

Hidráulica
Aula 3



Sonho em facilitar a

PEDAGOGIA DA CURIOSIDADE

ALICERÇADA NA

FORMAÇÃO SUSTENTÁVEL

CONSCIÊNCIA

C
R
I
A

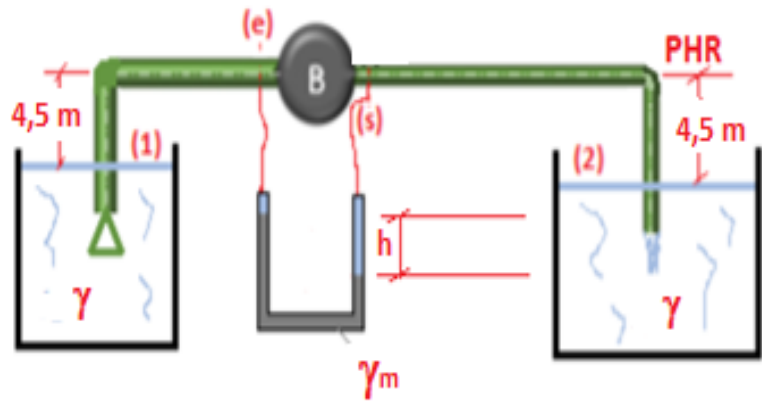
Educar é ensinar a pensar sozinho

APLICA

PEDAGOGIA DA PERGUNTA e não da resposta

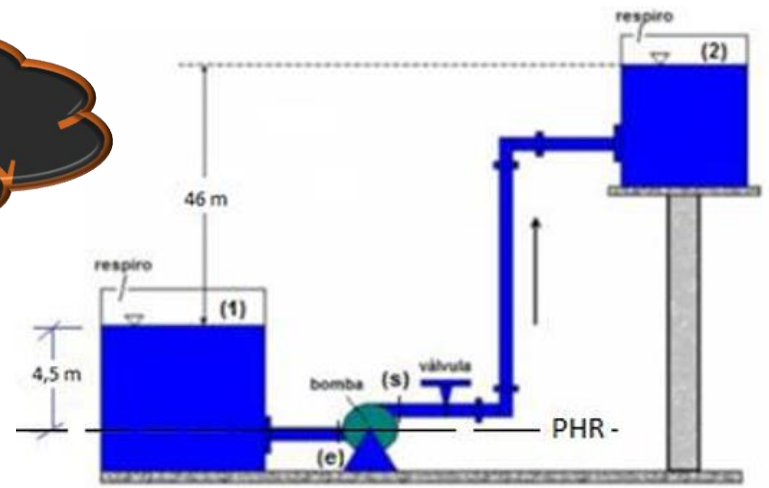
PALAVRAS E IDÉIAS PODEM MUDAR O MUNDO



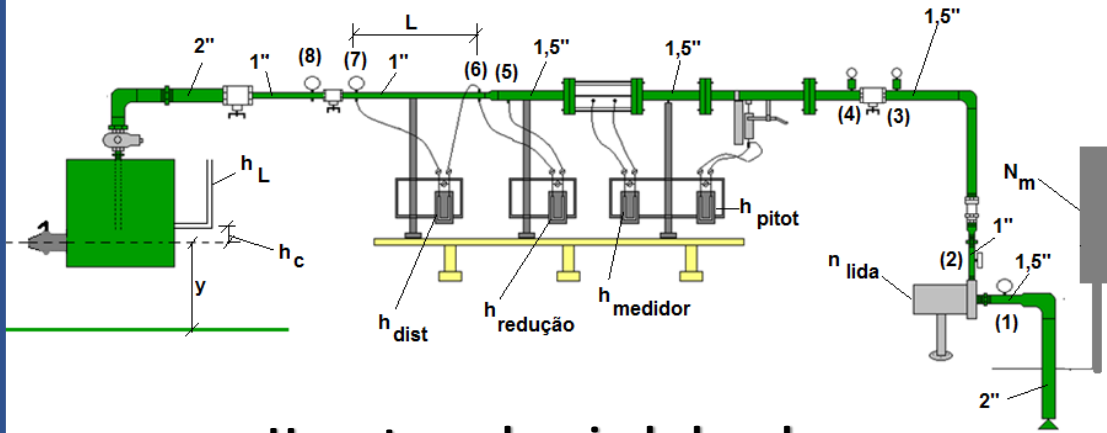


$p_s - p_e$; desnível h e $H_{p_{inst}}$

Nas duas primeiras aulas, calculamos:



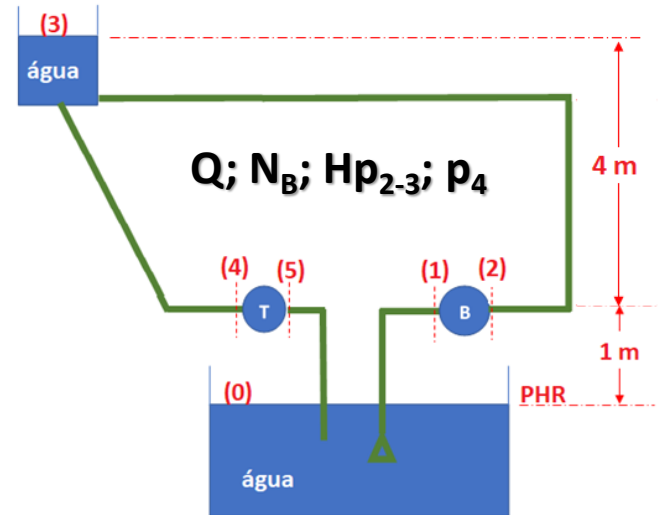
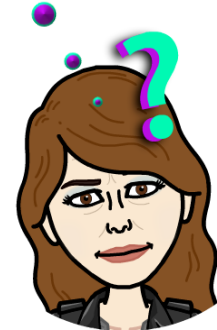
H_B ; N_B ; Pitot: v e desnível h



as H_p antes e depois da bomba



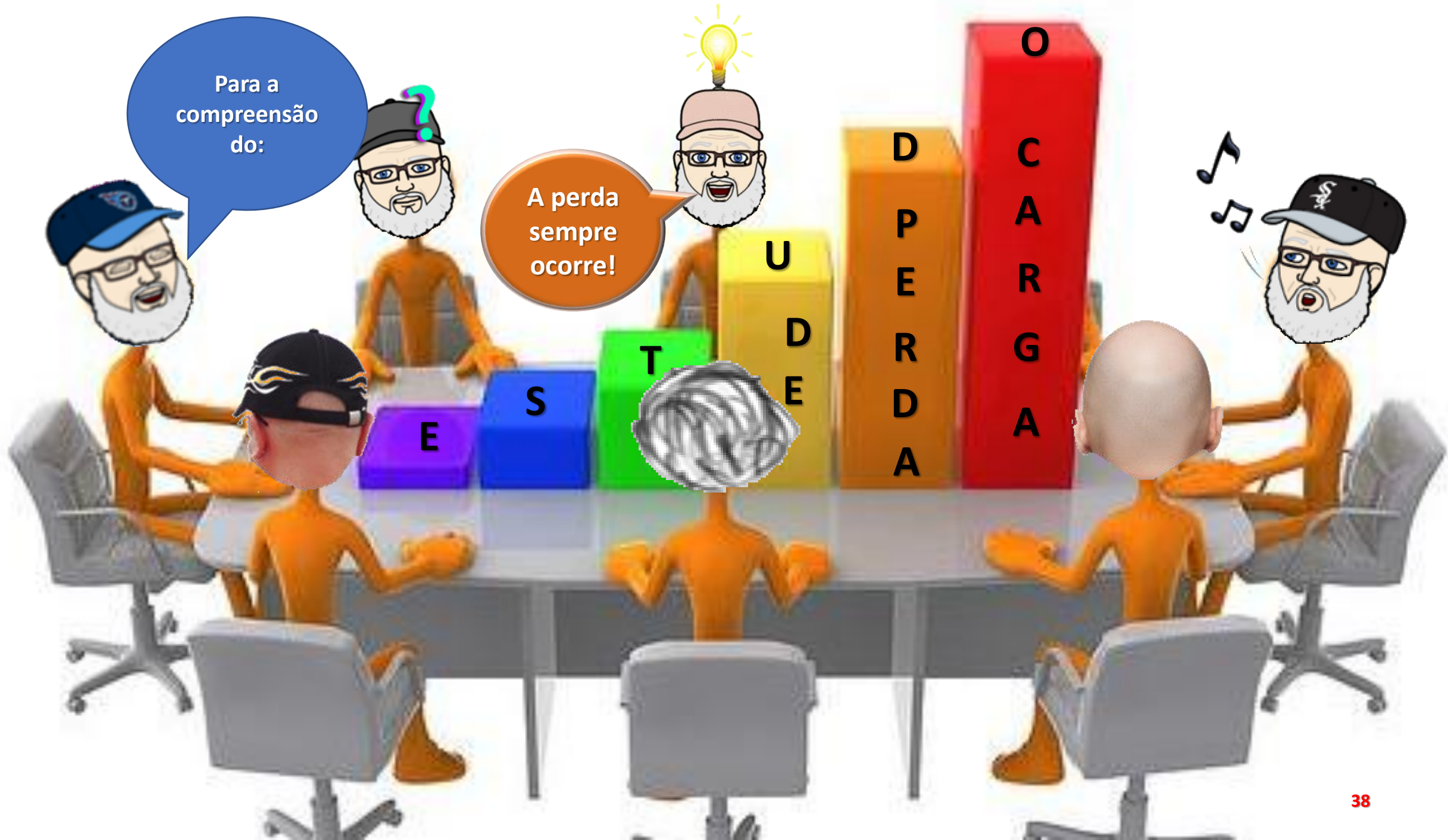
Para que?



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

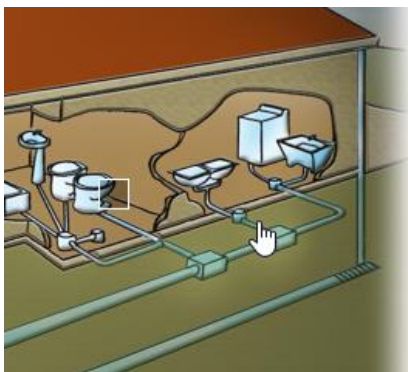
Para a
compreensão
do:

A perda
sempre
ocorre!





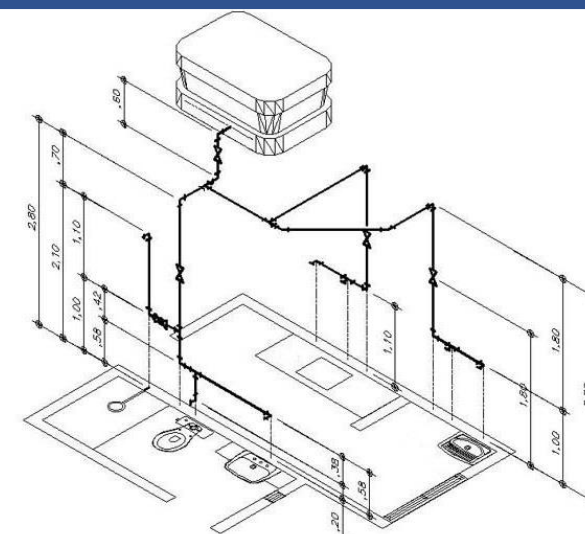
Sim, dentro das tubulações, sempre são originadas as perdas de carga e, para assegurar um bom funcionamento de uma instalação hidráulica, é essencial os cálculos das mesmas!



Você pode definir tubulação?



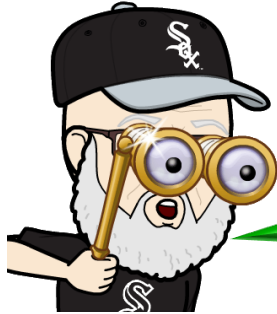
É o conjunto de tubos e acessórios hidráulico (conexões, curvas, válvulas, reduções, ampliações, flanges, ...) utilizados para transportar um fluido!



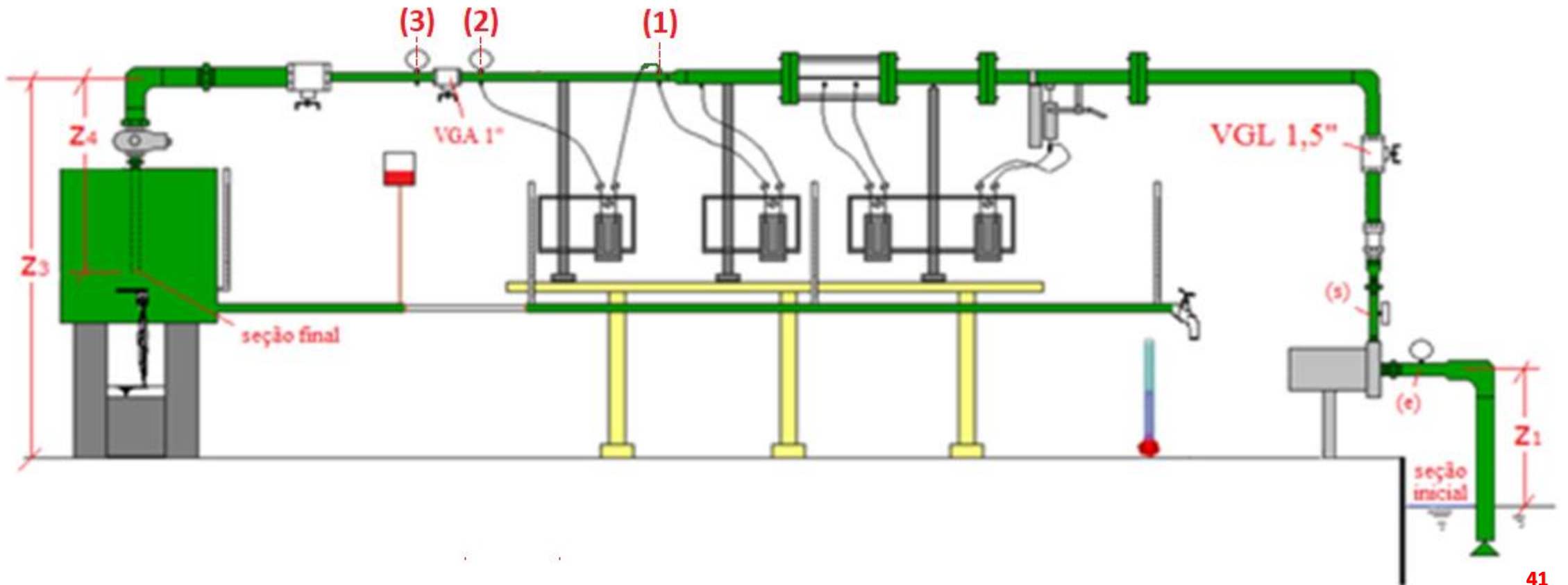


A perda de carga em uma instalação sempre acarreta uma redução de pressão no sentido de escoamento!

Isto foi observado experimentalmente?

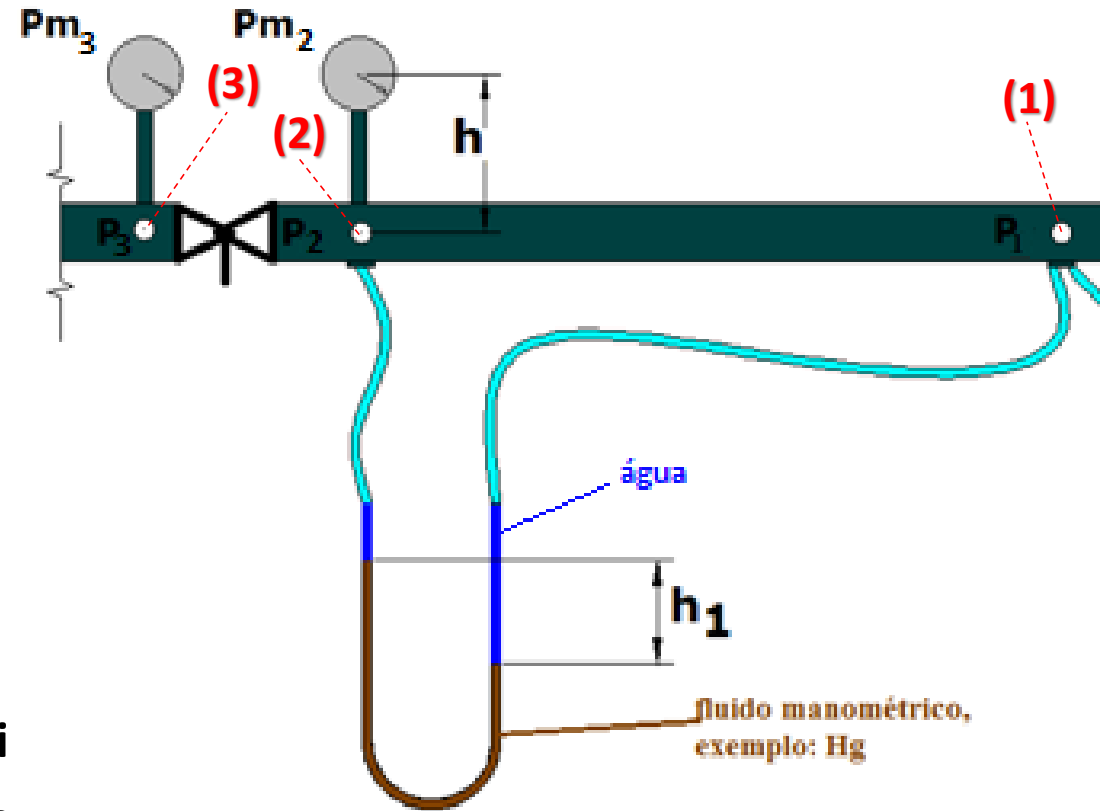


Sim, vejamos isto através da bancada de laboratório, onde consideramos inicialmente as seções (1), (2) e (3)



A coleta dos dados pode ser vista
no YouTube:

<https://youtu.be/t7I9kJpBk>



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

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

temperatura d'água 69

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

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



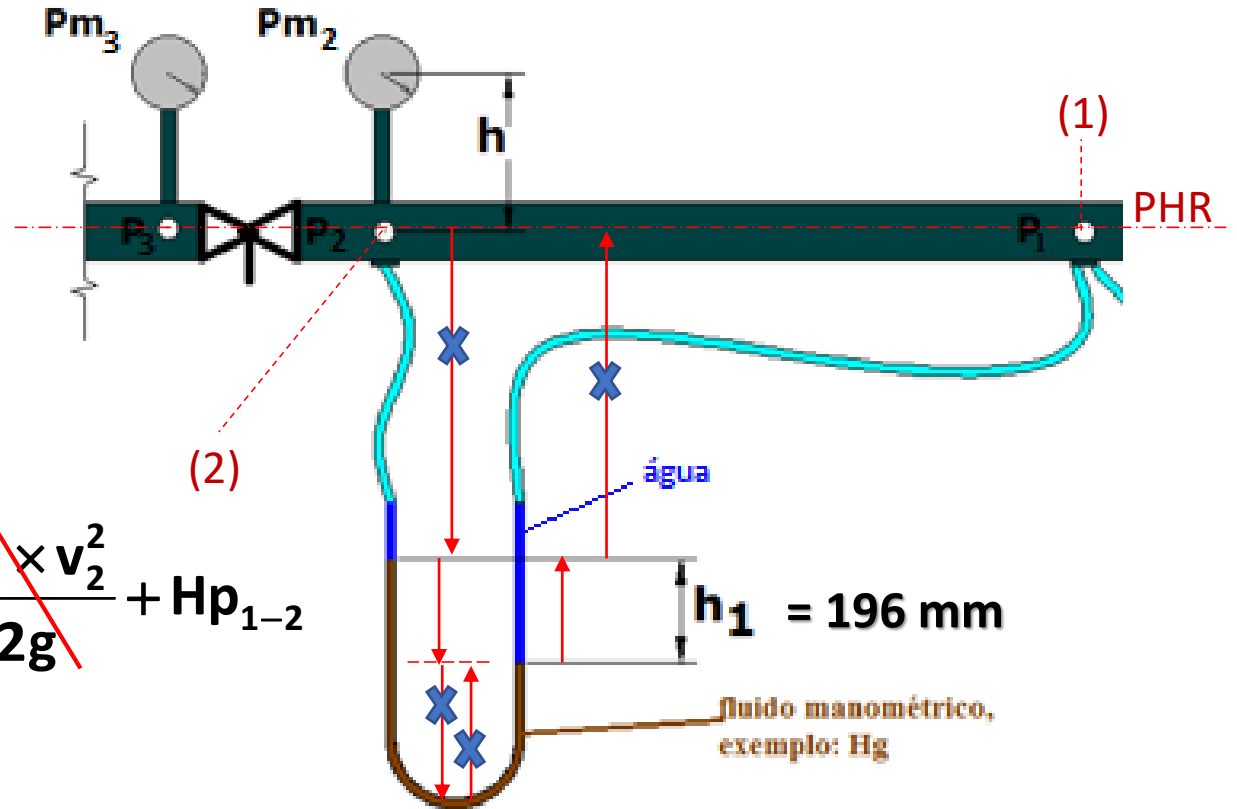


Aplicamos a equação da energia de (1) a (2):

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

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

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



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

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

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

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

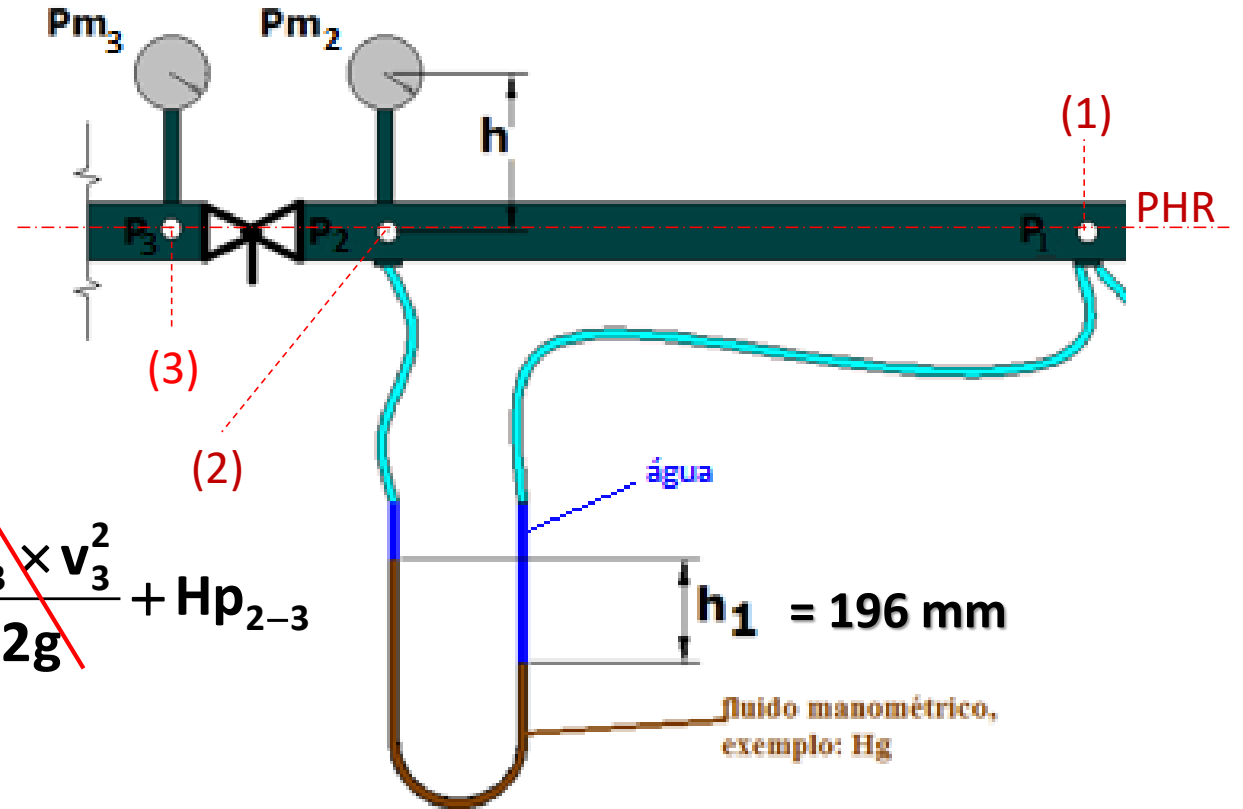


Agora aplicamos a equação da energia de (2) a (3):

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

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

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



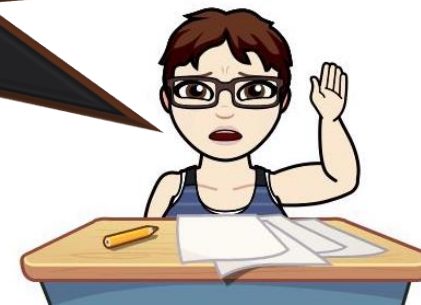
Basta a transformação de psi para Pa e como "h" está na seção (2) e (3), não há necessidade de correção das pressões nestas seções.

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

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

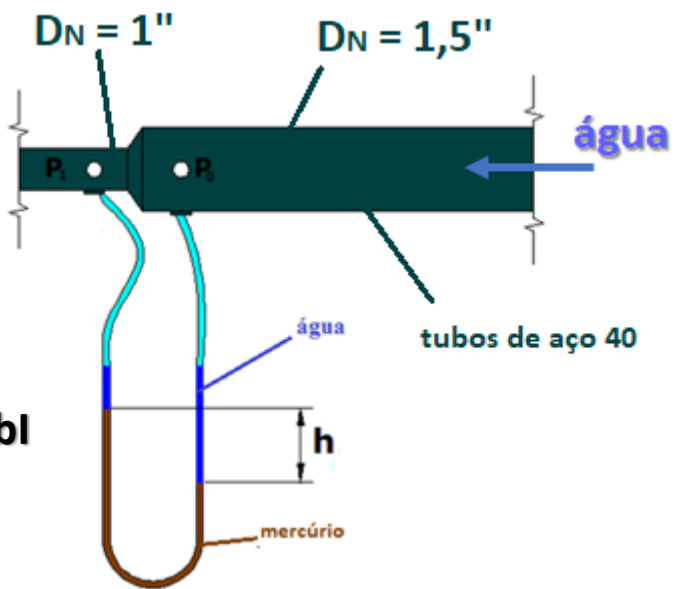
Nos cálculos anteriores, a vazão apesar de influenciar nas leituras das pressões manométricas e no desnível do mercúrio, não entrou no cálculo das perdas, é sempre assim?

Não! Para justificar minha resposta acompanhe o próximo exemplo.



A coleta dos dados pode ser vista no YouTube:

https://youtu.be/ta_YdwO2dbI

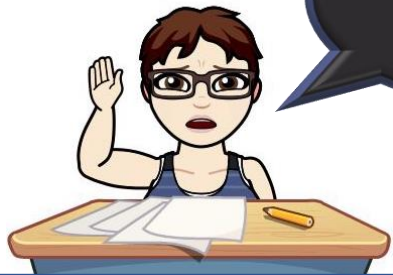


$$h = 106 \text{ mm}$$

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

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

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

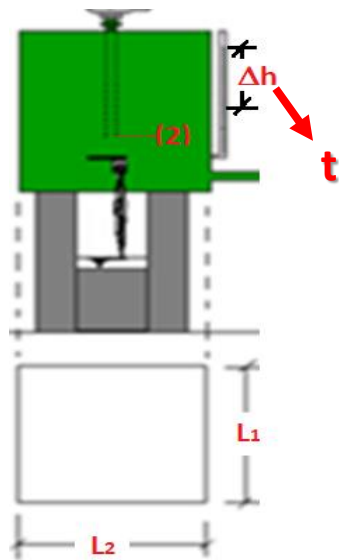


E a vazão?



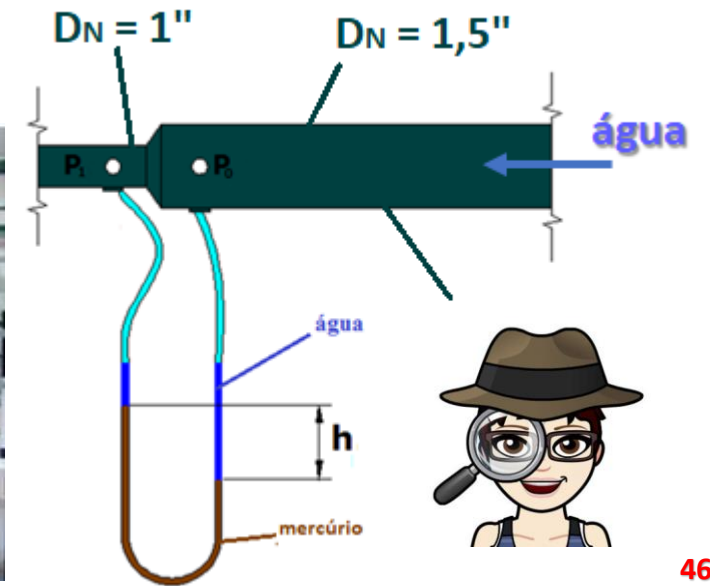
Será calculada com os dados coletados como pode ser visto no YouTube:

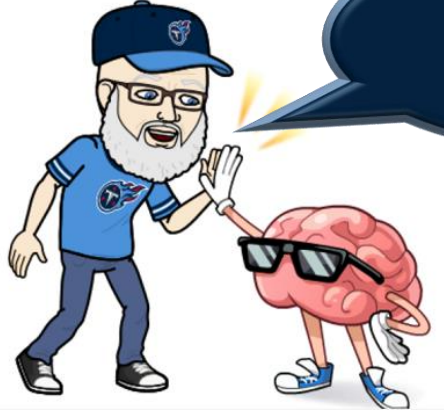
https://youtu.be/ta_YdwO2dbI



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

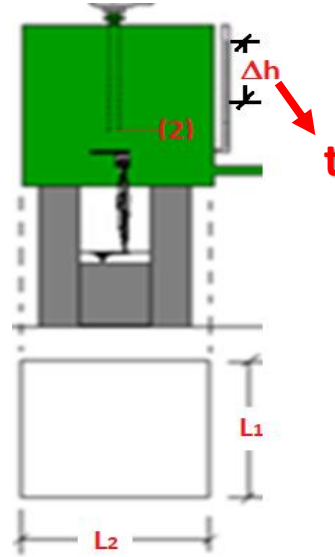
$$L_1 = 73,5\text{cm}; L_2 = 74\text{cm}$$





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:

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





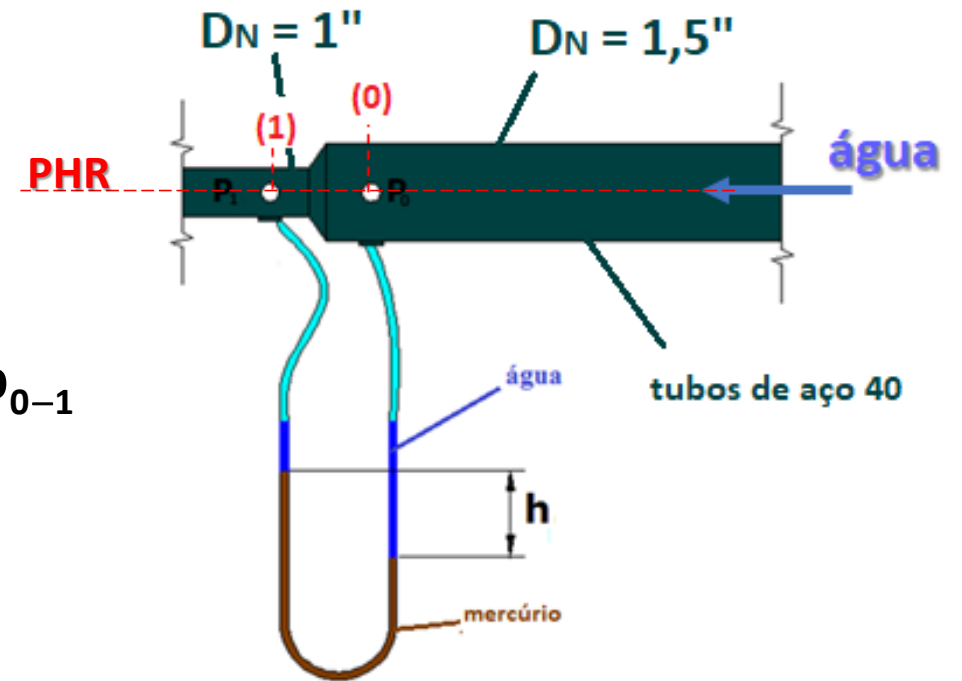
Aplicamos a equação da energia de (0) a (1):

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

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

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

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



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

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

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):

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

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

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

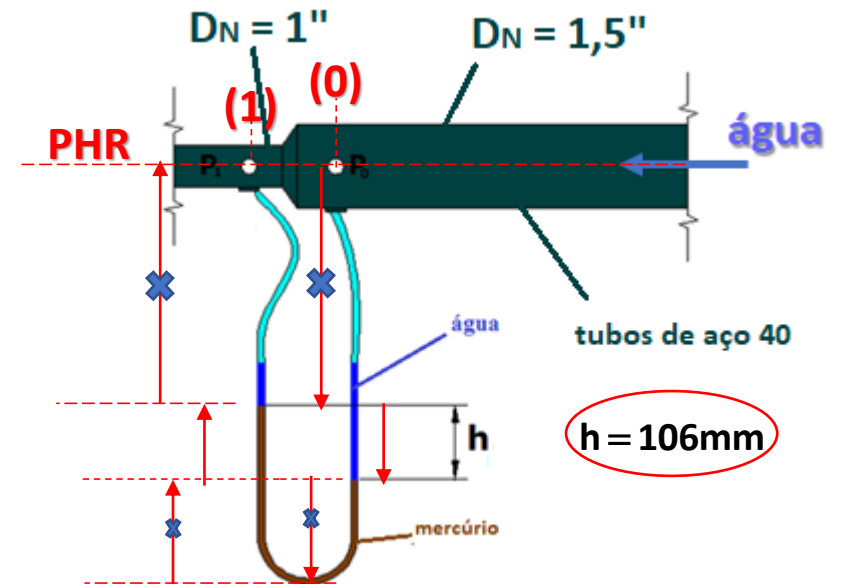
$$p_0 - p_1 \cong 13031,746 \text{Pa}$$



Agora é calcular a perda de carga na redução:

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

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




(3) (2)

(1) (0)

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





Em relação aos 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: nos trechos de 0-1 e 1-2 sem acessórios e no trecho 2-3 tem o acessório!

Está parecendo que existem dois tipos de perda de carga!

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

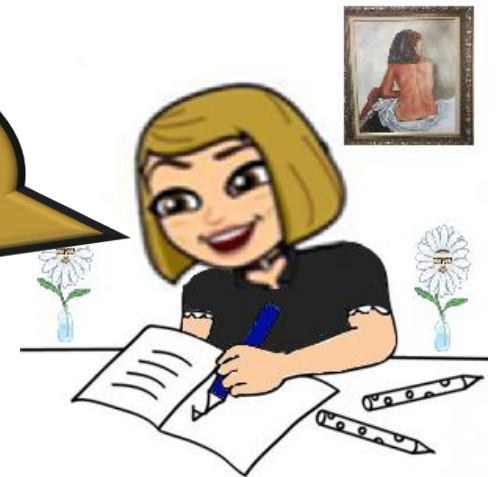


“Poucos problemas merecem tanta atenção ou foram tão investigados quanto a determinação das perdas de carga nas instalações. As dificuldade que se apresentam ao estudo analítico da questão são tantas que levaram os pesquisadores às investigações experimentais.” (Azevedo Netto, Manual de Hidráulica, página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




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

(3) (2)

(1)

(0)

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



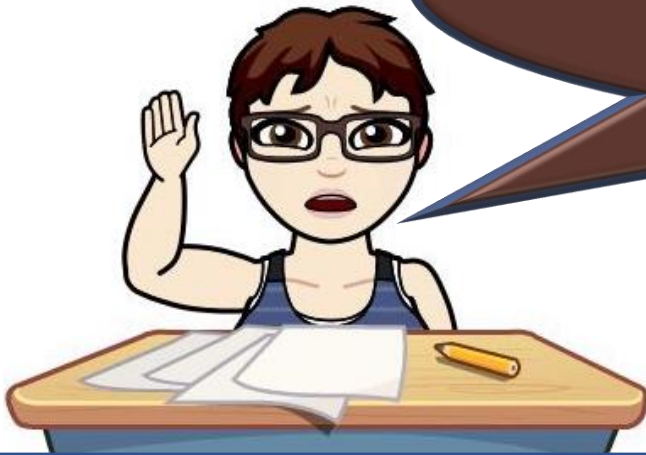
Exemplos de acessórios hidráulicos ou singularidades



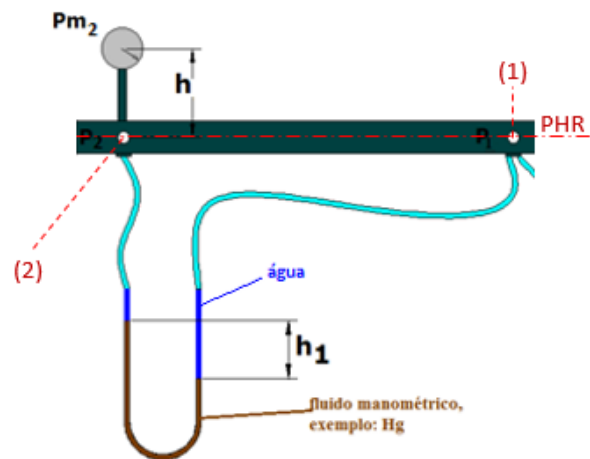
Existem outros,
como por exemplo
os medidores de
vazão!



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



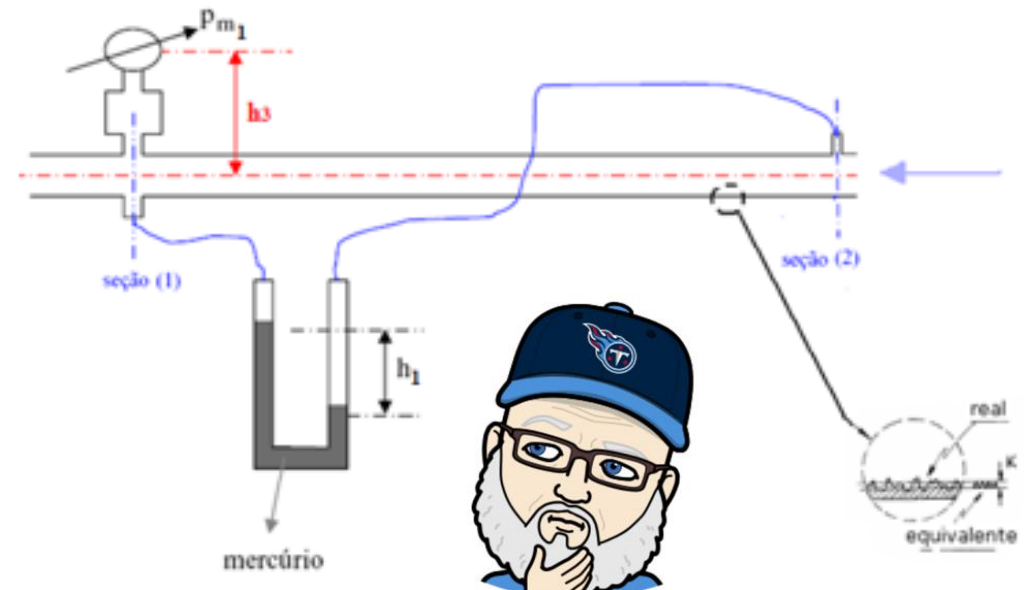
Vamos começar!



Iniciamos com a perda de carga distribuída (h_f)



Esta perda ocorre devido a viscosidade do fluido?



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

Ummmm...



Quero ver!

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.

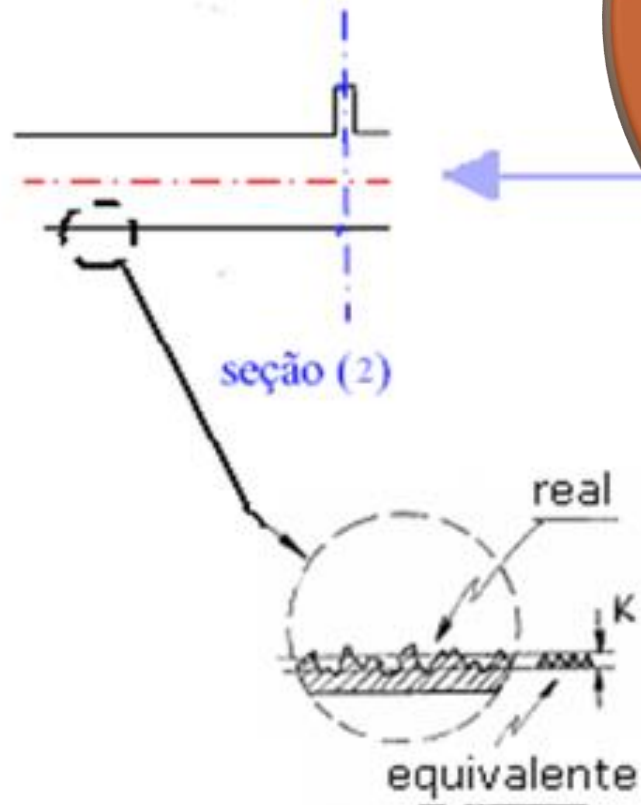
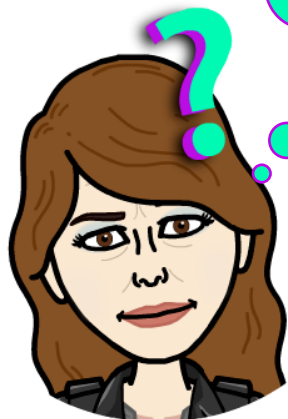




Tabela 7,1 – Capacidade das canalizações de ferro e aço. (Sem revestimento permanente interno – pg 118 do livro: Manual de Hidráulica – Azevedo Netto)

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%	

O que isso acarreta?



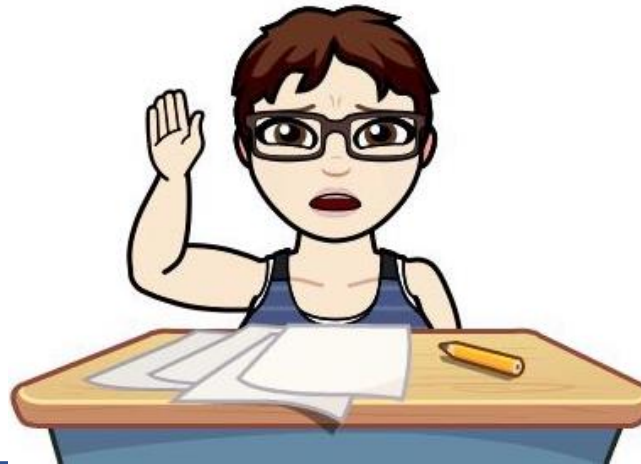
Amostra de incrustação na rede de ferro fundido cinzento



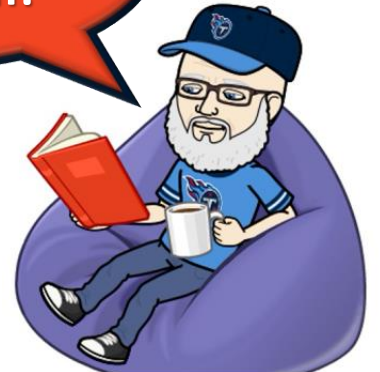
E no tubo liso não ocorrem a perda distribuída?



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, hoje 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



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

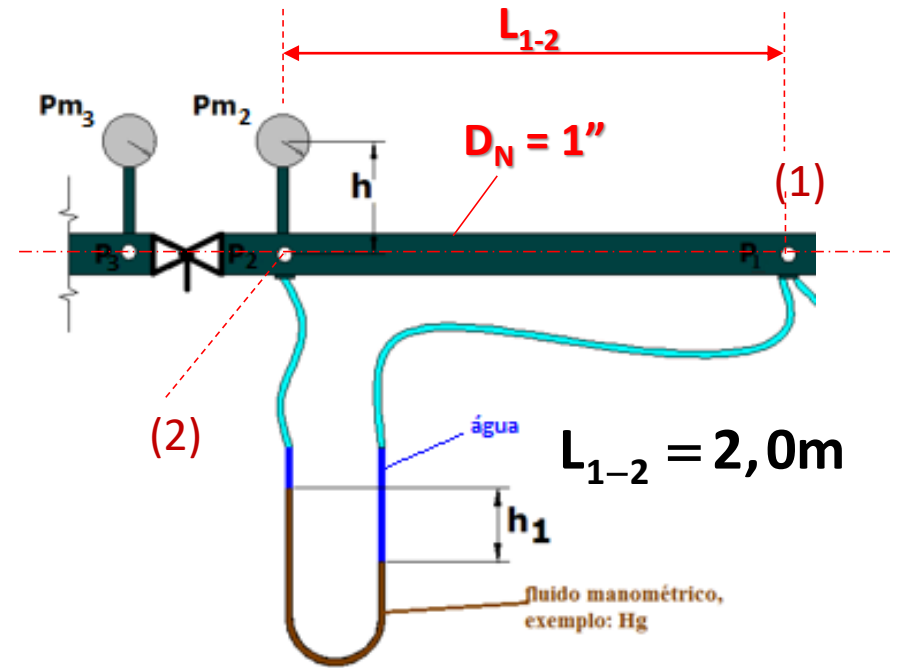
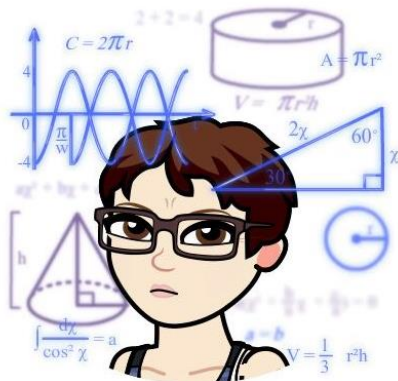


Dados:

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

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

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



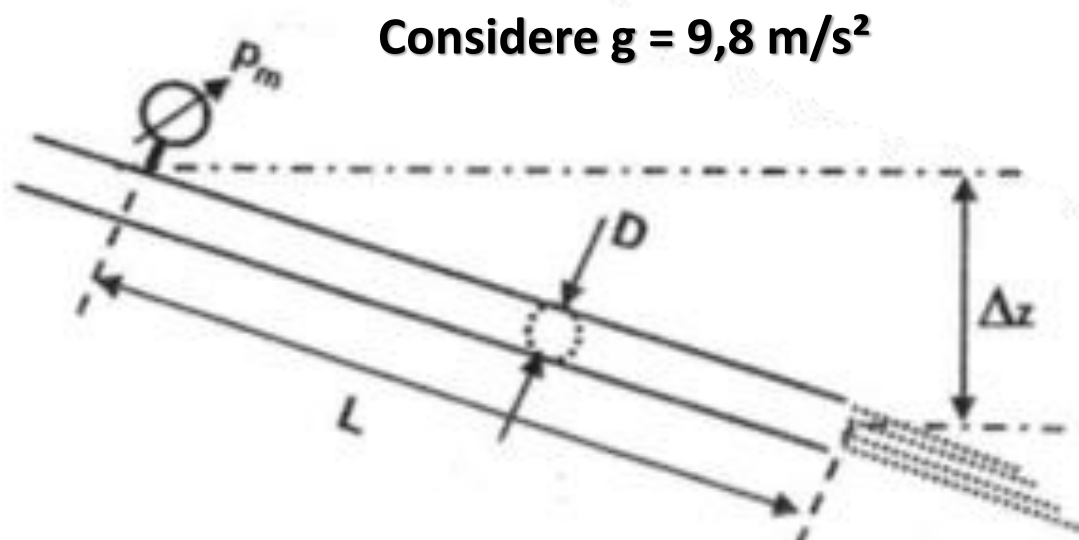
$$Q \cong 2,44 \times 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 2,44 \frac{\text{L}}{\text{s}}$$

Resposta: $f = 0,034$



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.



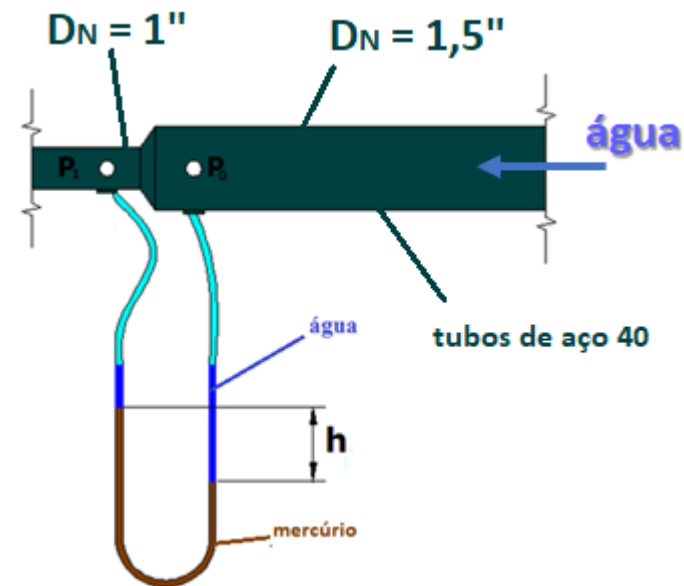
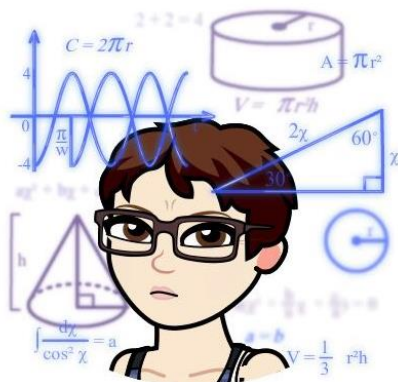
Dados:

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

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

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

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

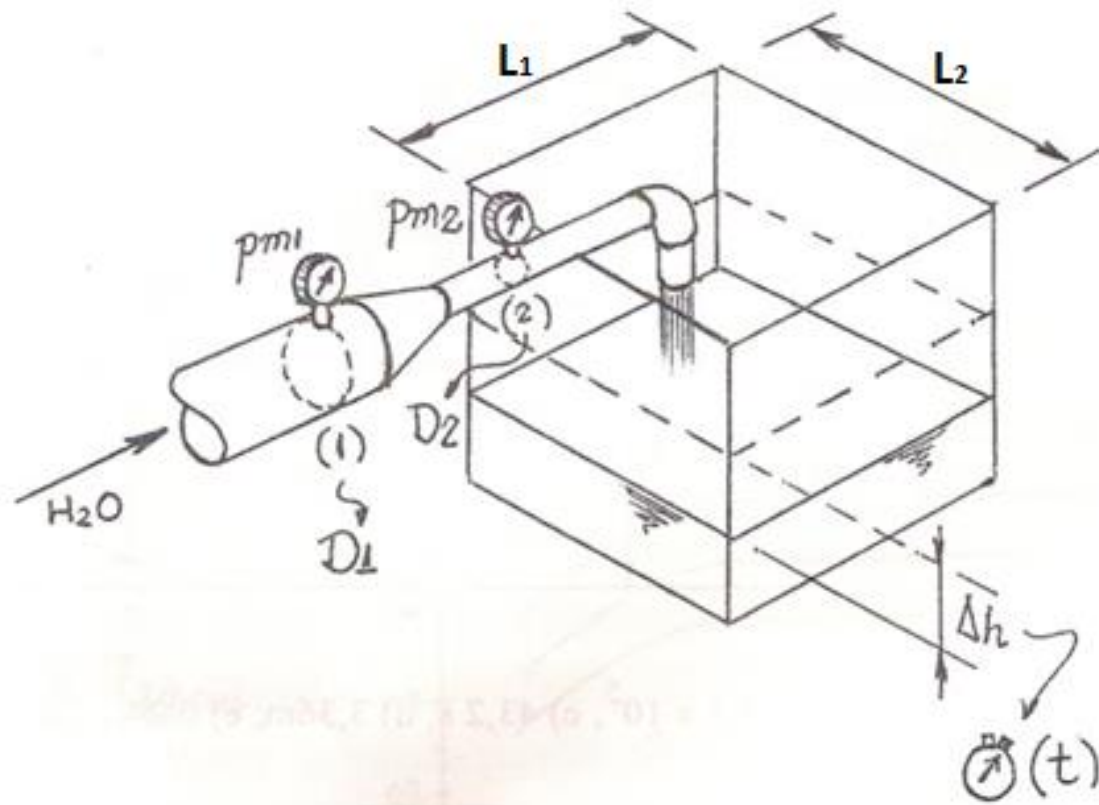


$$Q \cong 2,44 \times 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 2,44 \frac{\text{L}}{\text{s}}$$

Resposta: $K_s = 0,54$



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).

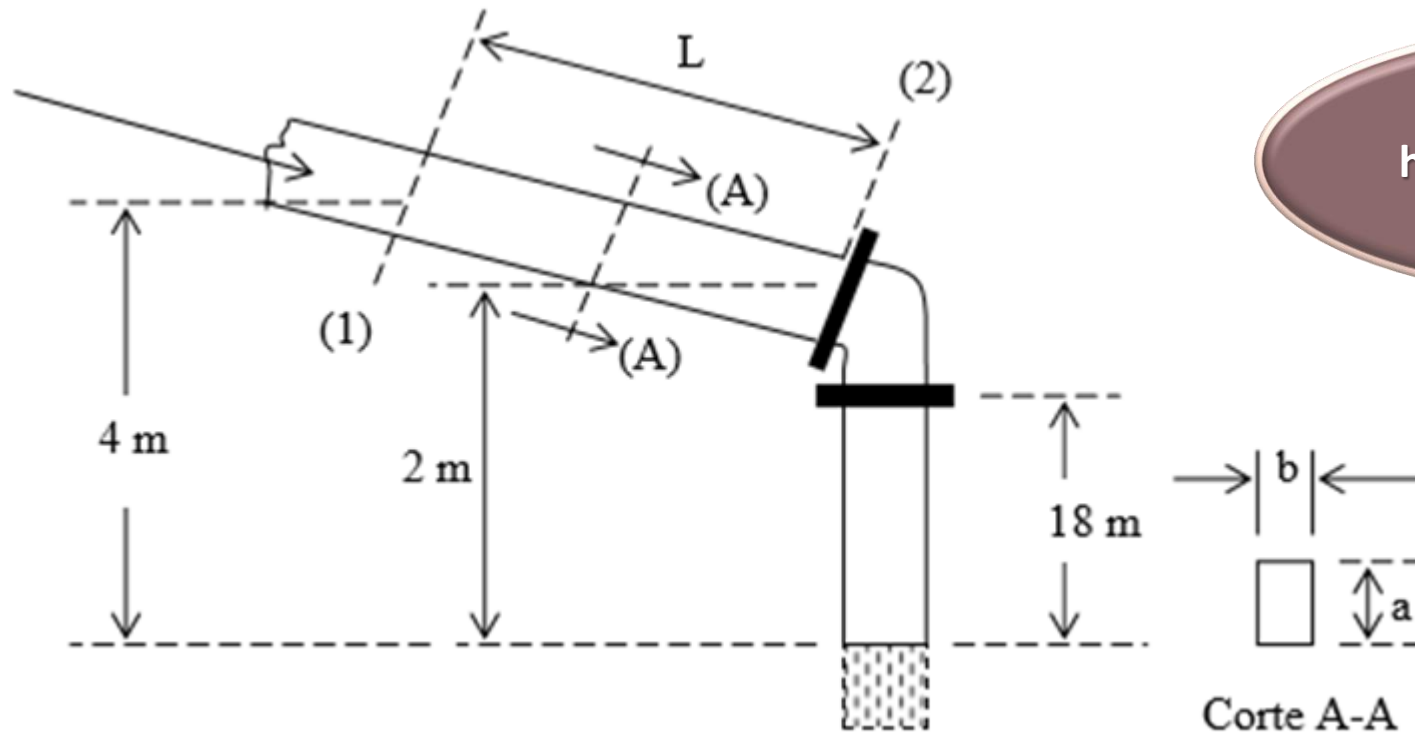


Respostas: $h_s = 1,05$ m
e $K_s = 5,5$



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:

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





Engano seu!

**Ser vítima?
Mas de quem?
Da incompreensão?
Não é verdade.
Fujo da repressão
a que me submetem
Esta sim é a realidade**



**Ser vítima?
Isso, não é o que sinto.
Anseio é falar
pelas bocas mortas
e chutar
todas as portas.**

**Portas que me separam
da liberdade,
que tanto almejo
e que vou
conquistar!**



**Ser vítima?
Não me taxe assim!
Vítimas são todos aqueles
para quem a vida
não tem início
mas fim!**

