8	13,1	5,15	0,151	4,04	1,31	12,90	5,34	1,58
--	XS, 80, 80S	5,08	38,1	11,4	6,89		5,40	1,14	16,27	6,75	1,54
	160	7,14	33,9	9,07	9,22		7,23	0,91	20,10	8,33	1,48
48	XXS	10,16	27,9	6,13	12,2		9,53	0,61	23,64	9,80	1,39
2	Std, 40, 40S	3,91	52,5	21,7	6,93	0,196	5,44	2,17	27,72	9,20	2,00
--	XS, 80, 80S	5,54	49,2	19,0	9,53		7,47	1,90	36,13	11,98	1,95
	160	8,71	42,9	14,4	14,1		11,08	1,44	48,41	16,05	1,85
60	XXS	11,07	38,2	11,4	17,1		13,44	1,14	54,61	18,10	1,79
2 1/2	Std, 40, 40S	5,16	62,7	30,9	11,0	0,235	8,62	3,09	63,68	17,44	2,41
--	XS, 80, 80S	7,01	59,0	27,3	14,5		11,40	2,73	80,12	21,95	2,35
	160	9,52	54,0	22,9	19,0		14,89	2,29	97,94	26,83	2,27
73	XXS	14,0	44,9	15,9	26,0		20,39	1,59	119,5	32,75	2,14

49. A bomba selecionada para uma dada instalação de bombeamento irá operar com uma vazão de $72 \text{ m}^3/\text{h}$ e apresenta um único diâmetro de aço XXS ($K = 0,000046\text{m}$) com diâmetro nominal de 4" ($D_{\text{int}} = 80,1 \text{ mm}$ e $A = 50,3 \text{ cm}^2$). Sabendo que o fluido bombeado é água a 25°C , que comprimento da tubulação antes da bomba $5,4 \text{ m}$ e que tem as seguintes singularidades: válvula de poço (válvula de pé com crivo) da Mipel ($L_{\text{eq}} = 42,65 \text{ m}$) e curva fêmea de 90° da Tupy ($L_{\text{eq}} = 1,3 \text{ m}$) calcule a perda de carga total antes da bomba. **Resposta: $H_p = 9,2 \text{ m}$**

50. Ao se transportar um fluido, de massa específica igual a $808,1 \text{ kg}/\text{m}^3$ e viscosidade igual a $0,00144 \text{ Pa}\cdot\text{s}$, com uma vazão de $320,2 \text{ m}^3/\text{h}$ através de uma tubulação de aço 80 ($K = 0,000046\text{m}$) com diâmetro nominal de 14" ($D_{\text{int}} = 317,5 \text{ mm}$ e $A = 791,7 \text{ cm}^2$) e 50 m de comprimento, qual a perda de carga distribuída que existirá neste escoamento.

Resposta: $H_p = 0,17 \text{ m}$



Só avance no curso, após resolver os 10 problemas propostos, lembre, a obtenção das suas soluções são ginásticas para seu cérebro com o intuito de aumentar sua inteligência!



Obrigado!

