



Felipe Alexander Julio

Gabriela Nunes

Marcus Bruno Fernandes Silva

Petrus Damasceno

**DETERMINAÇÃO DE PERDA DE CARGA
LOCALIZADA**

LAVRAS – MG

2017

FELIPE ALEXANDER JULIO
GABRIELA NUNES
MARCUS BRUNO FERNANDES SILVA
PETRUS DAMASCENO

DETERMINAÇÃO DE PERDA DE CARGA LOCALIZADA

Projeto entregue e apresentado à Professora Renata de Aquino B. L. Corrêa como requisito da disciplina GNE334.

Professora Renata de Aquino B. L. Corrêa
Orientadora

LAVRAS – MG

2017

SUMÁRIO

1	Introdução	3
1.1	Referencial Teórico	3
1.2	Aplicabilidade	5
1.3	Objetivos	5
2	Descrição do Projeto	7
2.1	Materiais Utilizados	7
2.2	Montagem	7
2.3	Adaptações Realizadas em Relação ao Projeto Proposto	8
2.4	Dificuldades Encontradas	9
3	Procedimento Experimental	11
4	Resultados e Discussão	13
4.1	Cálculo da vazão	13
4.2	Cálculo da velocidade do fluido	14
4.3	Cálculo do número de Reynolds (Re)	14
4.4	Cálculo do coeficiente de perda localizada (k_f)	15
5	Conclusão	19
	REFERÊNCIAS	21

1 INTRODUÇÃO

1.1 Referencial Teórico

Segundo Munson, Young e Okiish (2004) “a mecânica dos fluidos é a parte da mecânica aplicada que se dedica à análise do comportamento dos líquidos e gases, tanto em equilíbrio quanto em movimento. Obviamente, o escopo da mecânica dos fluidos abrange um vasto conjunto de problemas.”

Na análise do escoamento de fluidos é necessário o balanço de massa e de momento para desenvolvimento de equações apropriadas aos fenômenos a serem analisados (Cremasco 2014). A descrição matemática da fluidodinâmica é dada pelas equações de massa (1.1) e equações do movimento (1.2).

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \vec{\nabla} \cdot \rho \mathbf{u} = 0 \quad (1.1)$$

$$\rho \left(\frac{\partial \rho}{\partial t} + \mathbf{u} \cdot \vec{\nabla} \rho \mathbf{u} \right) = \rho \vec{\nabla} \varphi - \vec{\nabla} P + \vec{\nabla} \cdot \tau \quad (1.2)$$

onde ρ é a massa específica do fluido, \mathbf{u} é a sua velocidade, $\vec{\nabla} \varphi$ é o vetor intensidade do campo, $\vec{\nabla} P$ é o gradiente de pressão e τ é a tensão extra, dinâmica ou viscosa.

Ao manipular as equações (1.1) e (1.2), considerando que o fluido se encontra em regime permanente, é invíscido e incompressível, chega-se a equação simplificada para a energia mecânica:

$$\left(z + \frac{P}{\rho g} + \frac{u^2}{2g} \right)_1 = \left(z + \frac{P}{\rho g} + \frac{u^2}{2g} \right)_2 + h_L \quad (1.3)$$

onde os subíndices 1 e 2 indicam dois pontos de escoamento distintos, e h_L é a perda de carga dada em unidades de comprimento.

Conforme Cremasco (2014), um fluido em um sistema de escoamento que apresente acessórios estará sujeito a uma perda de carga, uma vez que, segundo o

autor, quando o fluido entra em contato com um acessório ocorre a separação de uma camada do escoamento, formando correntes turbulentas que dissipam energia mecânica. Essa energia dissipada representa a conversão irreversível de energia mecânica em energia térmica não desejada e a perda de energia por transferência de calor (Fox, McDonald e Pritchard 2014).

A perda de carga oriunda de um acessório em um sistema de escoamento é definida por meio da equação:

$$h_L = k_f \frac{u^2}{2g} \quad (1.4)$$

onde k_f é o coeficiente de perda de carga localizada característico do acessório, u é a velocidade média do fluido e g é a aceleração local da gravidade.

Ainda conforme o autor, k_f é constante apenas em regime turbulento. Podem ser encontradas na literatura tabelas que apresentam os valores de k_f para válvulas e acessórios específicos.

De acordo com Potter, Wiggert e Ramadan (2015), o regime turbulento é caracterizado pelo movimento aleatório das partículas do fluido na trajetória do escoamento. Tal regime pode ser previsto por um número adimensional denominado por número de Reynolds, o qual é calculado, para tubulações cilíndricas, conforme:

$$Re = \frac{uD}{\nu} \quad (1.5)$$

onde D é o diâmetro característico da tubulação e ν é a viscosidade cinemática do fluido.

Ainda conforme Potter, Wiggert e Ramadan (2015), valores para o número de Reynolds acima de 2000 são características de um escoamento em regime turbulento, sendo este o valor mínimo usado na maioria das aplicações em engenharia. Entretanto, tal valor pode variar em decorrência da geometria e da rugosidade das paredes da tubulação.

Portanto, além do cálculo adimensional, pode ser realizada uma análise qualitativa por meio do despejo de partículas corantes na corrente de escoamento, avaliando se ocorre uma mistura imediata, ou não. Caso não, o regime é laminar.

1.2 Aplicabilidade

O cálculo da perda de carga é necessário em qualquer tipo de planejamento e instalação de tubulações, uma vez que o mesmo está relacionado diretamente com o material utilizado e as características da tubulação.

Algumas situações que requerem uma análise da perda de carga podem ser exemplificadas como: possível cavitação em bombas, danos à tubulação de edifícios, insuficiência na captação de água e/ou esgoto para tratamento e controle de fluxo em reatores e outros equipamentos da indústria química.

1.3 Objetivos

O objetivo desse projeto é determinar a perda de carga e o coeficiente de perda de carga localizada em um tubo conectado a dois reservatórios com um fluxo de água constante através de acessórios – nesse caso, uma válvula esférica – a partir da variação de pressão entre os pontos anterior e posterior ao acessório.

2 DESCRIÇÃO DO PROJETO

2.1 Materiais Utilizados

Tabela 2.1 – Materiais utilizados

Material	Quantidade
Adaptador (conexão entre balde e cano)	1 unidade
Baldes	2 unidades
Canos PVC 20 mm	3 metros
Cola Durepoxi	1 unidade
Cola para PVC	1 unidade
Cotovelos 90° 20 mm	2 unidades
Cronômetro	2 unidades
Régua	2 unidades
Silicone para vedação	1 unidade
Tubos transparentes (manômetro)	2 unidades
Válvula esférica 20 mm	2 unidades

2.2 Montagem

A estrutura se inicia com um recipiente posicionado a uma elevação considerável do nível convencionado como $z = 0$. Esse recipiente é um balde de 20 litros, o qual possui um “ladrão” na sua cota máxima, afim de evitar-se transbordamento do fluido excedente; o balde também está ligado, em sua parte inferior, à tubulação de PVC, através de um adaptador. Após essa conexão entre o balde e a tubulação foi instalado um registro para controle da saída do fluido. Os tubos de PVC possuem diâmetro de 20 milímetros, então todos os acessórios são correspondentes a esse diâmetro. A seguir, a tubulação faz uma curva de 90°, descendo até o nível $z = 0$, onde faz uma nova curva de 90° e prossegue reta até o local onde é acoplada uma válvula esférica. Para a análise da perda de carga nessa válvula, é necessário medir a diferença de pressão antes e depois dela, com o auxílio de um manômetro.

Manômetros são instrumentos utilizados para determinação da diferença de pressão entre dois pontos de um fluido através da diferença de elevação entre estes

dois pontos. Dessa forma, o manômetro é constituído de dois tubos transparentes acoplados ao tubo de PVC, um deles um pouco antes da válvula e o outro um pouco depois. Nesses tubos serão medidas as colunas do fluido, aqui, a água.

Em seguida, a estrutura termina com a tubulação despejando o fluido em um outro recipiente de 15 litros e a medição da vazão será feita cronometrando-se o tempo necessário para que se alcance um volume conhecido desse balde.

2.3 Adaptações Realizadas em Relação ao Projeto Proposto

Uma vez que a estrutura universitária não conta com módulos didáticos relacionados ao aprendizado prático da mecânica dos fluidos, houve a necessidade da adaptação de um aparato experimental que viabilizasse o estudo e a coleta dos dados necessários à avaliação do coeficiente de perda de carga localizada para uma válvula esférica.

Das adaptações necessárias, citam-se:

- Utilização de um balde superior com vazão secundária (ladrão) a fim de promover o estabelecimento do escoamento do regime estacionário;
- Adaptação de um manômetro a fim de avaliar a perda de carga relacionada às diferenças de altura de pressão;
- Utilização de um recipiente graduado, também adaptado, para a coleta da descarga do sistema de tubulação para a avaliação da vazão do sistema;
- Utilização de suportes a fim de igualar as alturas entre os pontos de análise;
- Utilização de suporte total para o aparato experimental completo.

De certa forma, pela proposta da disciplina ser, desde o início, a montagem de uma estrutura pelos próprios alunos, já era esperada a necessidade de adaptações durante todos os procedimentos, apenas não havia como prever cada uma delas.

Assim, adaptações supracitadas têm a finalidade de esclarecer o processo de montagem da estrutura e coleta de dados, mesmo que não se difiram do que havia sido proposto inicialmente no pré-projeto.

Entretanto, foram realizadas também adaptações em relação ao projeto proposto, como citam-se a seguir:

- No lugar do “registro rosqueável” na parte superior da montagem, utilizou-se também uma válvula esférica colada ao cano PVC. Isso porque esse é o registro de menor preço no mercado.
- Não foram feitos suportes de madeira para sustentar a estrutura, pois ela completamente montada é relativamente grande. Sendo assim, para facilitar seu armazenamento no espaço disponível, construiu-se a estrutura de forma que ela pudesse ser desmontada quando não utilizada.

2.4 Dificuldades Encontradas

As dificuldades encontradas no percurso do presente projeto podem ser relacionadas à própria montagem experimental, oriundas das necessárias adaptações ao aparato, conforme descrito na seção 2.3, como também durante a coleta de dados e, por fim, na disponibilidade de dados na literatura para comparação dos valores encontrados.

Das dificuldades relacionadas à execução e coleta de dados, citam-se:

- A dificuldade no controle da altura do fluido no balde superior para a garantia de regime estacionário;
- Adaptações realizadas na instalação do manômetro, cujas paredes de seus tubos conectados à tubulação, ainda que, minimamente, para garantia da sustentação, vieram a interferir no escoamento (tal qual um acessório);
- A dificuldade em garantir a diferença de altura nula entre os pontos de análise;

- A dificuldade na vedação da junção tubo (manômetro) - tubulação, acarretando em pequenas variações no tempo da altura do fluido, dificultando a coleta de dados;
- A dificuldade de encontrar, na literatura, valores para a constante de perda de carga localizada de válvula esférica com discriminação do diâmetro da válvula.
- Local de trabalho pouco adequado.

3 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Inicialmente, antes das medições, o fluxo de água da torneira foi controlado de modo que o regime de escoamento se tornasse estacionário, ou seja, não houvesse variação no tempo. Após isso, foram feitas várias medições para cada abertura da válvula esférica, sendo elas: totalmente aberta e uma abertura de 45 graus. Essas aberturas foram calculadas com o auxílio de um transferidor, acoplado à válvula.

Para realização do experimento, foram realizadas, simultaneamente, a medição da vazão e da diferença de pressão causada pela válvula. Para a vazão, foram demarcados, em um balde de 15L, níveis correspondentes a volumes de 8 e 12 litros; também foi coletado o tempo necessário para que a água que deixa a tubulação preencha os respectivos volumes, com auxílio de cronômetros. Com o intuito de minimizar erros, foram utilizados dois cronômetros e, posteriormente, calculou-se a média aritmética dos tempos obtidos. Já para aquisição dos dados de diferença de pressão, mediu-se, com trenas, as alturas de coluna de água em cada uma das mangueiras.

O procedimento supracitado foi repetido cinco vezes, para cada abertura da válvula, a fim de garantir maior precisão nos resultados. Os dados obtidos serão tratados no capítulo 4.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Cálculo da vazão

Conforme procedimento experimental, apresenta-se a tabela 4.1, a qual relaciona para cada amostragem os tempos de preenchimento dos volumes analisados pela razão volumétrica do fluido de trabalho – água.

Tabela 4.1 – Tempos amostrais de preenchimento.

Tempo para preenchimento (s)				
	0°		45°	
Amostra	8L	12L	8L	12L
1	38,780	55,500	84,455	126,570
2	47,570	71,000	85,290	127,245
3	46,140	70,520	85,980	127,050
4	47,185	71,155	85,175	127,205

As vazões obtidas para cada amostragem foram calculadas considerando os tempos necessários para que o volume ocupado pelo fluido no recipiente refratário utilizado alcançasse 8 e 12L, utilizando a seguinte equação:

$$Q = \frac{V}{\Delta t} \quad (4.1)$$

onde Q é a vazão e V é o volume preenchido durante o intervalo de tempo Δt . Assim, utilizando-se dos dados constantes na tabela 4.1, apresenta-se a tabela seguinte, a qual relaciona a vazão do sistema para cada amostra.

Tabela 4.2 – Vazão amostral por ângulo de abertura.

Vazão (m^3/s)						
	0°			45°		
Amostra	8L	12L	Média	8L	12L	Média
1	2,06292E-04	2,16216E-04	2,11254E-04	9,47250E-05	9,48092E-05	9,47671E-05
2	1,68173E-04	1,69014E-04	1,68594E-04	9,37976E-05	9,43063E-05	9,40519E-05
3	1,73385E-04	1,70164E-04	1,71775E-04	9,30449E-05	9,44510E-05	9,37479E-05
4	1,69545E-04	1,68646E-04	1,69090E-04	9,39243E-05	9,43359E-05	9,41301E-05
5	1,68315E-04	1,69803E-04	1,69059E-04	9,48148E-05	9,42840E-05	9,45494E-05

4.2 Cálculo da velocidade do fluido

A partir dos dados da tabela 4.2, calculou-se as respectivas velocidades do fluido no sistema para cada amostra utilizando a equação

$$v = \frac{4Q}{\pi D^2} \quad (4.2)$$

onde v é a velocidade média do fluido e D é o diâmetro hidráulico da tubulação.

Tais velocidades foram consideradas constantes em todo o sistema, pois o fluido de trabalho foi a água no estado líquido, portanto incompressível e a área da seção transversal do escoamento interno manteve-se constante (tubo rígido). Tais velocidades estão relacionadas às respectivas amostragens, conforme a seguinte tabela.

Tabela 4.3 – Velocidade e número de Reynolds por ângulo de abertura.

Velocidade e número de Reynolds				
	0°		45°	
Amostra	Velocidade (m/s)	Reynolds	Velocidade (m/s)	Reynolds
1	0,67244256	13397,8475	0,30165304	6010,18103
2	0,53665026	10692,3012	0,29937664	5964,82561
3	0,54677655	10894,0590	0,29840899	5945,54597
4	0,53824820	10724,1389	0,29962540	5969,78182
5	0,53813161	10721,8157	0,30096016	5996,37588

4.3 Cálculo do número de Reynolds (Re)

O Re do sistema foi calculado para cada amostragem considerando a equação (1.5), na qual a variável geométrica característica para tubos circulares é o diâmetro. As propriedades do fluido foram consultadas em Geankoplis (1993) considerando a pressão local igual a 1 atm (101,325 kPa) e a 20° C (293,15 K). Tais valores são apresentados na tabela 4.3.

Conforme a tabela 4.3, cada amostragem apresentou $Re > 2000$ (valor de referência utilizado conforme descrito no referencial teórico) caracterizando para cada amostragem escoamento em regime turbulento.

4.4 Cálculo do coeficiente de perda localizada (k_f)

Conforme Cremasco (2014), em regime turbulento o coeficiente de perda de carga localizada (k_f) da equação (1.4) é constante. Portanto, tal coeficiente pode ser avaliado ao ser isolado da equação (1.4), uma vez que a perda de carga total referente à configuração do sistema avaliado pode ser determinada e igualada a perda de carga localizada, pois as perdas de cargas maiores foram desprezadas em decorrência da pequena distância entre os pontos analisados e da rugosidade relativa do tubo (de PVC) ser desprezível (tubo liso).

Apresentam-se, então, as seguintes tabelas, cujas quais relacionam a amostragem às respectivas alturas de pressão (Tabela 4.4) e os coeficientes de perda de carga localizados calculados (Tabela 4.5). Para cálculo dos valores de perda de carga e do coeficiente de perda de carga, as seguintes equações foram utilizadas:

$$h_L = z_1 - z_2 \quad (4.3)$$

$$k_f = \frac{2gh_L}{v^2} \quad (4.4)$$

onde z_1 e z_2 são a altura da coluna de água coletada nos manômetros situados antes e após a válvula esférica, respectivamente. A equação (4.3) pode ser obtida através da equação (1.3), aplicando-a corretamente para o sistema apresentado.

Tabela 4.4 – Altura manométrica amostral por ângulo de abertura.

Alturas (cm)				
	0°		45°	
Amostra	z1 (cm)	z2 (cm)	z1 (cm)	z2 (cm)
1	9,0	3,5	71,6	3,3
2	7,6	3,6	72,2	3,1
3	7,4	3,7	72,3	3,4
4	7,5	4,0	72,5	3,6
5	7,8	4,2	71,9	3,5

Tabela 4.5 – Perda de carga e coeficiente de perda de carga amostral por ângulo de abertura.

Perda de Carga e Coeficiente de Perda de Carga				
	0°		45°	
Amostra	h_L (m)	k_f	h_L (m)	k_f
1	0,055	2,38644435	0,683	147,266607
2	0,040	2,72506149	0,691	151,265967
3	0,037	2,42818046	0,689	151,807917
4	0,035	2,37029210	0,689	150,577813
5	0,036	2,43907135	0,684	148,162087
Desvio Padrão	0,00826438	0,14550331	0,00349285	1,99282035
Média	0,0406	2,52190594	0,6872	149,812607

A NBR 12214/1992 (Projeto de sistema de bombeamento de água para abastecimento público, (6)), em seu anexo B, traz valores para os coeficientes de perda de carga localizada para a equação (1.4) para o acessório utilizado – válvula esférica. Para a abertura de 0° (totalmente aberta), $k_f = 0$. Já para abertura de 45°, $k_f = 31,2$.

Conforme a tabela acima, para a abertura de 0° o k_f obtido foi igual a $2,5219 \pm 0,1455$. Já para a abertura de 45°, o k_f obtido foi igual a $149,8126 \pm 1,9928$. Ambos os resultados diferiram, estatisticamente ao nível de 95% de confiança, dos respectivos valores referenciados pela norma supracitada.

Tais diferenças podem ser justificadas devido às adaptações realizadas no sistema analisado, que podem ter prejudicado os resultados para as duas configura-

ções. Além disso, há que se considerar os erros sistemáticos e aleatórios presentes durante a aquisição dos dados.

Dos erros sistemáticos, citam-se:

- Instrumental: Na determinação do volume do refratário inferior, o qual pode ter sido mal calibrado;
- Observacional: Erro paralaxe na leitura dos tempos;
- Teórico: Oriundo da simplificação das equações que modelam o sistema.

Dos erros aleatórios, cita-se:

- Observacional: Erro na leitura da altura da coluna de fluido.

5 CONCLUSÃO

Diante do exposto e da análise dos resultados obtidos supracitada, conclui-se que a determinação experimental do coeficiente de perda de carga localizada requer condições laboratoriais adequadas de modo que as adaptações necessárias sejam mínimas a fim de maximizar a acurácia dos resultados. No que tange o propósito didático à compreensão dos mecanismos físicos da mecânica dos fluidos, avalia-se de modo satisfatório, uma vez que a execução do presente projeto proporcionou a aplicabilidade da teoria, como também fomentou o raciocínio à solução de problemas reais de um engenheiro.

REFERÊNCIAS

- 1 MUNSON, B. R.; YOUNG, D. F.; OKIISHI, T. H. **Fundamentos da Mecânica dos Fluidos**. 4. ed. São Paulo: Blucher, 2004.
- 2 CREMASCO, M. A. **Operações Unitárias em Sistemas Particulados e Fluidomecânicos**. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2014.
- 3 FOX, R. W.; MCDONALD, A. T.; PRITCHARD, P. J. **Introdução à Mecânica dos Fluidos**. 8. ed. São Paulo: LTC, 2014.
- 4 POTTER, M. C.; WIGGERT, D. C.; RAMADAN, B. H. **Mecânica dos Fluidos**. 4. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2015.
- 5 GEANKOPLIS, C. J. **Transport Processes and Unit Operations**. 3. ed. [S.l.]: PTR Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1993.
- 6 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12214: Projeto de sistema de bombeamento de água para abastecimento público**. Rio de Janeiro: [s.n.], 1992.