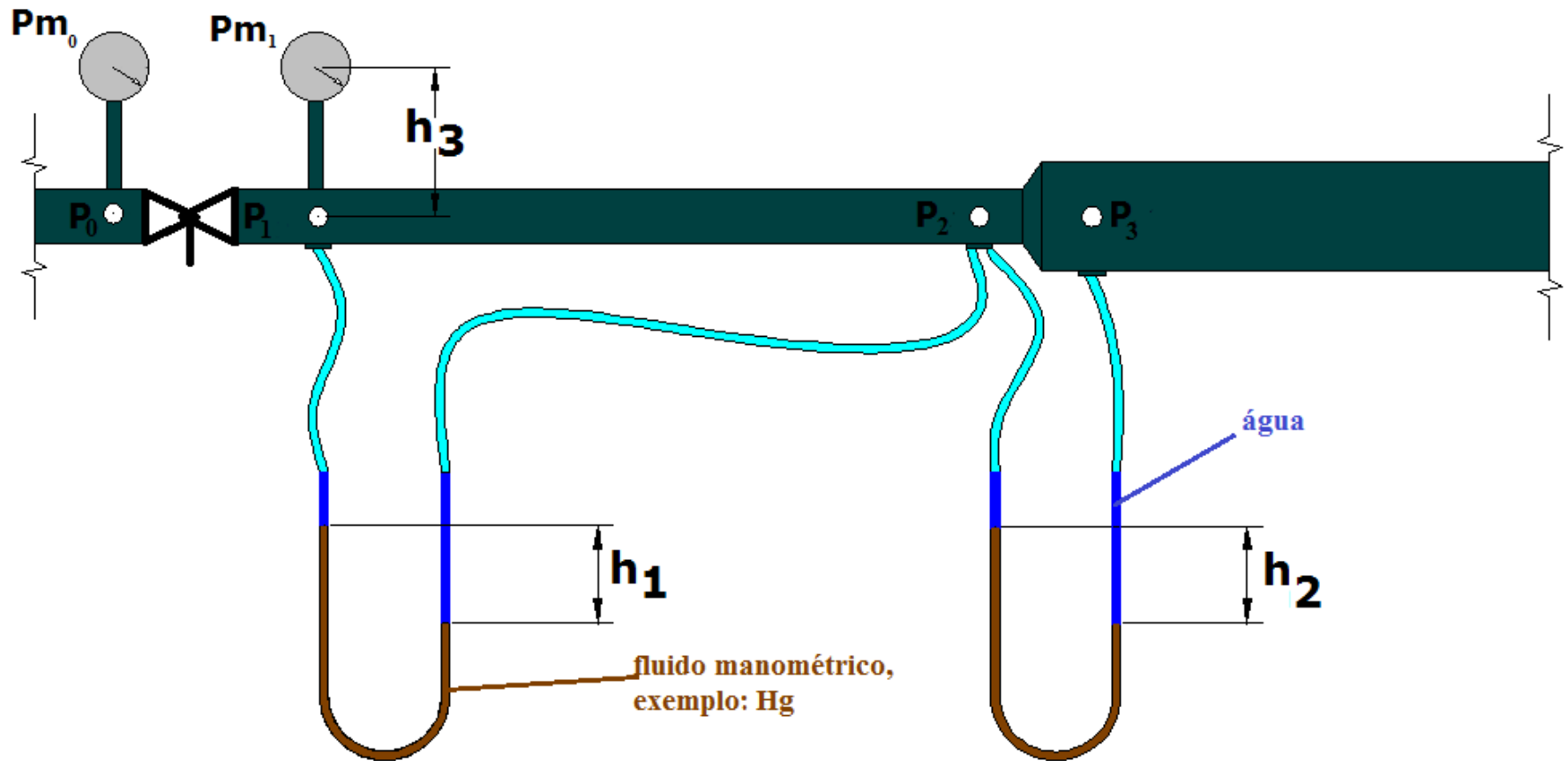
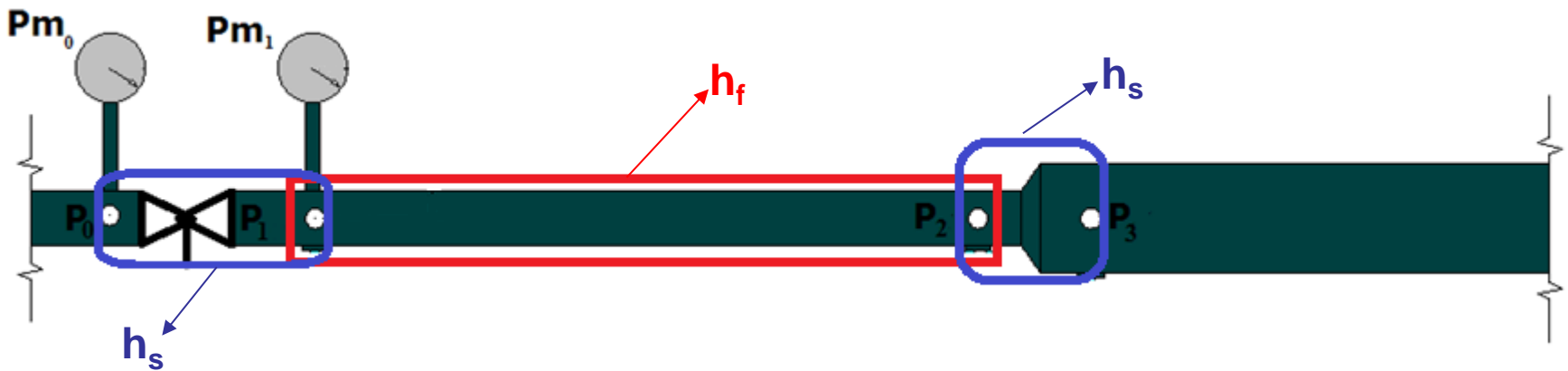


Experiência de perda de carga





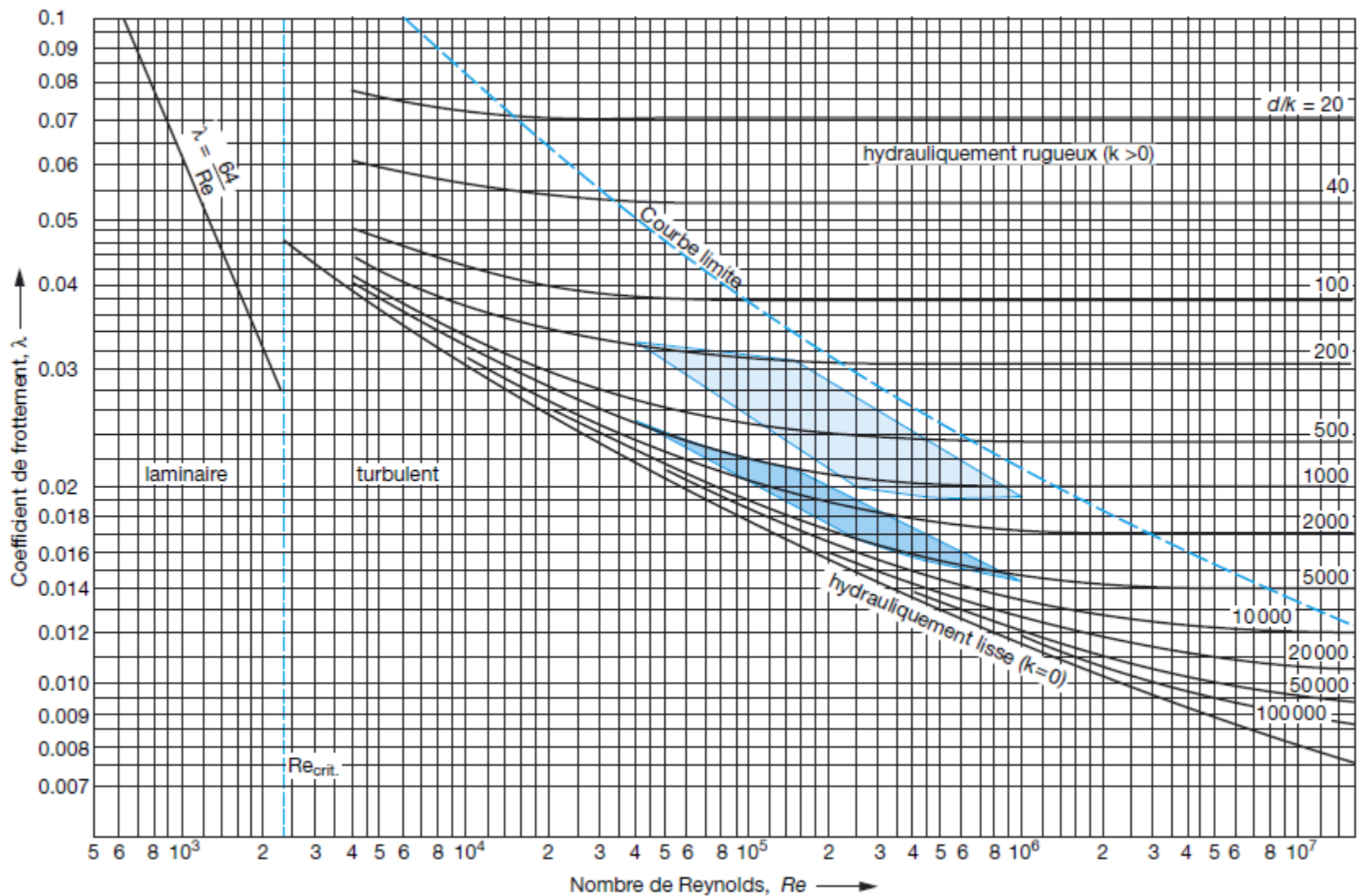
Experiência de perda de carga distribuída (h_f), a perda devido a viscosidade do fluido e/ou a rugosidade do tubo.



Experiência de perda de carga localizada, a perda ocorre devido a presença de um acessório hidráulico (singularidades)



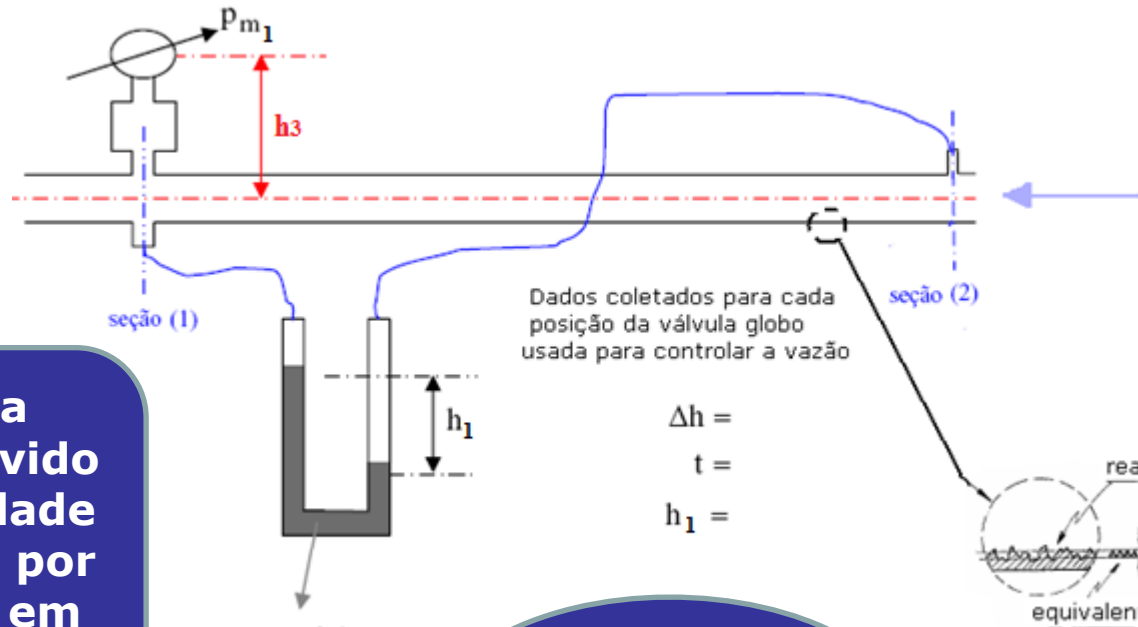
A perda h_f devido a viscosidade do fluido e/ou a rugosidade do tubo



**Vamos iniciar
com a
experiência de
perda de carga
distribuída**

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

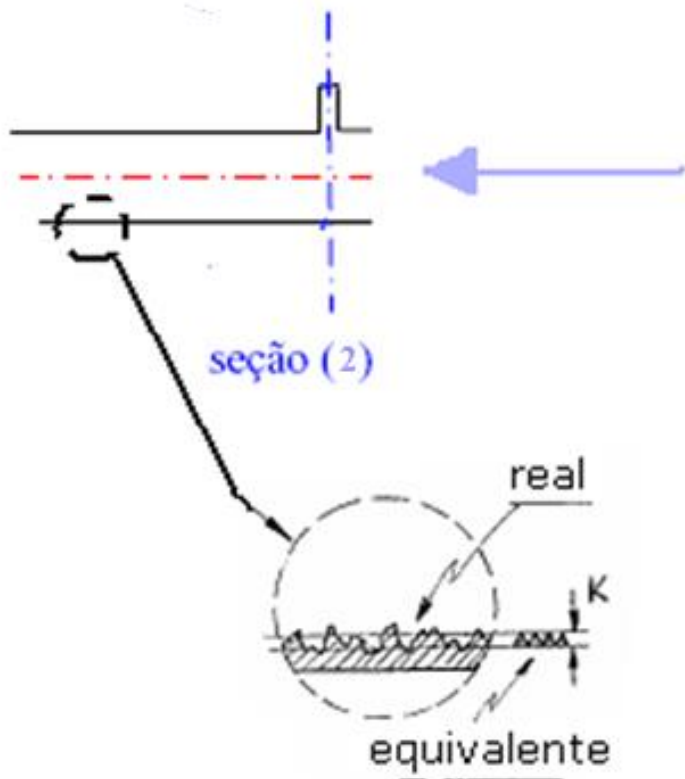




A perda ocorre devido a viscosidade do fluido, por exemplo em um tubo de aço

Mas não é só a viscosidade que a influencia!





A rugosidade equivalente K , também pode ser uma das responsáveis pela perda distribuída, que aumenta com o passar do tempo. No caso da tubulação de aço nova, temos $k=4,6 \times 10^{-5}$ e para o aço galvanizado $k = 1,52 \times 10^{-4}$ m.



**E no tubo
liso não
ocorrem as
perdas
distribuídas?**





**Também
ocorrem!**

Como calcular as perdas devido a viscosidade dos fluidos, ou seja, as distribuídas?



**Sem medo ...
Recorremos
a fórmula
universal**



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

f → coeficiente de perdede carga distribuída

L → comprimento da tubulação

D_H → diâmetro hidráulico que em conduto forçado = D_{int}

v → velocidade média do escoamento

g → aceleração da gravidade

Q → vazão do escoamento

A → área da seção formada pelo fluido

A cartoon illustration of a woman with long black hair, wearing red-rimmed glasses, a black top, and blue pants. She is sitting at a yellow desk with a black chair. Her right hand is raised in a questioning gesture.

**Como
achar o f?**

A cartoon illustration of a scientist with a large yellow beard and balding head. He is wearing a white lab coat over blue pants and is holding a green flask in his left hand. He has a thoughtful expression.

**Existem
duas
maneiras:**

**Para projetos:
calculando-se
número de
Reynolds e se
precisar através do
diagrama de
Moody ou Rouse.**



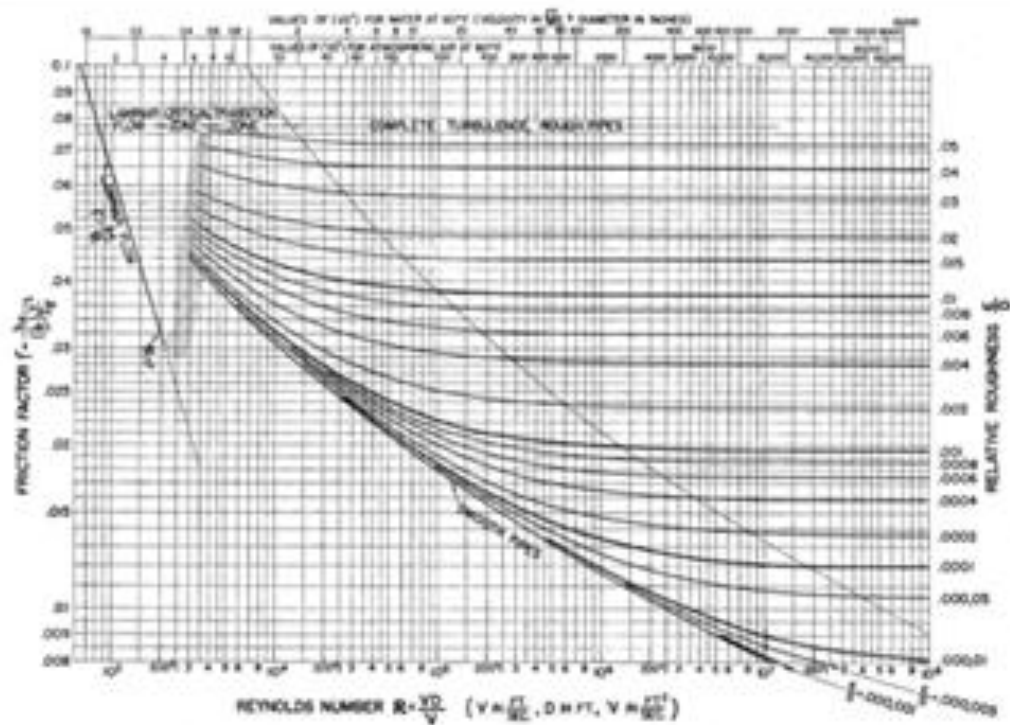
$$Re = \frac{\rho \times v \times D_H}{\mu} = \frac{v \times D_H}{\nu}$$

Se $Re \leq 2000 \rightarrow$ escoamento laminar

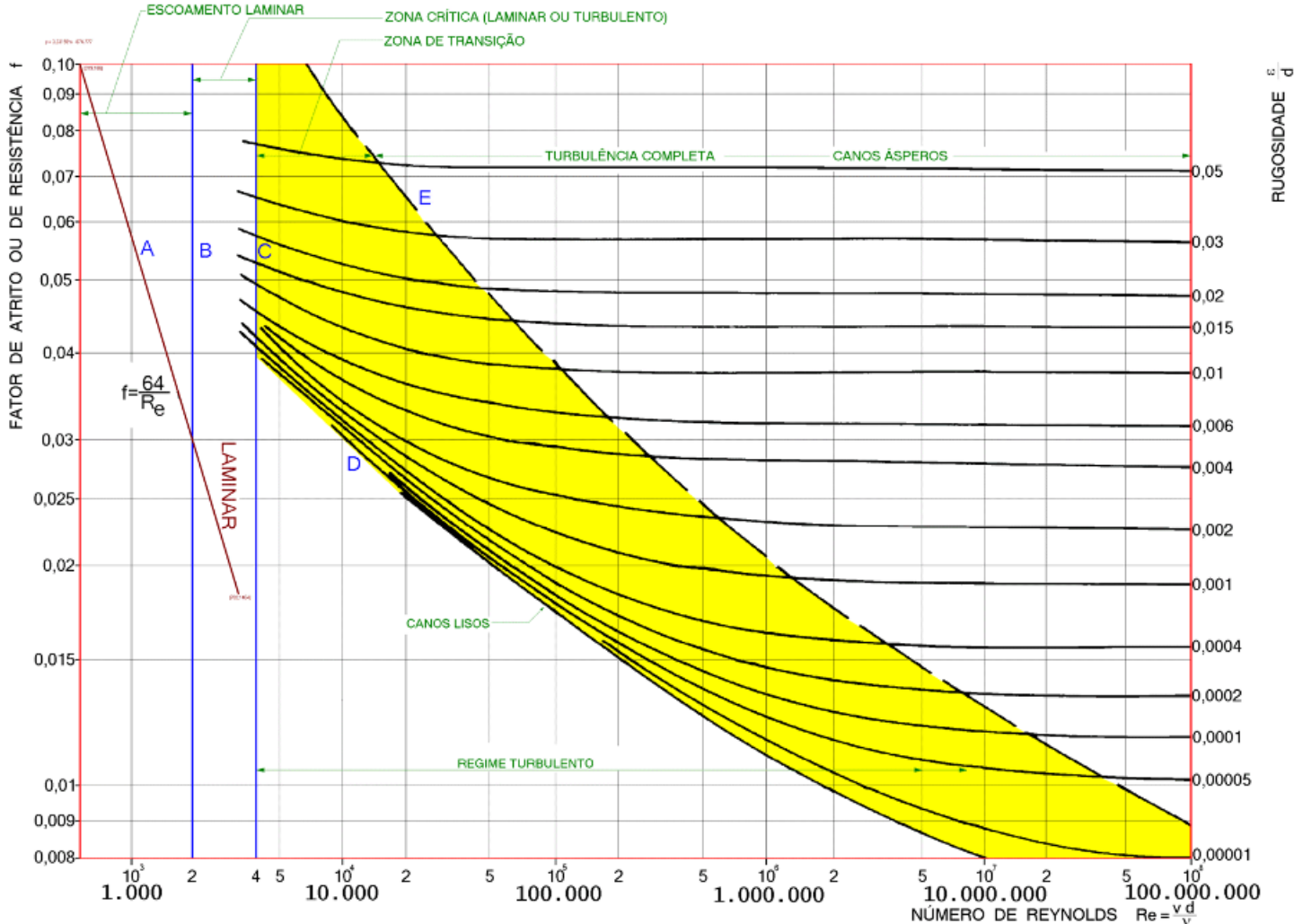
$$\therefore f = \frac{64}{Re}$$

Para o escoamento turbulento recorre - se aos diagramas :

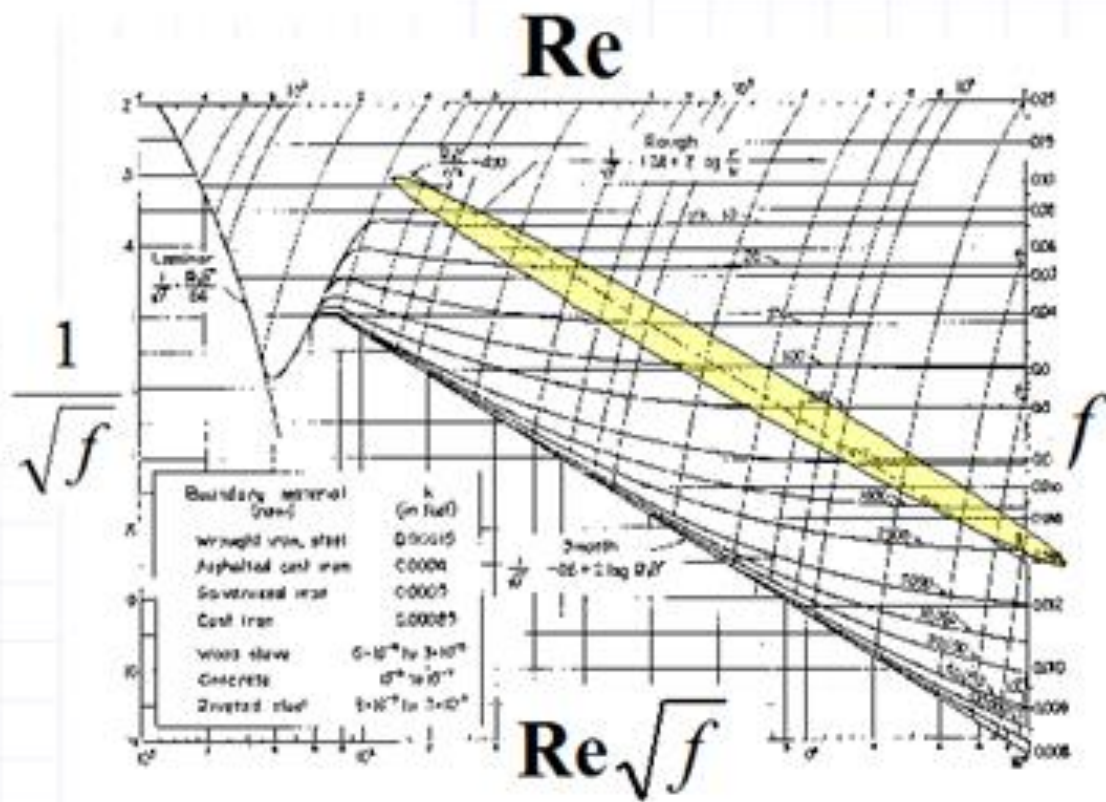
Lewis Moody, 1944



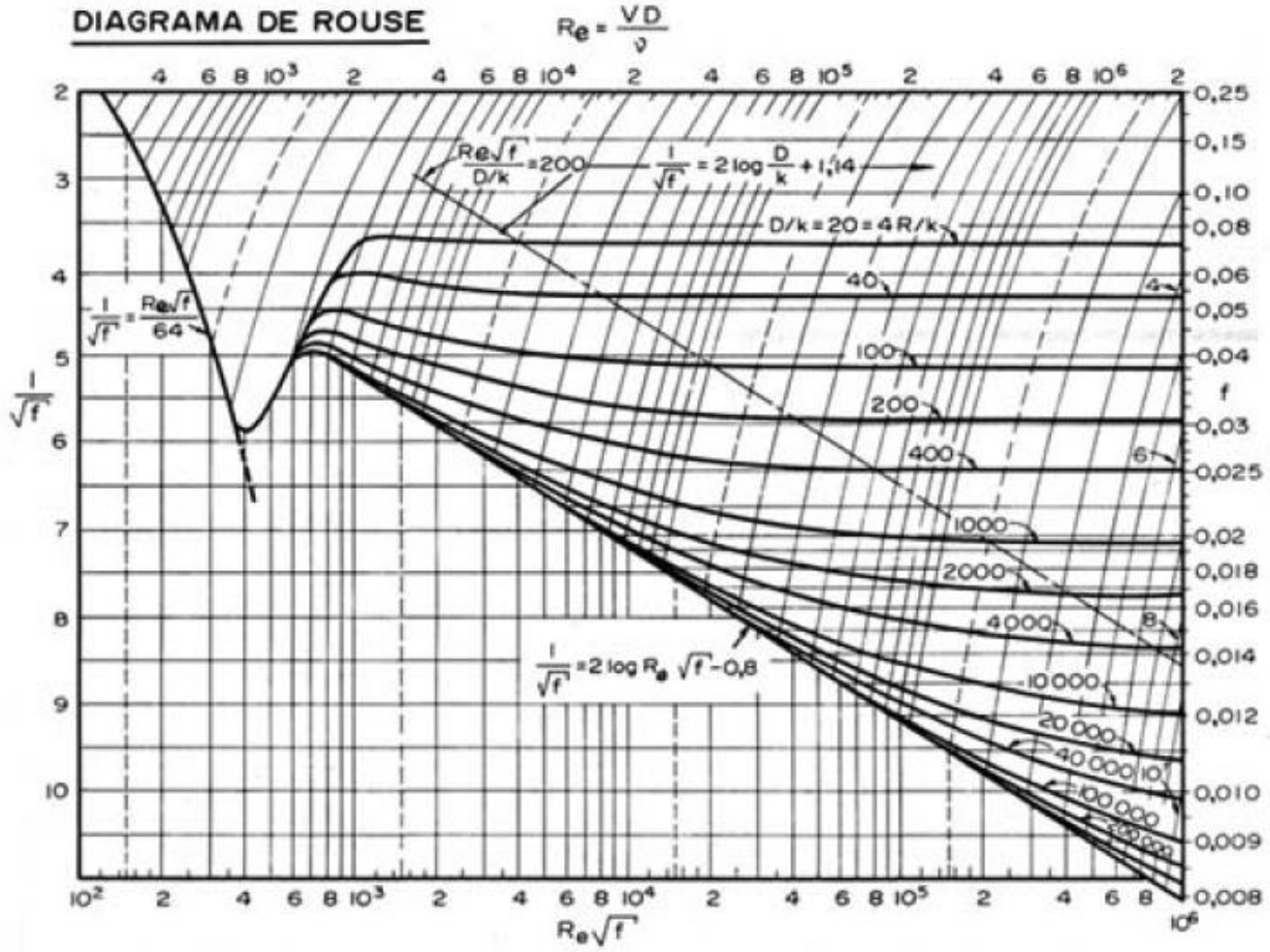
Detalhes do Moody



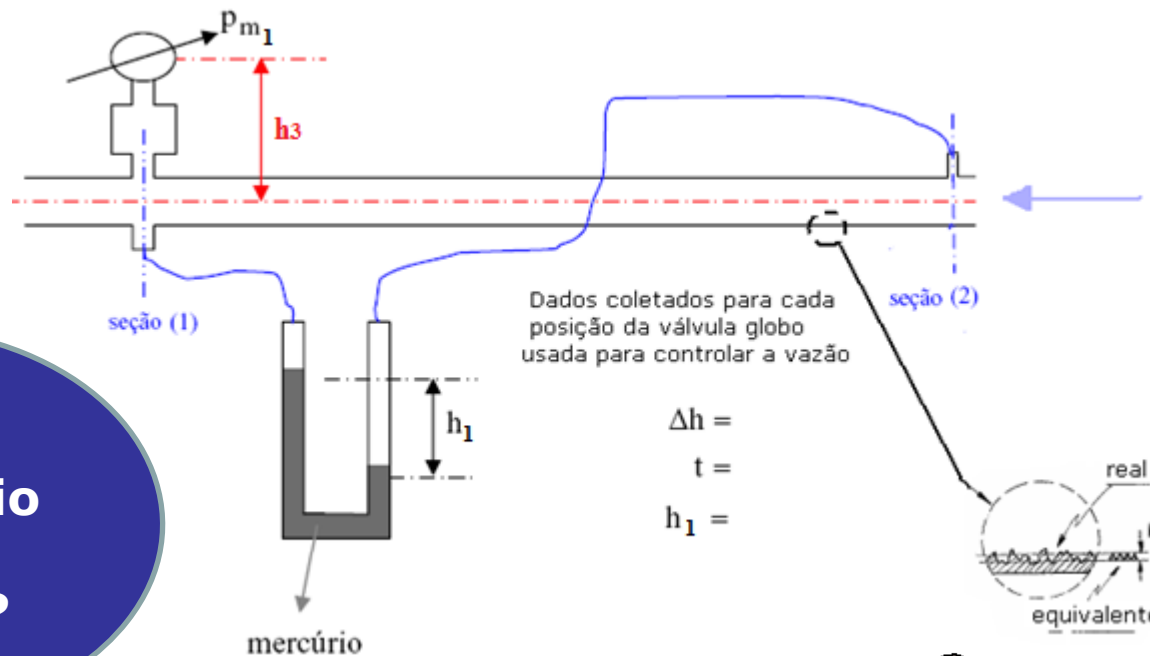
Hunter Rouse, 1942



Rouse



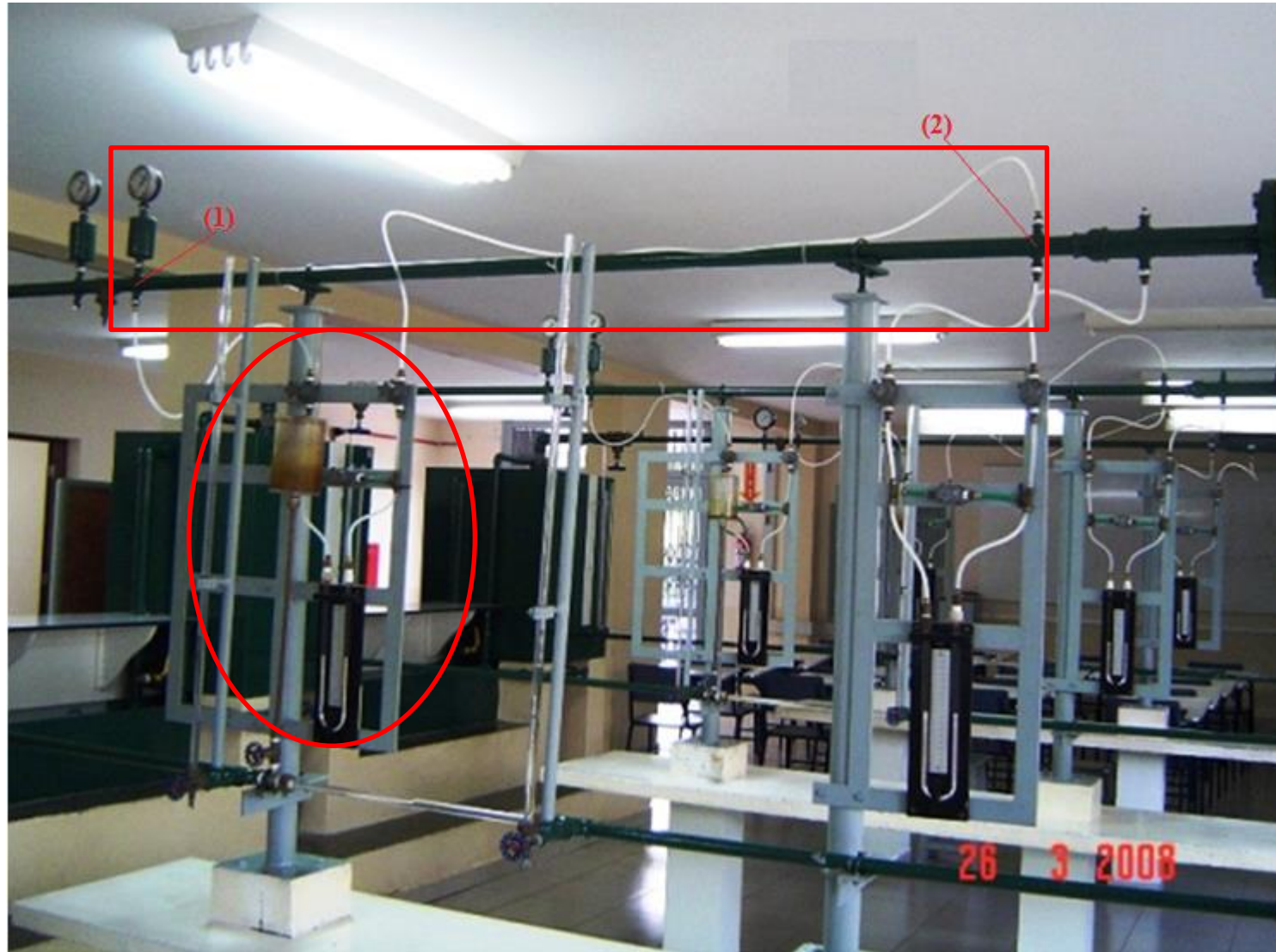
E para o laboratório como calcular?



Vamos localizar o esquema acima na bancada.



Trecho da bancada do laboratório



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

$$H_2 = H_1 + H_{p2-1}$$

$$Z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} = Z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + h_{f2-1}$$

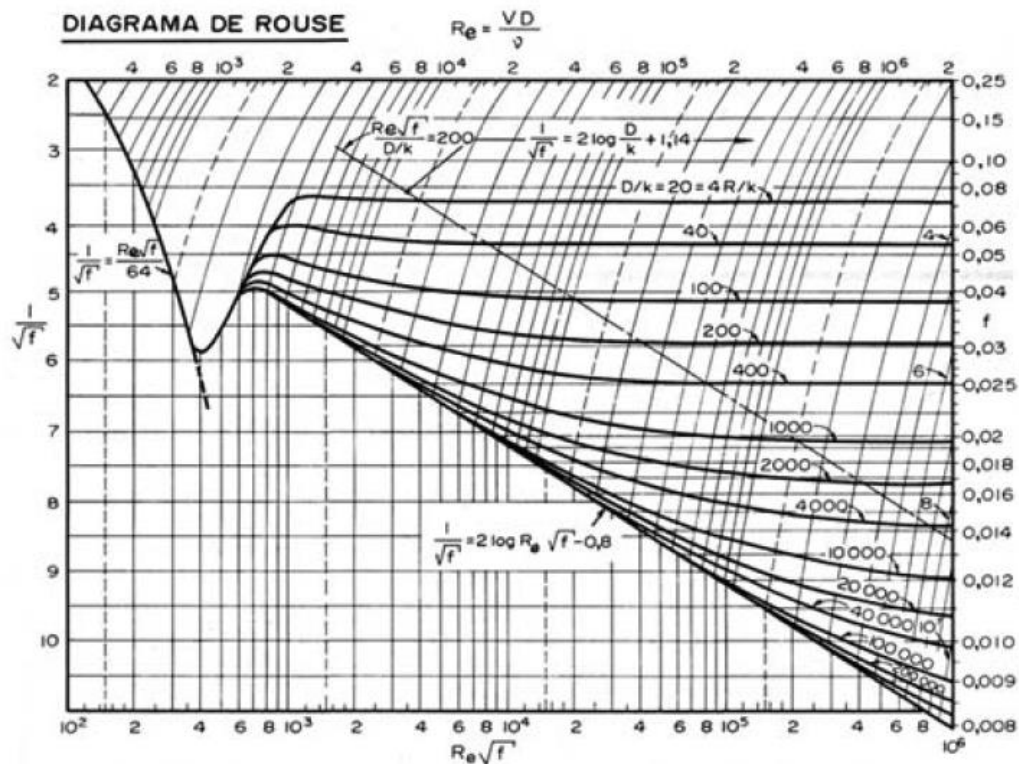
$$h_{f2-1} = \frac{p_2 - p_1}{\gamma} = h \times \left(\frac{\gamma_m - \gamma}{\gamma} \right) = f \times \frac{L}{D_H} \times \frac{v^2}{2g}$$

$$f = \frac{h \times \left(\frac{\gamma_m - \gamma}{\gamma} \right) \times D_H \times 2g}{L \times v^2}$$

$$v = \frac{4 \times Q}{\pi \times D^2} \rightarrow Q = \frac{A_{\text{tanque}} \times \Delta h}{t}$$



Nesta experiência,
com o f e o Re ,
estime o valor da
rugosidade K



Vamos também obter a representação gráfica da perda distribuída em função da vazão





$$h_f = f(Q)$$

Onde a vazão também pode ser lida pelo medidor eletromagnético.



Onde a vazão novamente será determinada de forma direta.

$$Q = \frac{V}{t}$$
A cartoon character wearing a green hat and overalls, holding a measuring tape against a vertical pipe.



**Agora, vamos
abordar a
experiência de
perda de carga
singular**

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

Exemplos de singularidades



**Como calcular as
perdas singulares
(ou localizadas)?**

**Podemos
também
calculá-las de
duas maneiras:**



**Para
projeto:**

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

K_S → coeficiente de perda singular ou localizada

v → velocidade média do escoamento

g → aceleração da gravidade

Q → vazão do escoamento

A → área da seção formada pelo fluido

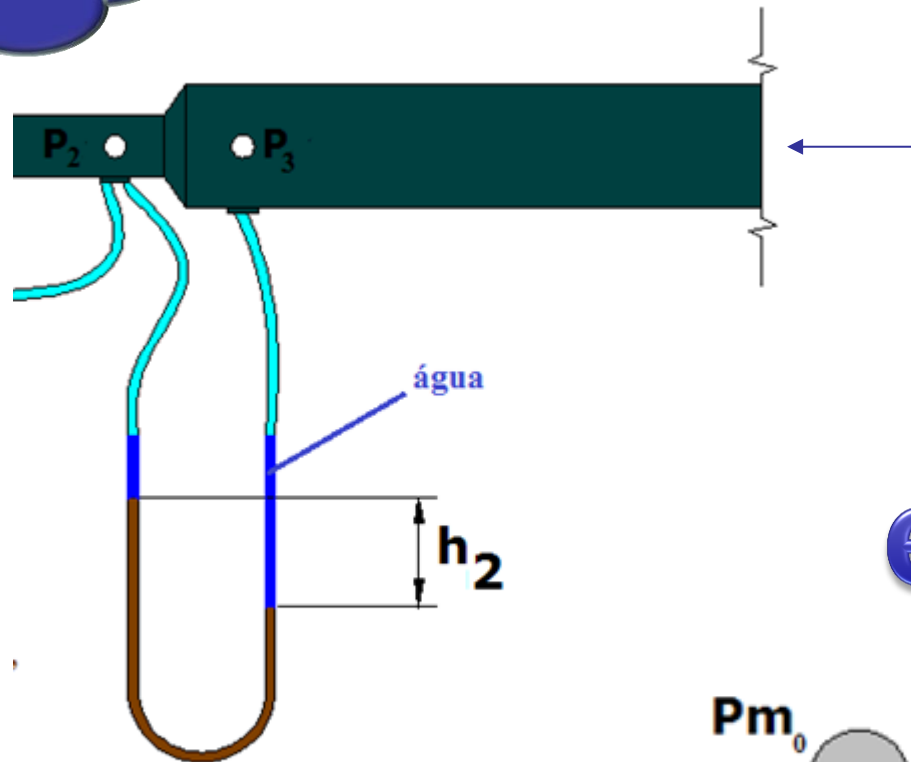
Existe outra maneira:

$$h_S = f \times \frac{L_{eq}}{D_H} \times \frac{v^2}{2g}$$

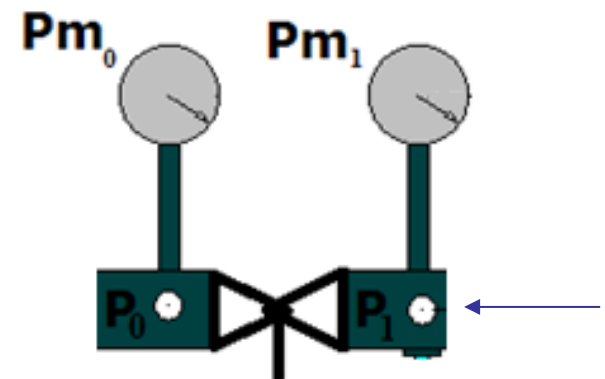
L_{eq} → comprimento equivalente → $L_{eq} = \frac{K_S \times D_H}{f}$



No
laboratório:



$$p_3 - p_2 = h_2 \times (\gamma_{\text{Hg}} - \gamma_{\text{água}})$$



Aplica-se
a equação
da energia
de (3) a
(2)



$$H_3 = H_2 + H_{p3-2}$$

$$Z_3 + \frac{p_3}{\gamma} + \frac{v_3^2}{2g} = Z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + h_{s3-2}$$

$$h_{s3-2} = \frac{p_3 - p_2}{\gamma} + \frac{v_3^2 - v_2^2}{2g} = K_S \times \frac{v_2^2}{2g}$$

$$\therefore K_S = \frac{\frac{p_3 - p_2}{\gamma} + \frac{v_3^2 - v_2^2}{2g}}{\frac{v_2^2}{2g}}$$

e

Aplica-se
a equação
da energia
de (1) a
(0)



$$H_1 = H_0 + H_{p1-0}$$

$$Z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} = Z_0 + \frac{p_0}{\gamma} + \frac{v_0^2}{2g} + h_{s1-0}$$

$$h_{s1-0} = \frac{p_1 - p_0}{\gamma} = K_S \times \frac{v_1^2}{2g}$$

$$\therefore K_S = \frac{\frac{p_0 - p_1}{\gamma}}{\frac{v_1^2}{2g}}$$

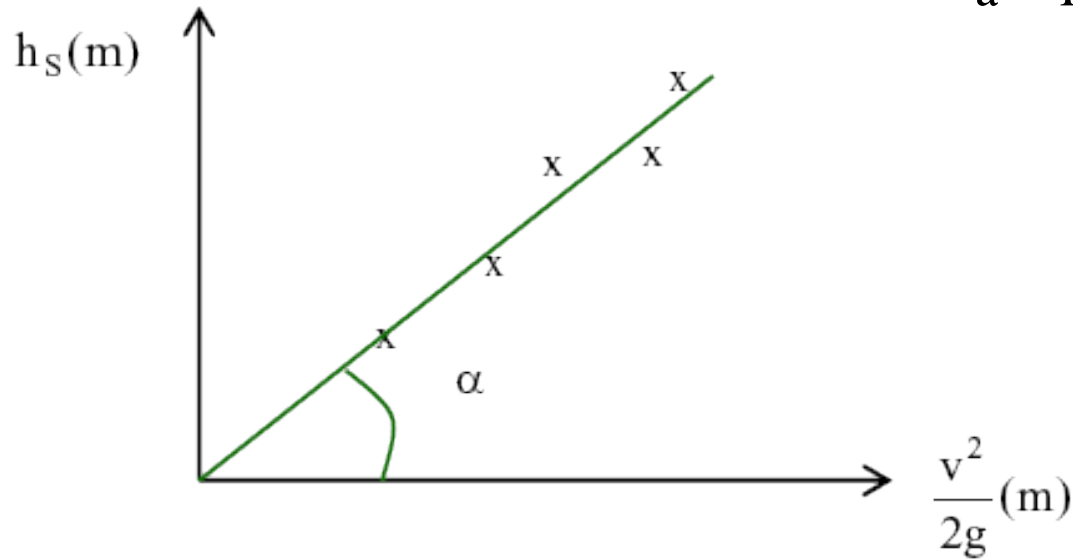
Pede-se também
a determinação
do K_s .



$$\operatorname{tg}\alpha = K_S$$

$$y = a \times x \Rightarrow y = h_S \rightarrow x = \frac{v^2}{2g}$$

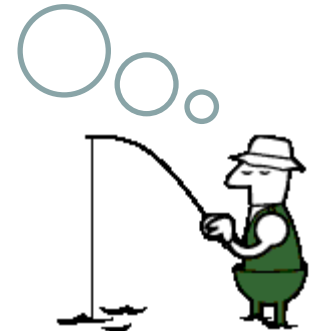
$$a = K_S$$



Com K_S e o f ,
podemos calcular o
 L_{eq}

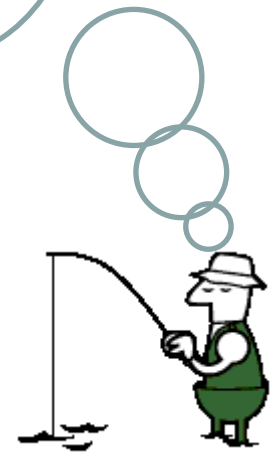
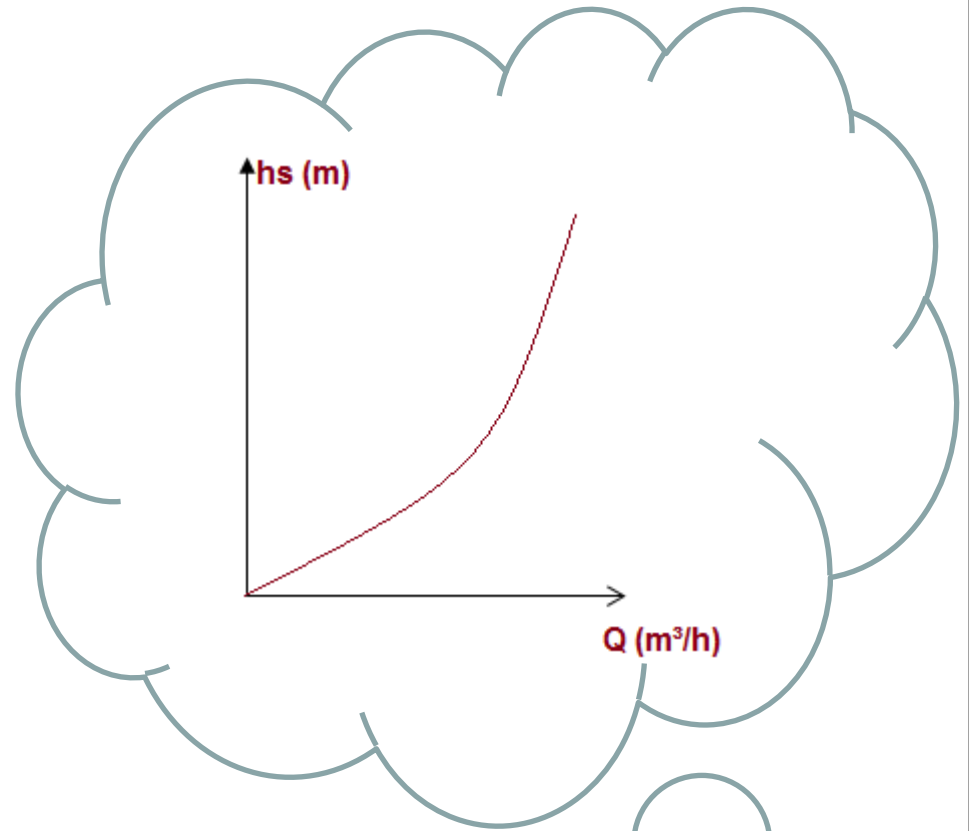


$$L_{eq} = \frac{K_S \times D_H}{f}$$



Pede-se
também:

$$h_s = f(Q)$$



Trecho para determinação das perdas singulares

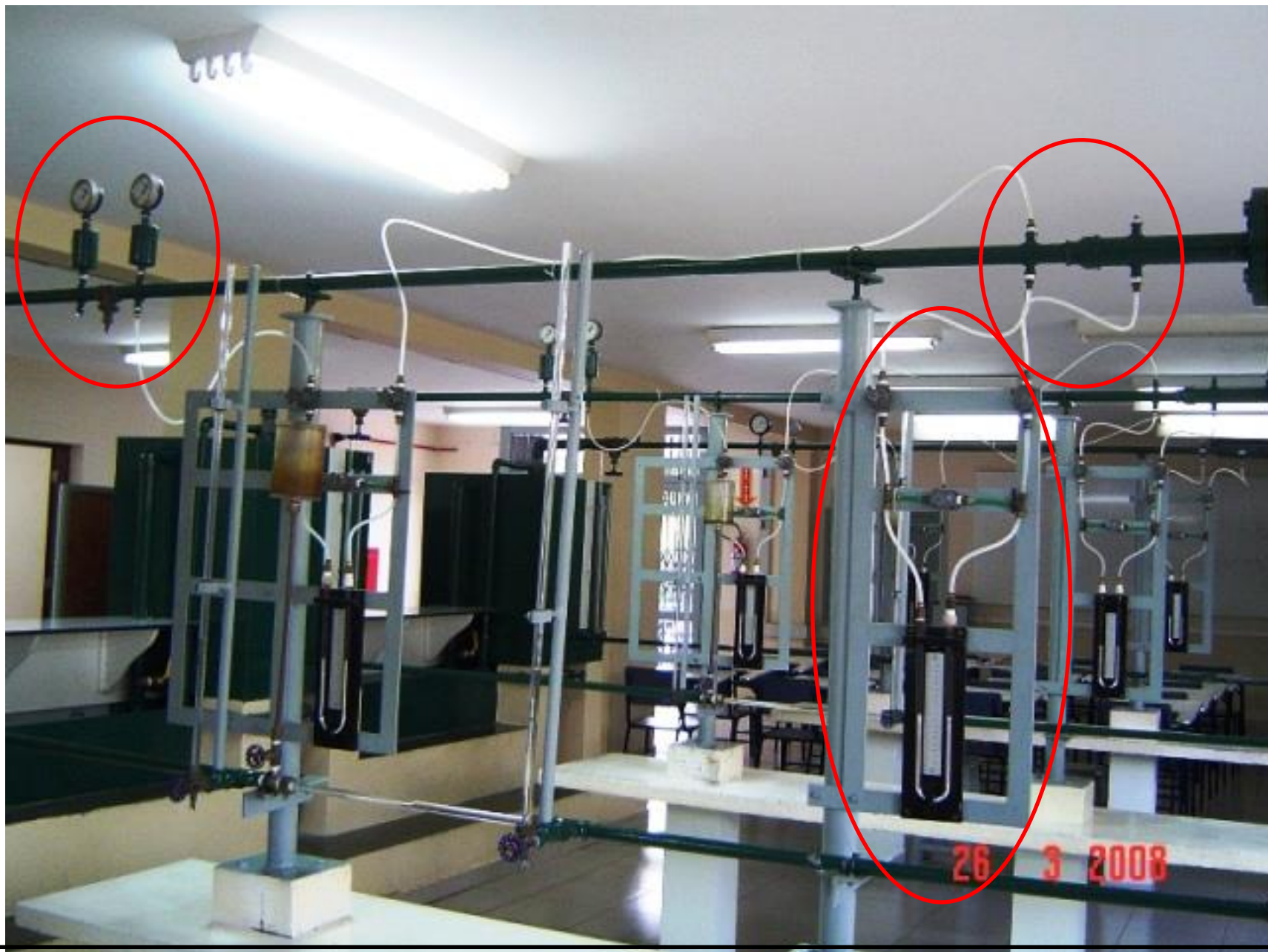


Tabela de dados para as bancadas de 1 a 6

Ensaio	h_1 (mm) da perda distribuí da	h_2 (mm) da perda singular	P_{m1} (.....)	P_{m0} (.....)	Δh (mm)	t(s)
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						

Tabela de dados para as bancadas de 7 e 8

Ensaio	h_1 (mm) da perda distribuí da	h_2 (mm) da perda singular	P_{m1} (.....)	P_{m0} (.....)	Q (m ³ /h)
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					

Exercícios

1

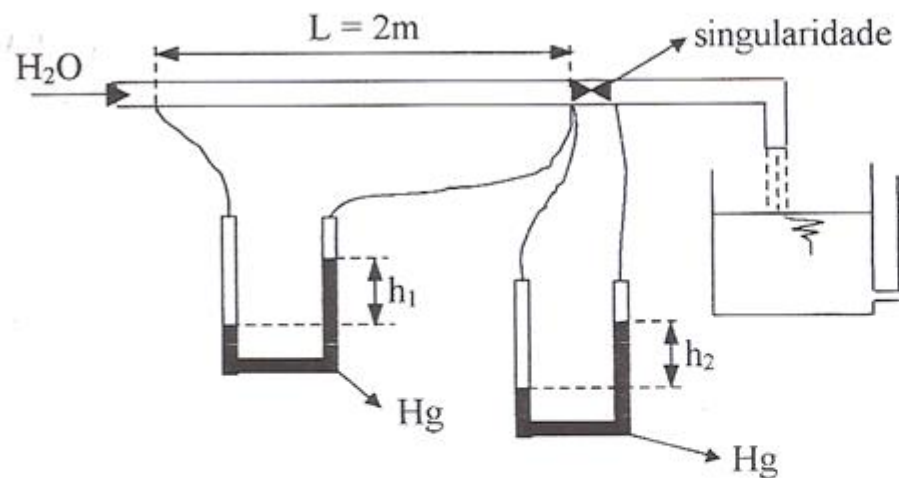
Na experiência de perda de carga distribuída, um aluno preencheu a primeira linha da tabela abaixo, mas posteriormente verificou que o diâmetro do tubo utilizado para os cálculos estava errado, sendo que o verdadeiro tinha 2 mm a menos.

1. Qual o verdadeiro valor do coeficiente de perda de carga distribuída?
2. Qual o comprimento da tubulação?

Δh (m)	t (s)	Q (L/s)	v (m/s)	h (m)	h_f (m)	f
0,2	24	2,27	2,23	0,033	0,395	0,023

2

As experiências de perda de carga distribuída e singular foram realizadas simultaneamente no laboratório. Baseado na figura e nos dados, preencher as lacunas na tabela mostrando os cálculos abaixo.



Dados:

$$v = 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$A_{\text{tanque}} = 0,5 \text{ m}^2$$

$$D_{\text{tubo}} = 5 \text{ cm (constante)}$$

$$\gamma_{\text{H}_2\text{O}} = 1000 \text{ kgf/m}^3$$

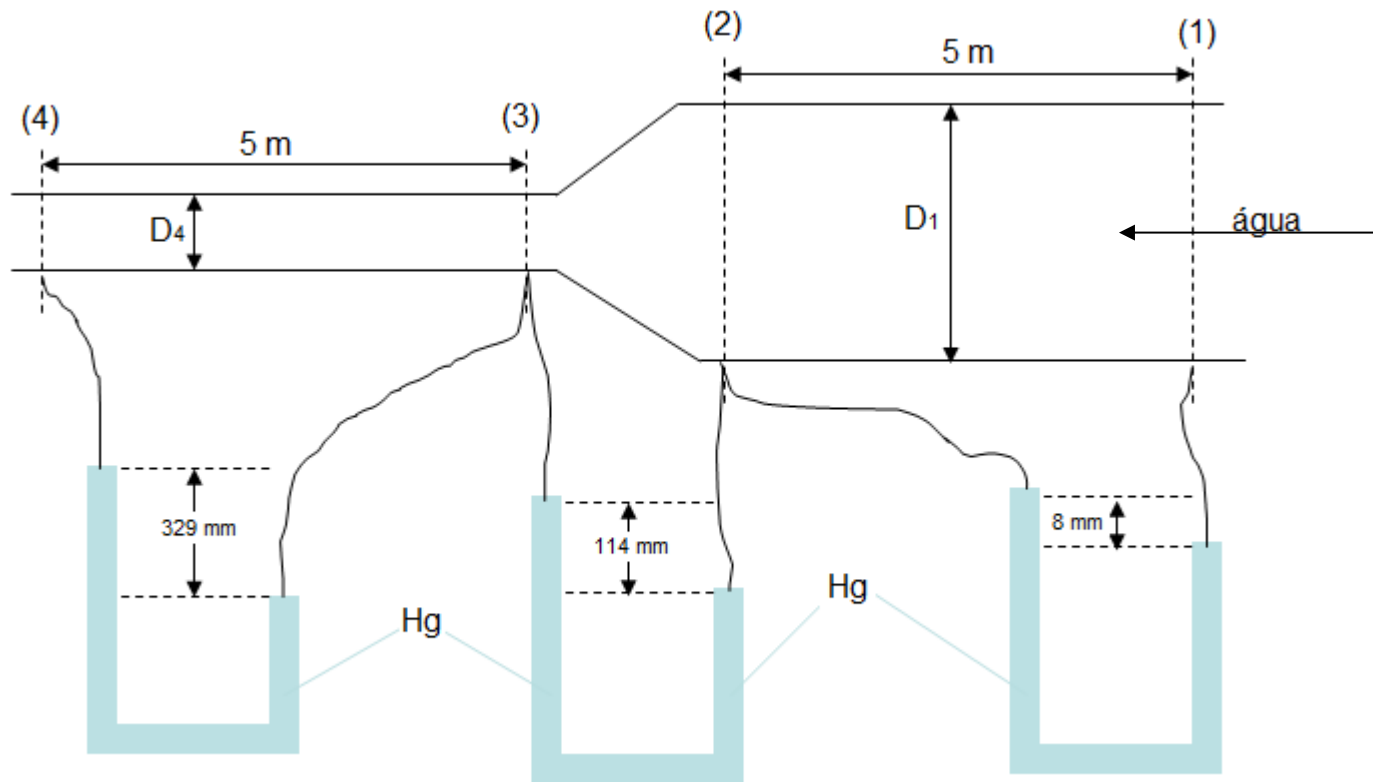
$$\gamma_{\text{Hg}} = 13600 \text{ kgf/m}^3$$

Δh	t	h_1	h_2	Q	v	h_f	f	Re	h_s	k_s	L_{eq}
cm	s	cm	cm	L/s	m/s	m	-	-	m	-	m
5		1,3						10^5		8	

3

Na experiência de perda de carga singular utilizou-se trecho da bancada esquematizada a seguir. O tanque superior tem uma área de seção transversal igual a $0,5 \text{ m}^2$ e no piezômetro utilizado como medidor de nível observou-se uma subida d'água de 10 cm em um tempo de 25 s . Os tubos tem diâmetro respectivamente $D_1 = 50 \text{ mm}$ e $D_4 = 25 \text{ mm}$, sabendo que o peso específico da água e do mercúrio são respectivamente 9800 N/m^3 e 136000 N/m^3 , pergunta-se:

1. quanto vale o coeficiente de perda de carga singular?
2. qual o seu comprimento equivalente?



4

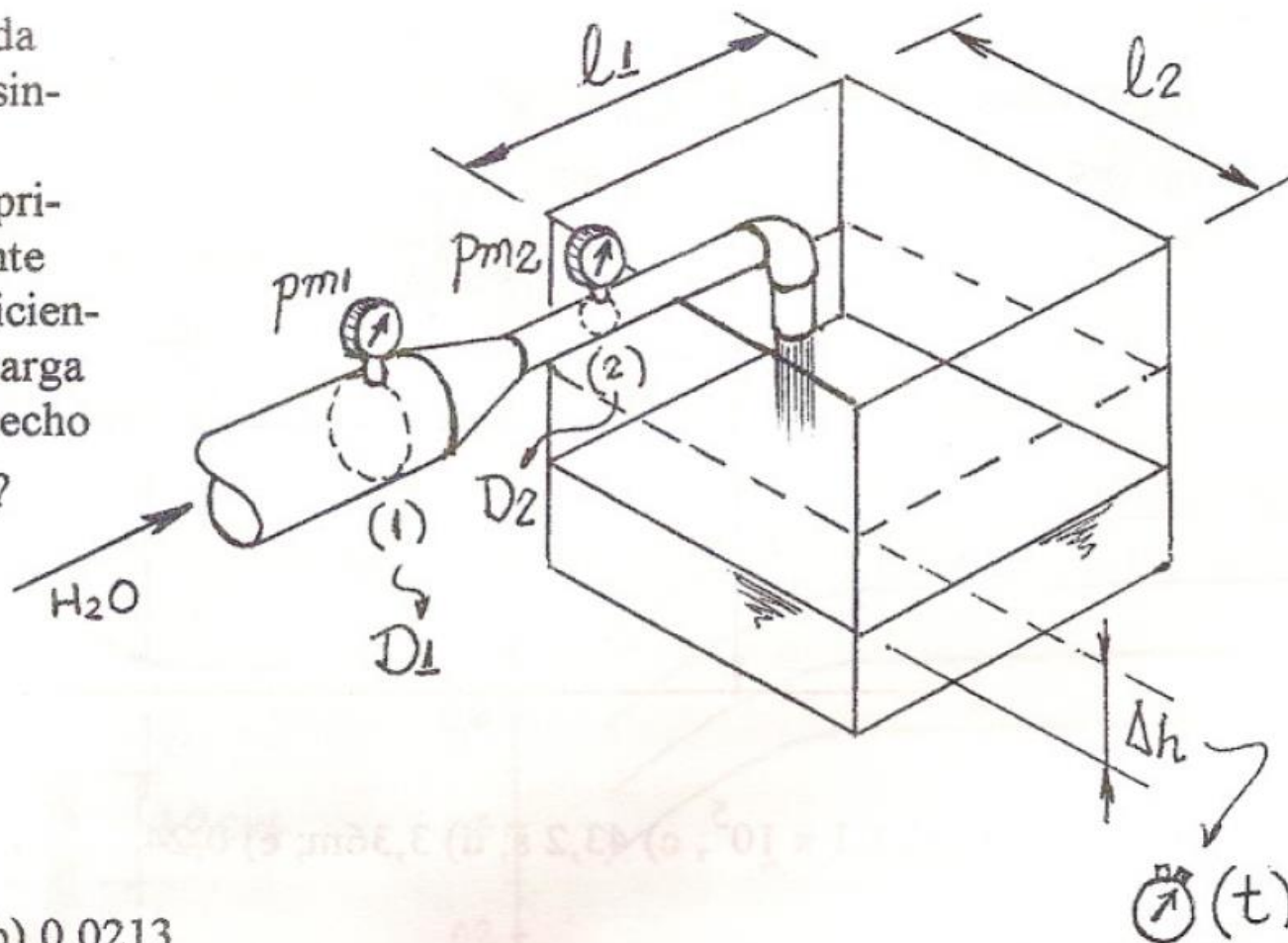
(Ref.: Exp. 7)

Na Experiência de Perda de Carga Singular, foram obtidos os seguintes dados:

$p_{m1} = 0,82 \text{ kgf/cm}^2$; $p_{m2} = 0,70 \text{ kgf/cm}^2$; $l_1 = 60 \text{ cm}$; $l_2 = 50 \text{ cm}$; $t = 30 \text{ s}$ para $\Delta h = 50 \text{ cm}$; $D_1 = 80 \text{ mm}$; $D_2 = 48 \text{ mm}$; $\gamma_{\text{H}_2\text{O}} = 1000 \text{ kgf/m}^3$; $g = 9,8 \text{ m/s}^2$. Pede-se:

a) o coeficiente da perda de carga singular.

b) sendo o comprimento equivalente 5m, qual o coeficiente da perda de carga distribuída no trecho de diâmetro D_2 ?



Resp.: a) 2,22; b) 0,0213

5

Para a tubulação esquematizada abaixo são dados:

Peso específico do fluido: 8 N/L ; viscosidade do fluido: $0,0025 \text{ N}\cdot\text{s/m}^2$; $g = 10 \text{ m/s}^2$;

o comprimento da tubulação: $L = 95 \text{ m}$; o diâmetro da tubulação: $D = 10 \text{ cm}$;

o desnível entre as seções do manômetro e a saída do fluido para a atmosfera: $\Delta z = 2 \text{ m}$;

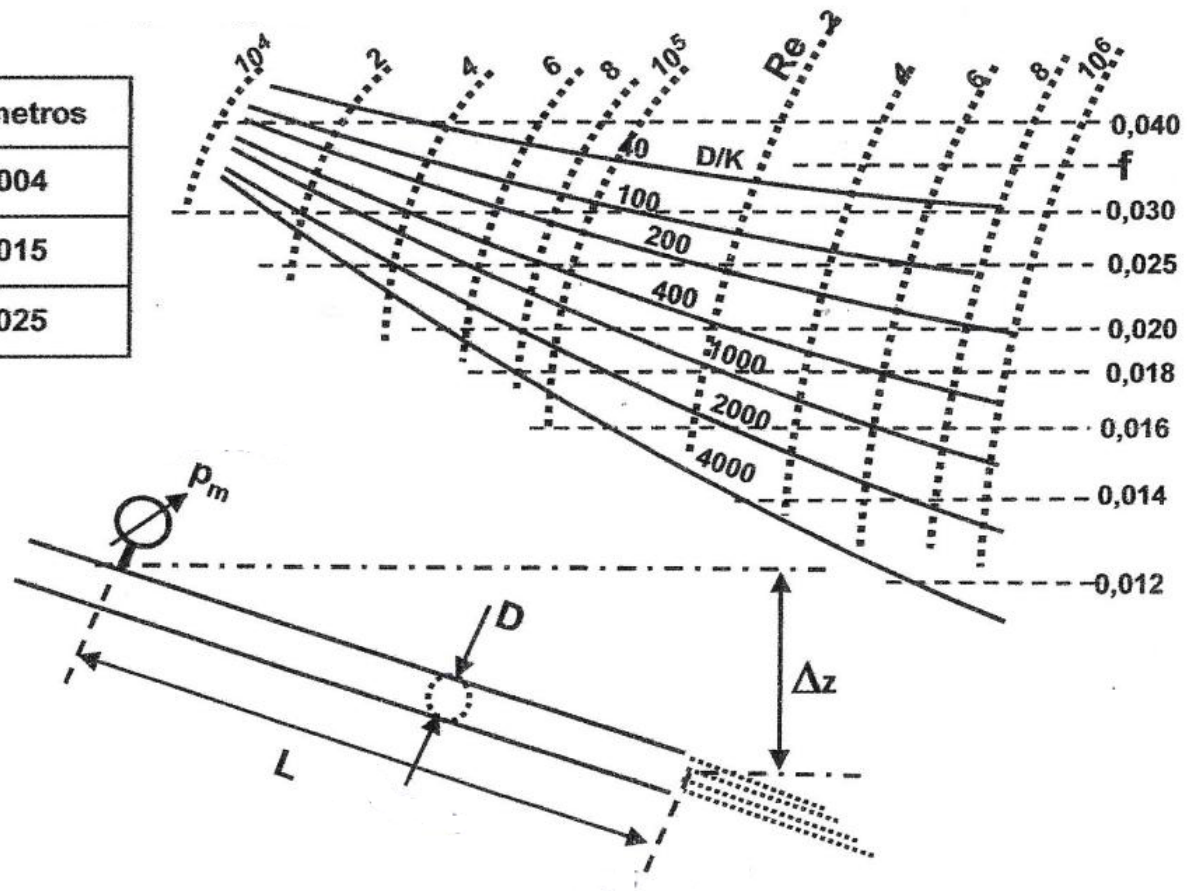
a leitura do manômetro: $p_m = 80 \text{ KPa}$; a vazão em volume de fluido: $Q = 25 \text{ L/s}$;

além do diagrama de Moody-Rouse que segue.

material	K em metros
Aço	0,00004
Ferro galvanizado	0,00015
Ferro fundido	0,00025

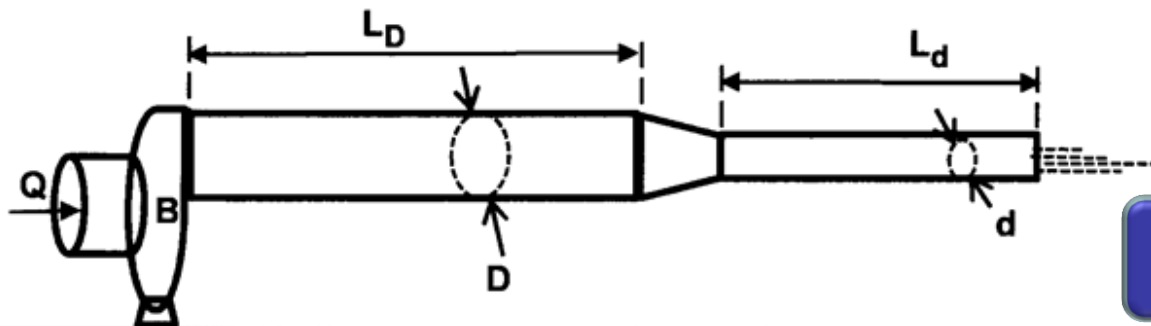
Pede-se:

- A perda de carga entre o manômetro e a saída para a atmosfera;
- O coeficiente de perda de carga distribuída;
- Identificar o material da tubulação.



No processo industrial de um fluido viscoso ($\nu = 30 \text{ mm}^2/\text{s}$), ficou estabelecida a necessidade de promover um jato deste fluido à pressão ambiente. Foi proposto o dispositivo da figura. A vazão exigida pelo processo é de 3 L/s ; os diâmetros são respectivamente $D = 7 \text{ cm}$ e $d = 2 \text{ cm}$; os comprimentos $L_D = 20 \text{ m}$ e $L_d = 0,5 \text{ m}$. O comprimento equivalente da redução, segundo o catálogo é de $0,5 \text{ m}$. O peso específico do fluido é de 8 N/L e $g = 10 \text{ m/s}^2$. Face ao processo produtivo e material dos condutos, a rugosidade equivalente é de $0,2 \text{ mm}$.

Pede-se determinar qual deve ser a pressão de saída da bomba em KPa. Indicar como utilizou o diagrama fornecido.



Resp: 162 kPa

