

Perda de Carga em Bancada Hidráulica: estudo experimental da perda de carga para diferentes diâmetros

LUIS FILIPE VELLOSO¹, PÂMELA JOANA DE JESUS SILVA², MYLLENA SOUZA DE JESUS³, KEDMA TAVARES COSTA⁴

¹Graduando de Engenharia Civil, IFBA, Vitória da Conquista-BA, filipevellosote@gmail.com;

²Graduanda de Engenharia Civil, IFBA, Vitória da Conquista-BA, pamella.joana@gmail.com;

³Graduanda de Engenharia Civil, IFBA, Vitória da Conquista-BA, myllena.souza.21232123@gmail.com;

⁴Graduanda de Engenharia Civil, IFBA, Vitória da Conquista-BA, kedmatc@outlook.com;

RESUMO: Este trabalho analisa a perda de carga em tubulações de PVC com diferentes diâmetros submetidas a escoamento permanente, utilizando a fórmula empírica de Flamant para comparação entre os valores teóricos e experimentais. Os ensaios foram realizados com tubos de 1", 3/4" e 1/2", sob duas vazões distintas, utilizando instrumentos como manômetro de mercúrio e manovacuômetro analógico. Os resultados mostraram que a perda de carga é inversamente proporcional ao diâmetro do tubo e diretamente proporcional à vazão, com diferenças consideráveis entre os valores medidos e os estimados teoricamente. Fatores como perdas localizadas, precisão dos instrumentos e variações no diâmetro real influenciaram os resultados. Conclui-se que, embora a equação de Flamant seja útil para previsões iniciais, medições experimentais são essenciais para projetos hidráulicos mais precisos e confiáveis.

PALAVRAS-CHAVE: Perda de carga; Tubulações de PVC; Diâmetro interno; Escoamento permanente; Fórmula de Flamant; Medição hidráulica.

Experimental Analysis of Head Loss in a Hydraulic Bench for Pipes with Different Diameters

ABSTRACT: This study analyzes head loss in PVC pipelines of different diameters under steady flow, using the empirical Flamant equation to compare theoretical and experimental values. Tests were conducted using 1", 3/4", and 1/2" pipes at two different flow rates, with measurements taken using a mercury manometer and an analog manovacuumeter. The results showed that head loss is inversely proportional to pipe diameter and directly proportional to flow rate, with significant discrepancies between measured and theoretical values. Factors such as localized losses, instrument accuracy, and variations in actual pipe diameter influenced the results. It is concluded that, although the Flamant equation is useful for initial estimations, experimental measurements are essential for more accurate and reliable hydraulic designs.

KEYWORDS: Head loss; PVC pipes; Internal diameter; Steady flow; Flamant equation; Hydraulic measurement.

1. INTRODUÇÃO

A perda de carga é a redução de energia do fluido em tubulações, causada pelo atrito e turbulência, dividindo-se em distribuída (comprimento do tubo) e localizada (válvulas, curvas e conexões). Ela depende de fatores como diâmetro, rugosidade, vazão, viscosidade e regime de escoamento, sendo maior em tubos de menor diâmetro.

Para estimá-la, usam-se equações empíricas, como a de Flamant, aplicada a tubulações de PVC. No estudo experimental, três ramais de PVC com diferentes diâmetros foram testados em duas vazões, medindo-se as perdas por manômetro de mercúrio e manovacuômetro.

A comparação entre teoria e prática mostrou diferenças devido a perdas localizadas, imprecisões e variações de diâmetro, reforçando a importância dos ensaios práticos em laboratório na formação em engenharia.

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

A perda de carga é uma das variáveis hidráulicas mais relevantes no dimensionamento de sistemas de escoamento pressurizado. Ela representa a energia dissipada ao longo do percurso do fluido

em função do atrito com as paredes da tubulação e dos efeitos da turbulência interna. Essa perda de energia se manifesta como uma redução de pressão disponível no sistema, exigindo, muitas vezes, compensação por bombas ou recalques, o que impacta diretamente no consumo energético.

2.1 CLASSIFICAÇÃO DAS PERDAS DE CARGA

As perdas de carga podem ser divididas em duas categorias principais:

Perdas de carga distribuídas (hf_{dis}): ocorrem ao longo do comprimento da tubulação e estão associadas ao atrito contínuo entre o fluido e a superfície interna do tubo.

Perdas de carga localizadas (hf_{loc}): associadas a mudanças de direção, obstruções, válvulas, conexões, reduções, ampliações ou outros dispositivos que provocam distúrbios no escoamento.

Neste estudo, focamos exclusivamente nas perdas de carga distribuídas, já que a equação empregada desconsidera perdas localizadas.

2.2 EQUAÇÃO DE FLAMANT

A equação empírica de **Flamant** é uma ferramenta simplificada para estimar a perda de carga distribuída em **tubulações lisas** como as de **PVC**, em regime de escoamento permanente. Essa fórmula tem como base dados experimentais obtidos com água a 20 °C em tubulações comerciais, apresentando boa precisão para aplicações didáticas e dimensionamentos preliminares.

A equação é expressa por:

$$hf = 6,107 * \frac{L * Q^{1,75}}{D^{4,75} * b}$$

Onde:

- hf : perda de carga (m)
- L : comprimento da tubulação (m)
- Q : vazão volumétrica (m³/s)
- D : diâmetro interno da tubulação (m)
- b : coeficiente empírico (para tubos de PVC com escoamento uniforme, adota-se $b=1$)

2.3 COMPARAÇÃO COM OUTRAS ABORDAGENS

Diferente da equação de Darcy-Weisbach, que exige o cálculo do fator de atrito f por métodos iterativos ou uso de diagramas (como o de Moody), a equação de Flamant prescinde de ajustes complexos, sendo diretamente aplicável desde que o tubo, a vazão e o comprimento sejam conhecidos.

2.4 IMPORTÂNCIA PRÁTICA

Do ponto de vista didático, a equação de Flamant é ideal para estudos experimentais em bancadas hidráulicas, pois permite que estudantes e projetistas observem claramente como as variações de vazão e diâmetro impactam nas perdas de carga. Isso contribui para a compreensão conceitual e para o desenvolvimento de habilidades de dimensionamento, essenciais na atuação no campo da engenharia civil e sanitária.

Além disso, mesmo com suas limitações, a equação pode ser empregada como ferramenta de verificação rápida ou etapa preliminar de projeto, antes de se aplicar métodos mais rigorosos e completos em softwares de simulação ou sistemas complexos.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 ESTRUTURA EXPERIMENTAL

O experimento foi conduzido em uma bancada hidráulica didática, equipada com um sistema de bombeamento que permitia o controle do fluxo de água e a simulação de diferentes condições de

escoamento. O objetivo principal foi observar a influência do diâmetro interno da tubulação sobre a perda de carga distribuída, em regime permanente, e comparar os valores medidos com os resultados teóricos obtidos pela equação empírica de Flamant.

O sistema experimental foi composto por três ramais de tubulação de PVC, cada um com um diâmetro interno distinto, conforme abaixo:

- **Tubo 1"** – diâmetro interno: 0,0216 m; comprimento: 0,44 m
- **Tubo 3/4"** – diâmetro interno: 0,0170 m; comprimento: 0,40 m
- **Tubo 1/2"** – diâmetro interno: 0,0150 m; comprimento: 0,37 m

Para cada tubo, foram analisadas duas condições de vazão:

- $Q_1 = 0,0005 \text{ m}^3/\text{s}$
- $Q_2 = 0,000833 \text{ m}^3/\text{s}$

3.2 EQUIPAMENTOS E INSTRUMENTOS UTILIZADOS

Os seguintes materiais e instrumentos foram utilizados na realização do experimento:

- **Bancada hidráulica com sistema de bombeamento;**
- **Tubulações de PVC;**
- **Válvulas de controle de vazão;**
- **Medidores de pressão instalados em pontos estratégicos;**
- **Manômetro diferencial de coluna de mercúrio;**
- **Manovacuômetro analógico Salvi C.F.23012;**
- **Trena metálica ou régua milimetrada;**
- **Hidrômetro.**

Figura 1. Bancada hidráulica utilizada nos testes. (autoria própria)



3.3 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

O experimento foi realizado em ramais de PVC conectados à bancada hidráulica, com instrumentos de medição instalados e testados quanto a vazamentos e funcionamento. Para cada tubo, foram feitos dois ensaios com vazões distintas, reguladas pelas válvulas e conferidas pelo hidrômetro.

A perda de carga foi medida pela diferença de pressão entre dois pontos, usando manômetro de mercúrio (mais preciso) e manovacuômetro analógico (comparativo). O comprimento efetivo dos trechos foi medido, e os dados de vazão, diâmetro e comprimento foram aplicados na equação de Flamant. Por fim, realizou-se uma comparação entre os valores teóricos e experimentais, considerando as diferenças entre os instrumentos.

4. RESULTADOS E ANÁLISE DE DADOS

Os dados estão apresentados em tabelas, com valores expressos em metros de coluna de água (mca), unidade padrão em hidráulica.

Tabela 1. Resultados para Tubo de 1" (\varnothing interno = 0,0216 m, L = 0,44 m)

Teste no tubo de 1" (\varnothing interno = 0,0216 m, L = 0,44 m)

Vazão (m ³ /s)	ΔH Mercúrio (mca)	ΔH Analógico (mca)	hf teórico (m)
0,0005	16,20	16,53	0,049
0,000833	14,30	14,15	0,121

Tabela 2. Resultados para Tubo de 3/4" (\varnothing interno = 0,0170 m, L = 0,40 m)

Teste no tubo de 3/4" (\varnothing interno = 0,0170 m, L = 0,40 m)			
Vazão (m ³ /s)	ΔH Mercúrio (mca)	ΔH Analógico (mca)	hf teórico (m)
0,0005	0,041	0,41	0,140
0,000833	0,299	0,10	0,343

Tabela 3. Resultados para Tubo de 1/2" (\varnothing interno = 0,0150 m, L = 0,37 m)

Teste no tubo de 1/2" (\varnothing interno = 0,0150 m, L = 0,37 m)			
Vazão (m ³ /s)	ΔH Mercúrio (mca)	ΔH Analógico (mca)	hf teórico (m)
0,0005	1,088	1,54	0,235
0,000833	1,482	2,37	0,574

4.1 ANÁLISE COMPARATIVA DOS DADOS

A comparação entre os resultados experimentais e a equação de Flamant revelou discrepâncias relevantes. Embora a tendência teórica tenha sido confirmada — a perda de carga cresce com a vazão e diminui com o diâmetro — os valores medidos, especialmente com o manômetro de mercúrio, foram em geral superiores aos teóricos, mostrando que a equação tende a subestimar as perdas reais.

Quanto aos instrumentos, o manômetro de mercúrio apresentou leituras mais estáveis e próximas da teoria, enquanto o manômetro analógico demonstrou instabilidade e leituras destoantes.

De forma geral, o experimento cumpriu seu papel ao confirmar a influência da vazão e do diâmetro sobre a perda de carga e ao evidenciar a relevância da comparação entre diferentes métodos de medição para avaliar a confiabilidade dos resultados.

5. DISCUSSÕES

O estudo confirmou que a perda de carga depende fortemente da vazão e do diâmetro interno da tubulação, conforme previsto pela equação de Flamant. Porém, os valores experimentais foram sempre superiores aos teóricos, sobretudo em tubos de menor diâmetro, mostrando que a equação subestima as perdas reais.

Principais fatores para as discrepâncias:

Perdas localizadas (curvas, conexões, registros) não contempladas na equação;
Precisão dos instrumentos: manômetro de mercúrio mais confiável, enquanto o analógico apresentou instabilidade;

Variações no diâmetro real dos tubos de PVC, influenciando fortemente os cálculos devido à sensibilidade da equação ($D^{-4.75}$);

Condições de escoamento (oscilações, bolhas de ar, instabilidade da bomba e válvula), que podem aumentar as perdas além do previsto.

Considerações didáticas e de engenharia:

A perda de carga aumenta com a vazão e cresce exponencialmente com a redução do diâmetro;

A importância da medição precisa e da consideração das perdas localizadas deve ser ressaltada em projetos reais;

Modelos empíricos, como o de Flamant, são úteis para estimativas iniciais, mas devem ser complementados por fatores de correção, softwares e ensaios práticos para maior confiabilidade.

6. CONCLUSÃO

O estudo analisou a perda de carga em tubulações de PVC com diferentes diâmetros e duas vazões, usando a equação de Flamant como referência. Ensaios em bancada hidráulica mostraram que a perda de carga aumenta com a vazão e diminui com o diâmetro, confirmando a tendência teórica.

Os valores experimentais foram geralmente superiores aos teóricos, devido a: perdas localizadas, variações no diâmetro real dos tubos, limitações dos instrumentos de medição e oscilações no escoamento. A comparação entre manômetro de mercúrio e manovacuômetro analógico destacou a importância da precisão e do controle metrológico.

O experimento cumpriu seu papel didático e técnico, evidenciando que modelos empíricos são úteis para estimativas iniciais, mas devem ser complementados por ensaios práticos e correções em projetos reais.

7. REFERÊNCIAS

- AKUTSU, Jorge. *Hidráulica Básica*. São Carlos: UFSCar, 2012. Disponível em: https://www.google.com/search?q=http://livresaber.sead.ufscar.br:8080/jspui/bitstream/123456789/2687/1/EA_Jorge_Hidraulica.pdf. Acesso em: 06 maio 2025.
- COELHO, João Carlos Martins. *Energia e fluidos: volume 1 – Termodinâmica*. São Paulo: Blucher, 2016.
- FOX, R. W.; McDONALD, A. T.; PRITCHARD, P. J. *Introdução à mecânica dos fluidos*. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2010.
- GOMES, Alberto. Manômetro industrial: tipos e aplicações. *Termômetro RC*, São Paulo, 26 jan. 2025. Disponível em: <https://www.termometrorc.com.br/blog/categorias/artigos/man-ocirc-metro-industrial-tipos-e-aplica-ccedil-otilde-es>. Acesso em: 21 abr. 2025.
- UFERSA. *Bancada didática para perda de carga*. [S.l.: s.n.], [s.d.]. Disponível em: <https://repositorio.ufersa.edu.br/bitstreams/3602ac5f-fa0a-456f-8292-5c1b6c67396b/download>. Acesso em: 21 abr. 2025.
- UNINET. *Revista Engenharia Meio Ambiente e Inovação*, v. 10, n. 1, p. 112–123, 2023. Disponível em: https://unignet.com.br/wp-content/uploads/Vol-10-Revista-Engenharia-Meio-Ambiente-e-Inovacao-V_10_n_01_2023.pdf#page=112. Acesso em: 21 abr. 2025.
- UTFPR. *Construção de bancada didática para teste de perda de carga*. Cornélio Procópio: [s.n.], 2015. Disponível em: <https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/28405>. Acesso em: 22 abr. 2025.
- BRESSAN, D. **Hidráulica básica**. 2. ed. São Paulo: Érica, 2017.
- FREIRE, E. B. **Hidráulica aplicada**. 6. ed. São Paulo: Pearson, 2011.
- MOTA, S. **Hidráulica geral**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008.
- PUPO, E. C. **Instalações hidráulicas e sanitárias**. 5. ed. São Paulo: Érica, 2014.
- TAVARES, J. M. R. S.; LOPES, J. C. L. **Hidráulica experimental: técnicas e equipamentos**. Lisboa: IST Press, 2007.
- VANNUCCHI, F. S. **Medição de vazão em escoamentos hidráulicos**. São Paulo: EdUSP, 2004.