

Roteiro - Aula Prática - Perda de carga:

1. Objetivo do experimento:

Estudo de perda de carga distribuída e localizada. Medição de velocidade e vazão.

2. Revisão Teórica

Quando um fluido atravessa uma tubulação, há uma perda energética conhecida como perda de carga. Essa defasagem é oriunda do atrito existente entre o fluido e a superfície da tubulação ou da turbulência existente no escoamento. Assim, há uma diminuição gradativa de pressão com a sequência do deslocamento, correspondente à perda de carga.

As causas mais prováveis para essas variações, como foi citado anteriormente, são o fenômeno de atrito ou fricção, promovendo uma transformação de energia mecânica em térmica, diminuindo a carga de pressão do sistema. Outro motivo relevante se refere à mudança na direção do escoamento, que se processa com a utilização de tês ou curvas.

2.1 Perda de Carga

A passagem de um fluido por uma tubulação, ou um acessório, gera, inevitavelmente, uma queda energética conhecida como perda de carga. Há dois tipos de perdas de carga, as perdas distribuídas e localizadas.

Nas perdas contínuas ou distribuídas, ocorre queda de pressão por atrito ao longo dos condutos. Normalmente é uniforme, quando a canalização apresenta dimensões constantes. Suas principais causas são o próprio atrito com a parede, os efeitos da viscosidade do fluido e da rugosidade da tubulação.

Como a maioria das perdas principais podem ser consideradas constantes, vale citar o conceito de perda de carga unitária (J), que é a variação da perda por unidade de comprimento. Por ser uma variação de perda de carga por unidade de

comprimento, essa medida é adimensional, somente sendo representada pela diferença de grandezas (m/m mm/m).

As perdas localizadas ou locais ocorrem quando há presença de acessórios. Dessa forma, a perda se dá tanto pelo atrito com as válvulas, quanto pelas eventuais mudanças de direção que eles possam acarretar. Possuem área variável, contribuindo para a queda de pressão. Seu cálculo é importante principalmente em instalações com tubulações curtas, onde os valores tem uma maior representatividade relativa ao sistema como um todo.

2.2 Determinação da perda de carga distribuída

A perda de carga distribuída se deve a uma gama de fatores, que podem ser acoplados em uma relação matemática. São eles:

- **Fator de atrito (f):** o fator de atrito ou fator de fricção é um coeficiente de perda de carga distribuída. É uma função matemática adimensional do número de Reynolds e da rugosidade relativa. Afinal, quanto maior a rugosidade, maior o atrito e, conseqüentemente, a perda de energia.
- **Comprimento (L):** Como a perda de carga distribuída segue normalmente um padrão linear, é válido pensar que, quanto maior o comprimento, mais tempo o escoamento estará sujeito à influência do atrito e, portanto, maior a queda de energia.
- **Diâmetro (D):** Com maiores diâmetros, uma menor proporção do fluido estará em contato com a superfície. Isso pode ser notado, pois o comprimento (a parte em contato com a superfície) é em função de D e a área (parte sem contato) é função de D^2 . Assim, se o diâmetro cresce, a área que tem contato com a superfície e sofre com a influência do atrito cresce menos do que a área que não tem.
- **Carga cinética:** Analisando pelos princípios de mecânica dos fluídos, o aumento da velocidade é diretamente proporcional à perda de energia. Assim, como a carga cinética está relacionada com o escoamento,

quanto maior a sua velocidade, maior a carga cinética e, portanto, maior a perda de carga.

$$\Delta H = \frac{f L V^2}{D 2g}$$

Onde: ΔH = perda de carga (m); f = fator de atrito (adimensional) L = comprimento (m); V = velocidade (m/s); D = diâmetro (m) e g = aceleração da gravidade = 9,81 m/s²

2.3 Determinação do fator de atrito

O fator de atrito é uma função adimensional do número de Reynolds e da Rugosidade Relativa.

Seu cálculo, na forma mais geral, pode ser determinado explicitamente pela Fórmula de Swamee:

$$f = \left\{ \left(\frac{64}{Re} \right)^8 + 9,5 \left[\ln \left(\frac{\varepsilon}{3,7D} + \frac{5,74}{Re^{0,9}} \right) - \left(\frac{2500}{Re} \right)^6 \right]^{-16} \right\}^{0,125}$$

Onde: f = fator de atrito (adimensional); Re = Número de Reynolds (adimensional); D = diâmetro (m) e ε = rugosidade absoluta (m).

Para determinados intervalos de Reynolds e Rugosidade, há outras fórmulas utilizadas, como a Fórmula de Swamee-Jain:

$$f = \frac{0,25}{\left[\log \left(\frac{\varepsilon}{3,7D} + \frac{5,74}{Re^{0,9}} \right) \right]^2}$$

Utilizada para os intervalos:

- $5 \cdot 10^3 \leq Re \leq 10^8$
- $10^{-6} \leq \varepsilon/D \leq 10^{-2}$

Onde: f = fator de atrito (adimensional); Re = Número de Reynolds (adimensional); D = diâmetro (m) e ϵ = rugosidade absoluta (m).

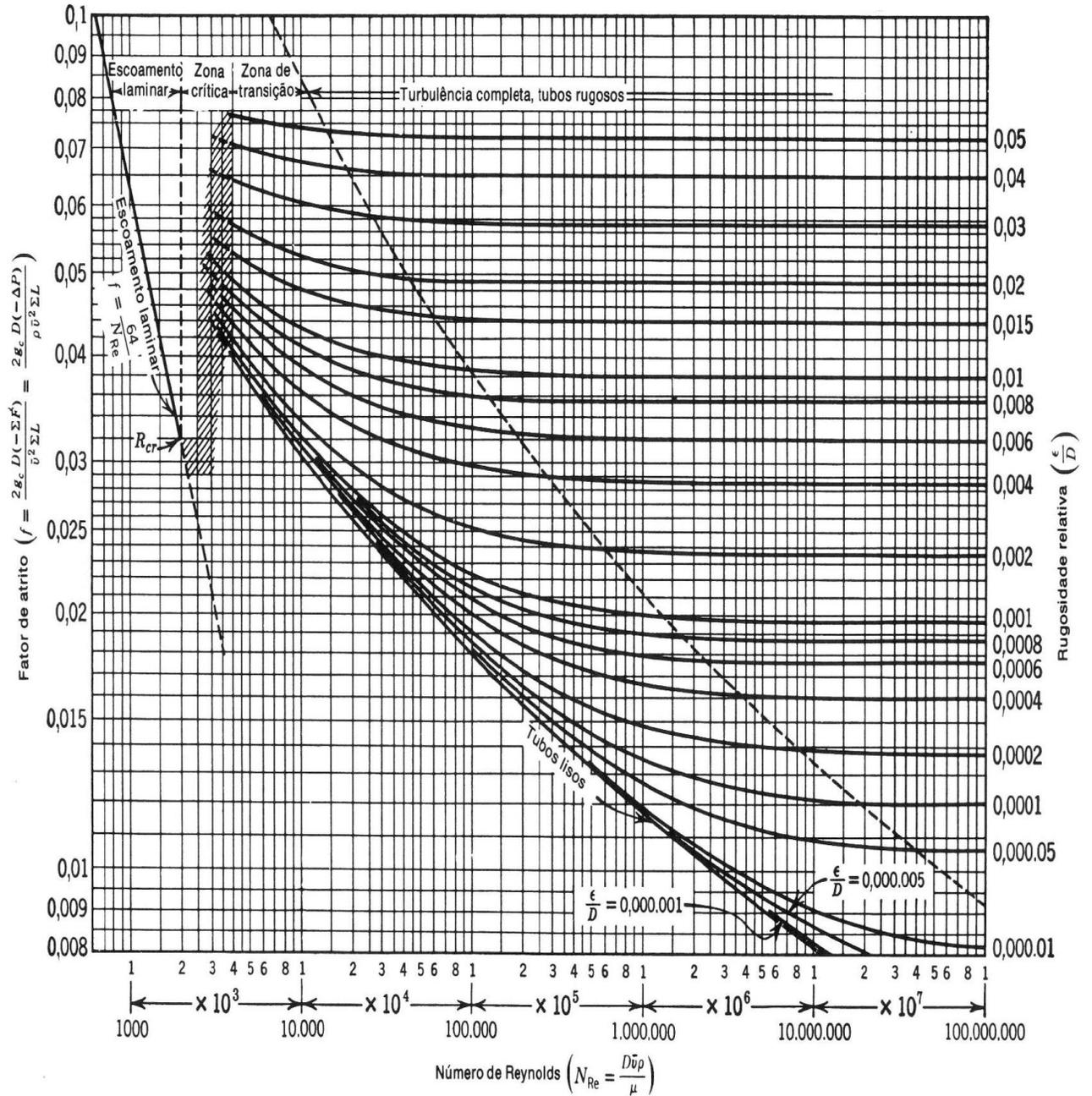


Figura 1 - Diagrama de Moody

2.4 Determinação do comprimento equivalente

O comprimento equivalente (L_{eq}) corresponde ao tamanho de um tubo reto com uma quantidade equivalente de perda energética gerada na passagem de fluido por um acessório. A sua determinação se mostra útil na análise da tubulação como um todo, considerando todo o sistema como se fosse apenas uma canalização reta, variando-se apenas o diâmetro.

O cálculo do L_{eq} pode ser obtido pela mesma relação da perda de carga, após a determinação da mesma. Assim, isola-se o L e, tendo todos os outros dados, pode-se obter o seu valor.

$$L_{eq} = \frac{\Delta H D 2g}{f V^2}$$

Onde: L_{eq} = comprimento equivalente (m); ΔH = perda de carga (m); f = fator de atrito (adimensional); V = velocidade (m/s); D = diâmetro (m) e g = aceleração da gravidade.

3. Equipamentos, materiais e procedimento experimental

3.1 Equipamentos e materiais

No experimento é utilizado um circuito hidráulico fechado (Figura 2), composto de:

- Um reservatório de água (RA) com a válvula de bloqueio (VB);
- Uma bomba centrífuga (BC), de ½ CV;
- Uma válvula de regulação de vazão (VRV);
- Um medidor de vazão (tipo rotâmetro) (MV);
- Uma válvula de bloqueio (VBS), para selagem hidráulica do circuito;
- Dois (02) ramos principais:

- Ramo 1, acionado pela válvula de bloqueio (VB1), formado pelos acessórios especificados na Tabela 1 (conexões e válvulas) conectados aos manômetros de tubo em “U” (MTU);
- Ramo 2, acionado pelo fechamento da válvula de bloqueio (VB1), formado por 7 tubos retos, conforme especificado na Tabela 3 e indicado na Figura 3.

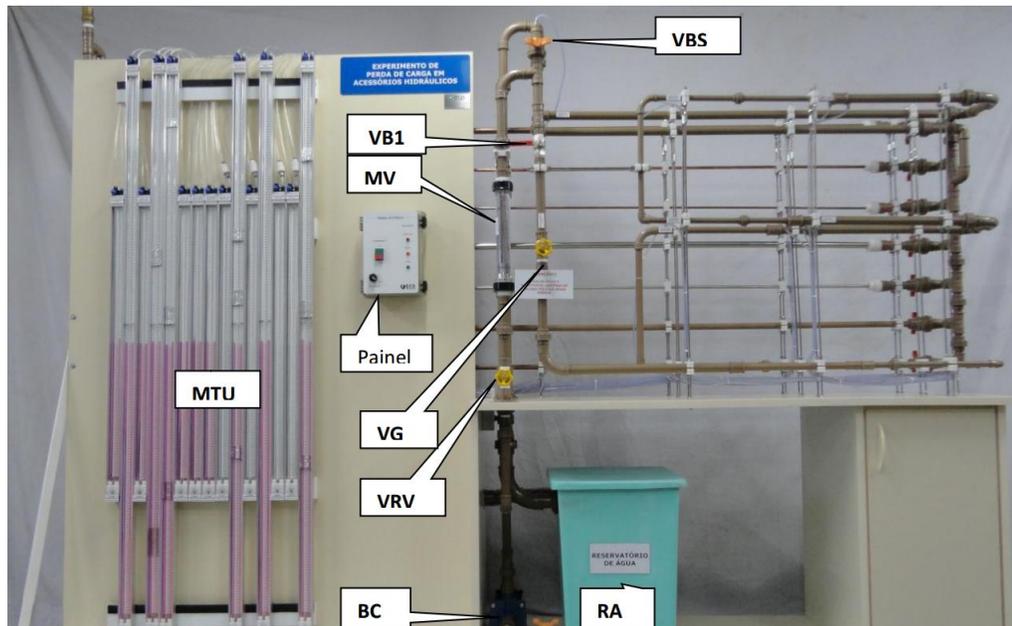


Figura 2. Experimento de perda de carga distribuída e localizada (Ramo 1 à frente).

Tabela 1. Acessórios hidráulicos para estimativa de perdas de carga localizadas

Manômetro/Acessório hidráulico	DN	Fluido manométrico
Válvula gaveta	1"	Clorofórmio colorido com iodo metálico
Joelho	25 mm	
Curva longa	25 mm	
Redução brusca	32 mm/20mm	
Joelho	20 mm	
Curva longa	20 mm	
Joelho	32 mm	

Tabela 2. Diâmetros internos equivalentes para acessórios em PVC roscável

DN (Diâmetro Nominal)	Equivalente em polegadas*	Di (Diâmetro interno)
20 mm	1/2"	16,5 mm
25 mm	3/4"	21,5 mm
32 mm	1"	27,5 mm

- Cada tubo está conectado ao respectivo Manômetro (MTU), conforme a Tabela 3. A distância entre os pontos de tomada de pressão (L), em cada tubo, é de 2,5 m.

Tabela 3. Características dos tubos e manômetros do ramo 2.

Tubo	Acessório hidráulico			Fluido manométrico
	Material	DN	Di	
1	PVC	20 mm	16,5 mm	Mercúrio metálico
2	PVC	25 mm	21,5 mm	Clorofórmio
3	Inox	1/2 "	9,7 mm	Mercúrio metálico
4	Inox	1"	22,4 mm	Clorofórmio
5	Cobre	3/8"	6,5 mm	Mercúrio metálico
6	Cobre	1/2"	9,7 mm	Mercúrio metálico
7	Cobre	1"	22,4 mm	Clorofórmio

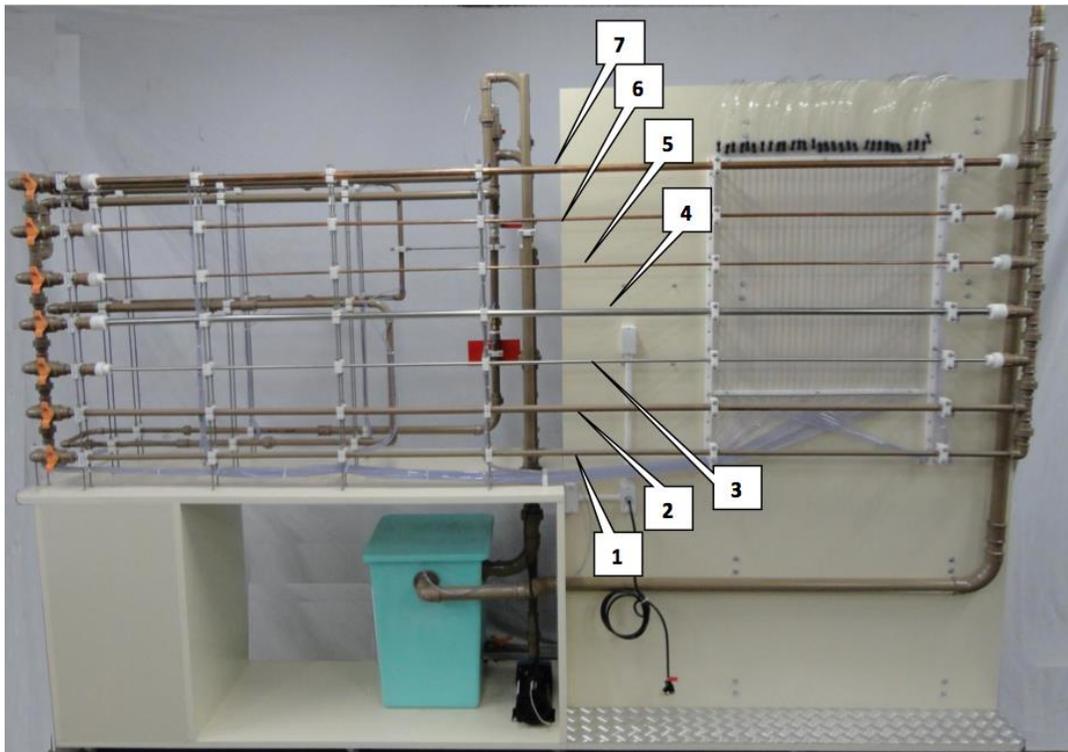


Figura 3. Experimento de perda de carga distribuída e localizada (Ramo 2 à frente).

3.2 Procedimento experimental

O procedimento experimental envolve duas etapas, correspondentes às determinações de perdas de carga localizadas (Ramo 1) e distribuídas (Ramo 2).

No Ramo 1, são selecionados elementos pré-definidos entre os listados na Tabela 1, e impostas duas vazões distintas (15 L/min e 30 L/min) ao sistema. Para cada vazão, são realizadas leituras das diferenças de pressão (perdas de carga) nos respectivos manômetros dos elementos.

Para o Ramo 2, é realizado processo similar para dois tubos pré-definidos entre os listados na Tabela 3, impondo-se diversas vazões e se medindo as diferenças de pressão.

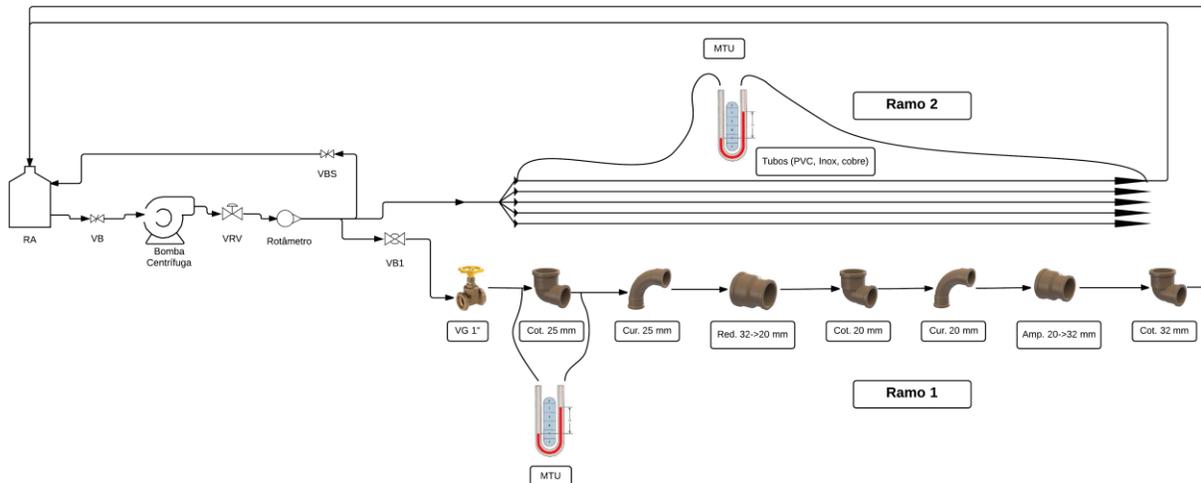


Figura 4. Diagrama do experimento de perda de carga distribuída e localizada.

4. Resultados e discussões

Nessa etapa, faça uma (ou mais) tabela (s) contendo os seguintes resultados:

1. Ramo 1:

- Diferença de pressão em Pascoal em CADA UM dos manômetros analisados
- Perda de carga associada em metros de coluna d'água em CADA UM dos manômetros
- Velocidade em m/s em CADA UM dos manômetros
- Número de Reynolds em CADA UM dos manômetros
- Coeficiente de atrito (f) de CADA UM dos manômetros
- Comprimento equivalente de CADA UM dos manômetros

2. Ramo 2:

- Diferença de pressão em Pascoal em CADA UM dos manômetros analisados para CADA UMA das tubulações.
- Perda de carga associada em metros de coluna d'água em CADA UM dos manômetros para CADA UMA das tubulações.
- Fator de atrito obtido pela fórmula universal de perda de carga em CADA UM dos manômetros para CADA UMA das tubulações.

- d. Fator de atrito obtido pela fórmula de Swame em CADA UM dos manômetros para CADA UMA das tubulações.

Sugestão: enviar a planilha eletrônica (EXCEL) em anexo (devidamente nomeada) com os cálculos para facilitar a correção, caso haja algum erro no resultado final.

Gráficos

1. Ramo 2:
 - a. Com base nos dados obtidos, plote duas curvas de Perda de Carga (m) por Vazão (L/min), sendo uma por tubulação (as duas devem estar no mesmo plano cartesiano).
 - b. Com base nos dados obtidos, plote duas curvas de fator de atrito (adimensional) por Vazão (L/min), sendo uma por tubulação. Utilize o f calculado pela Fórmula Universal de Perda de Carga.
 - c. Com base nos dados obtidos, plote duas curvas de fator de atrito (adimensional) por Vazão (L/min), sendo uma por tubulação. Utilize o f calculado pela Fórmula de Swame)

Questionário

1. Na parte escrita do relatório, devem estar inseridas as respostas do questionário atualizado, que se encontra na página do laboratório.
2. Pode ser respondido de maneira corrida ou separada por perguntas, desde que todas as respostas estejam inclusas e que haja uma boa organização e entendimento.

Observações:

- Utilizar os diâmetros internos dos acessórios para os cálculos
- Massas específicas (ρ)
 - Água: 1000 kg/m^3
 - Clorofórmio: 1480 kg/m^3
 - Mercúrio: 13600 kg/m^3

5. Conclusão

Na conclusão, basta indicar se os resultados foram satisfatórios, se houve erros ou acertos na comparação entre eles e/ou com a literatura.

6. Bibliografia:

AZEVEDO NETTO, J. M. et al. Manual de Hidráulica. 8a ed. São Paulo: Ed. Edgard Blücher, 1998.

ECOEDUCACIONAL. Roteiros de aulas práticas. 2012.

PORTO, R. M. Hidráulica Básica. 4^{ed} São Carlos: EESC-USP, 2006. 540p.