

## ANÁLISE DO EQUIPAMENTO DE MEDIÇÃO DA PERDA DE CARGA DE FLUIDOS E SUA CONTRIBUIÇÃO PARA OS ESTUDOS DOS CONCEITOS BÁSICOS DE HIDRÁULICA

Matheus Vieger Ribeiro<sup>1</sup>, Liliane Frosini Armelin<sup>2</sup>

1. Estudante da Escola de Engenharia da Universidade P. Mackenzie (EE-UPM)

2. Professora e pesquisadora da EE-UPM – Orientadora

### Resumo

O projeto consiste no estudo e avaliação de uma bancada didática hidráulica, objetivando demonstrar algumas ideias primordiais sobre escoamento de fluidos, como perdas de carga por exemplo. Realizaram-se ensaios com vazões preestabelecidas nos quais observou-se a ocorrência de perdas de carga: a localizada para cada singularidade e a distribuída, bem como a comparação dos resultados registrados na literatura vigente. Sendo a bancada provida de conexões distintas, diâmetros diferentes e uma tubulação com rugosidade acentuada, apresentou-se a princípio uma grande variedade de arranjos passíveis de observações, porém com o decorrer das análises, observou-se que algumas atividades, por conta das baixas velocidades que ocorrem no escoamento, apresentaram-se limitadas e outras eficazes. Desta forma, foi possível registrar o comportamento das variáveis estudadas para que as atividades didáticas pudessem ser melhor direcionadas.

**Palavras-chave:** Laboratório de hidráulica; Conduitos Forçados; Bancada hidráulica didática.

**Apoio financeiro:** Grupo Santander.

**Trabalho selecionado para a JNIC:** Universidade Presbiteriana Mackenzie: Escola de Engenharia.

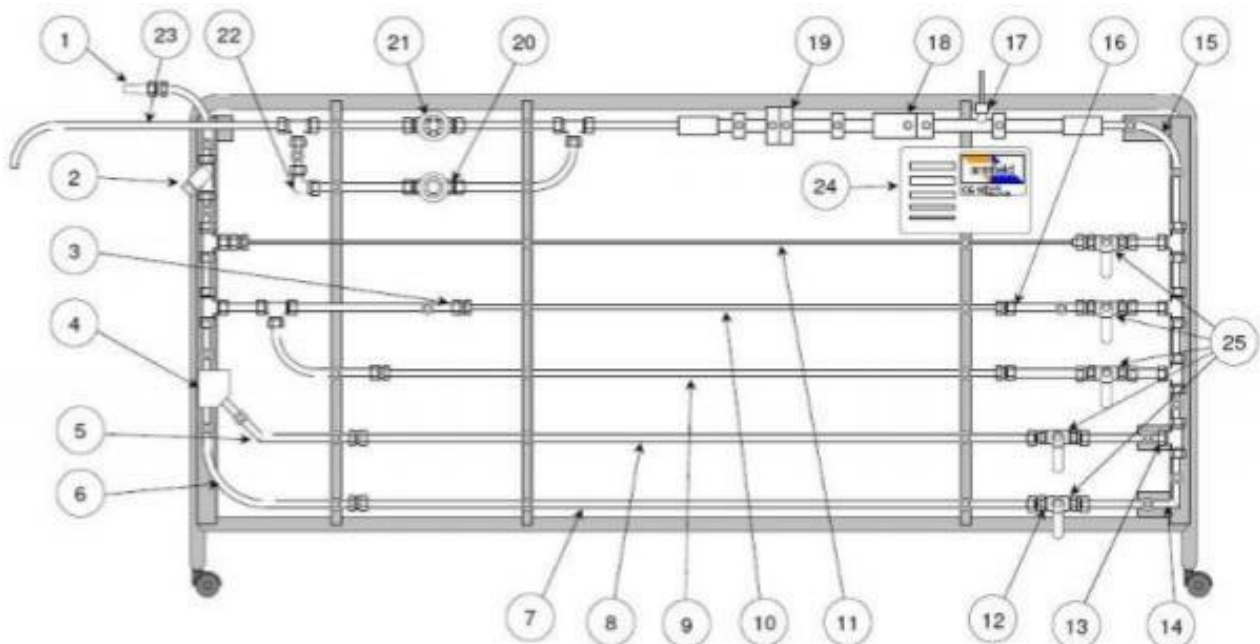
### Introdução

A montagem de um laboratório de hidráulica no âmbito da Escola de Engenharia da Universidade Presbiteriana Mackenzie requereu algumas iniciativas, dentre as quais, a aquisição de novos equipamentos. Nesta transição, foram adquiridos alguns aparelhos de estudos hidráulicos, entre eles a bancada C6-MKII-10 da Armfield, que estuda, sobretudo, as perdas de carga, medidores deprimogêneos e equações vinculadas a condutos forçados.

Antes de disponibilizar o equipamento para as atividades didáticas, foi necessário estudar o seu funcionamento, o que implicou em alguns procedimentos: determinação de erros entre os resultados experimentais e os valores teóricos, como também a verificação do funcionamento de todas as opções disponíveis para as condições locais de escoamento em condutos forçados.

### Metodologia

A bancada C6-MKII-10 (figura 01) é o objeto de estudo deste projeto. O quadro 01 legenda a indicação disposta na figura anterior.



**Figura 1:** Bancada C6-MKII-10 Armfield. Fonte: Armfield INC. (2013).

1: Entrada	2: Filtro	3: Contração súbita;
4: Abertura "Y" de 45°;	5: Cotovelo 45°;	6: Curva de 90° raio longo;
7: Tubo rugoso;	8 a 11: Quatro tubulações de aço com diferentes diâmetros;	12: Válvula esfera;
13: Tê 90°;	14: Mitra 90°;	15: Curva 90° raio curto;
16: Ampliação repentina;	17: Tubo Pitot estático;	18: medidor Venturi;
19: Placa de orifício;	20: Válvula de globo;	21: Válvula gaveta;
22: Cotovelo 90°;	23: Saída	24: Amostras curtas da tubulação;
25: Sistema de válvulas isoladas usadas para impedir o fluxo de água nas tubulações, permitindo o estudo isolado de cada tubo.		

**Quadro 1:** Legenda da Figura 1. Fonte: autores (2019).

Simulações de diferentes vazões com obtenção da pressão diferencial em todos os pontos disponíveis foram realizadas para entender o funcionamento da bancada. Os resultados obtidos foram comparados com a literatura atual por erro relativo e estabelecido a eficácia da bancada para obter resultados. Os ensaios foram auxiliados por um manômetro de engate rápido e por um reservatório (F1-10, Armfield) que abasteceu e retomou a água passante pelo objeto de estudo.

Houve dois objetivos nos ensaios: verificar os medidores deprimogêneos e a perda de carga total nas tubulações. No primeiro, foram avaliados os três medidores, Placa de Orifício, medidor Venturi e Tubo Pitot, e comparado o seu resultado com o valor obtido por método volumétrico de obtenção de vazão. Para o tubo Pitot, utilizou-se a equação de continuidade enquanto para a Placa de Orifício e o Venturi, fez-se uso da equação 01, fornecida no manual do fabricante, para saber:

$$Q = C_d * A_0 * \sqrt{\frac{2 * g * \Delta H}{1 - (A_0/A_1)^2}} \quad (\text{eq. 1})$$

O  $C_d$  é o coeficiente de descarga, que vale 0,62 para a Placa e 0,98 para o Venturi;  $A_0$  é a área do orifício, em que o diâmetro interno é 20mm para a Placa e 14mm para o Venturi e  $A_1$  é a área da tubulação, cujo diâmetro é de 24mm.  $\Delta H$  é a pressão diferencial. Os valores devem ser colocados no Sistema Internacional.

No segundo, ao submeter as tubulações a vazões diversas, fez-se uso da equação 2 para encontrar a perda localizada. Para o valor da perda distribuída, foi usado a equação Hazen-Williams (coeficiente 150 para tubulação lisa e 90 para rugosa).

$$\Delta H_{localizada} = \Delta H_{total} - \Delta H_{distribuída} \quad (\text{eq. 2})$$

Este valor foi comparado com os valores do Quadro 2:

Singularidade	K	Singularidade	K
Curva de 90° de raio curto	0,40	Válvula de globo aberta	10,00
Curva de 90° de raio longo	0,25	Ampliação súbita	eq. 3
Cotovelo de 45°	0,40	Curva de Mitra 90°	1,10
Válvula de gaveta aberta	0,20	Junção	0,40
Tê, passagem direta	0,90	Válvula de esfera aberta	0,05
Tê, passagem lateral	2,00		
Cotovelo de 90°	0,90		

**Quadro 2:** Coeficientes de perda localizada singular. Fonte: Cengel (2014); Netto (1998).

$$K_{amp.} = 2 * \left(1 - \frac{d^2}{D^2}\right)^2 \quad (\text{eq. 3})$$

## Resultados e Discussão

Os resultados foram divididos nas duas frentes de ensaio, denominados : medidores deprimogêneos e perda de carga total.

### 1. Medidores Deprimogêneos

O tubo Pitot apresentou erros relativos altos, porém, este valor era esperado pois este aparelho só consegue determinar vazão uma vez que as pressões estática e dinâmica são bem definidas. A bancada fornece velocidades de vazão muito baixas, o que torna a mensuração da pressão dinâmica imprecisa, em virtude de a pressão ser diretamente proporcional ao quadrado da velocidade (equação da continuidade). Assim, a leitura de vazão por este aparelho é irregular.

A placa de orifício apresentou um erro relativo médio de 12,6%. Para explicar esta inconsistência, supôs-se que o diâmetro do orifício está incorreto. Ao considerar este valor como 21mm, diferente daquele informado no manual (20mm), o erro reduz para 4,7%.

Por fim, o tubo Venturi apresentou valores satisfatórios, sendo o erro relativo médio obtido 3,4%.

Na sequência, prosseguiu-se na investigação da perda de carga total entre as singularidades e foi utilizado o medidor mais preciso para a leitura de vazões, o medidor Venturi.

### 2. Perda de Carga Total

Os testes de perda de carga localizada nas tubulações apresentaram inconformidades e estas aumentavam de acordo com a redução do diâmetro do tubo. Para cada tubulação foram feitos testes, variando

a vazão de acordo com o diâmetro (quanto menor o diâmetro, menor o número de vazões). Ainda, vale dizer que para bifurcação dos trechos que dão às válvulas gaveta e globo, a coleta de dados não foi simultânea, isto é, enquanto uma foi estudada, a outra manteve-se fechada. No Quadro 3 estão dispostos os erros relativos médios de algumas singularidades:

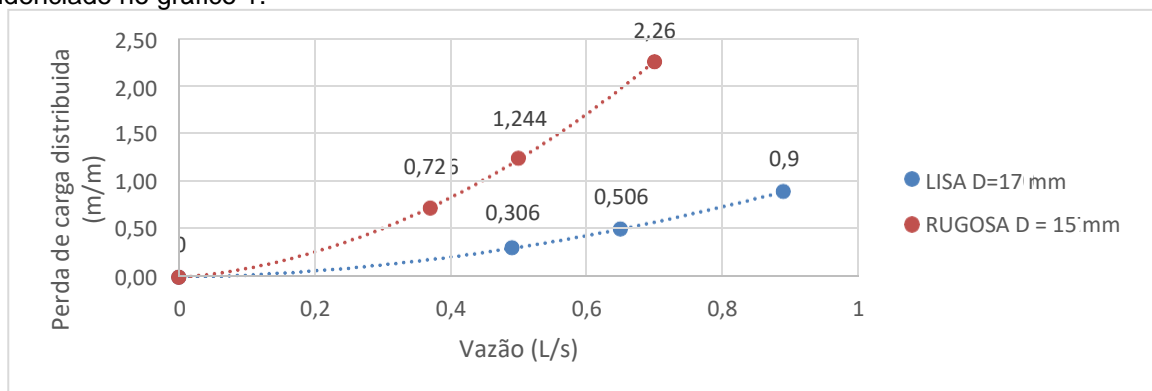
Singularidade	Erro (%)	Singularidade	Erro (%)
Curva de 90° de raio curto	51,60	Válvula de globo aberta	57,00
Cotovelo de 90°	95,50	Tê, passagem lateral	20,40
Cotovelo de 45°	27,10	Válvula de esfera aberta	418,00
Válvula de gaveta aberta	123,00	Junção	51,80
Tê, passagem direta	67,80	Curva de 90° de raio longo	96,27

**Quadro 3:** Resultados individuais das singularidades. Fonte: Os autores (2019).

Como resultado, pode-se dizer que os coeficientes de perda de carga localizada são muito diferentes dos valores habituais teóricos, tendo algumas singularidades com diferenças superiores a 100% como o válvula gaveta e esfera. Também, havia uma tubulação com diâmetro inferior a 4mm que impossibilitava a obtenção de resultados, pois a perda de carga era tão grande que diminuía muito a capacidade de escoamento do fluido.

Assim, afirma-se que os ensaios de perda de carga localizada mostraram resultados incongruentes ao que a teoria diz.

Em relação à perda de carga distribuída, foi feito um ensaio comparando-a na tubulação rugosa (15mm de diâmetro interno) com aquela que possui 17mm de diâmetro interno, o mais próximo ao rugoso. O resultado está evidenciado no gráfico 1.



**Gráfico 1:** Perda de carga distribuída nas tubulações lisa e rugosa. Fonte: autores (2019).

Como esperado, a tubulação com rugosidade artificial apresentou uma perda de energia maior em comparação a tubulação lisa. Isso se deu por causa do aumento das asperezas das paredes evidenciando a redução na capacidade de vazão para as mesmas condições da tubulação lisa. Este aspecto da bancada é muito interessante para as aulas referentes ao efeito da rugosidade sobre a vazão.

## Conclusões

A escala de redução adotada na construção do equipamento resultou em vazões baixas e diâmetros reduzidos, limitando os usos disponíveis no equipamento estudado.

A medida de vazão através do tubo Pitot ficou inviabilizada enquanto que a utilização dos demais medidores é viável, considerando a margem de erro. De uma maneira geral, observa-se sempre um pequeno erro entre medidas de vazão com diferentes equipamentos.

Em relação ao cálculo do coeficiente de perda de carga localizada, sabe-se que os valores recomendados para esse coeficiente, na literatura, referem-se a valores médios, uma vez que sua determinação, segundo Porto (2006), é afetada por vários fatores como tipo de acabamento interno das conexões, existência de rebarbas ou ângulos vivos e até das condições das instalações onde os ensaios são realizados como a fixação de uma flange ou um aperto de rosca. Assim, a mesma conexão, originada de fabricantes diferentes, apresentará valores diferentes. Outro fator importante para explicar resultados inesperados é o fato de que o K apresenta valor constante para números de Reynolds elevados ( $n \cdot 10^5$ ); porém, nos ensaios realizados, este adimensional resultou em valores menores a este, mostrando que, para esta bancada, não é possível admitir que o Reynolds não interfira nos resultados.

Algumas singularidades como o cotovelo 45°, Tê de passagem lateral e direta, junção 45° e válvula esfera, apesar do valor experimental de K ser distinto ao da literatura, foram relativamente constantes entre si. Então, uma boa alternativa seria preparar um manual com os valores observados a ser utilizado nas atividades didáticas, explicando a determinação empírica dos coeficientes.

A tubulação rugosa da bancada proporciona uma perda de energia superior em comparação à lisa, atendendo aos referenciais teóricos e podendo ser objeto de estudo durante o uso do aparelho.

Portanto, o equipamento pode ser utilizado com algumas ressalvas indicando a necessidade de aumentar as vazões e as distâncias entre as singularidades podendo estas iniciativas serem objetos de futuros estudos no sentido de aprimoramento do equipamento.

**Referências Bibliográficas**

ARMPFIELD INC. **Fluid Friction Apparatus – Instruction Manual**. Ringwood: Armfield, 2013. 31 p.

CENGEL, Yunus A.; CIMBALA, John M.. **Fluid Mechanics: Fundamentals and Applications**. 3. ed. New York City: Mcgraw-hill, 2014. 1004 p. ISBN: 978-0-07-338032-2

NETTO, José Martiniano Azevedo et al. **Manual de Hidráulica**. 8. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1998. 668 p. ISBN: 85212-0277-6.

PORTO, Rodrigo de M. **Hidráulica Básica**. 4. ed. São Carlos: EESC-USP, 2006. 519 p. ISBN: 85-7656-084-4.