

ESTUDO DE PERDA DE CARGA EM TUBO LISO ATRAVÉS DA FLUIDODINÂMICA COMPUTACIONAL

Aline Ribeiro, Monalisa Ester Soteli, Polyana Otto de Meirelles e Evandro Balestrin.

Resumo

Esse trabalho teve como objetivo quantificar as perdas de carga por atrito em escoamento turbulento plenamente desenvolvido em tubo liso, através de experimentos em laboratório e simulações numéricas (CFD). A precisão na determinação dessas perdas é crucial para o dimensionamento otimizado de sistemas de transporte de fluidos, minimizando perdas de energia e otimizando o desempenho.

Os experimentos foram conduzidos em circuito hidráulico, variando as condições de fluxo e medindo a vazão, velocidade média e diferença de pressão. Na simulação numérica o sistema físico utilizado foi o software Ansys Workbench Student, com limitação de 500 mil números de elementos na malha elaborada no pacote Meshing. A geometria do tubo, as condições de contorno (paredes lisas, entrada e saída) e os parâmetros do fluido (viscosidade, densidade) foram definidos de acordo com os dados experimentais. As equações de Navier-Stokes foram resolvidas numericamente para obter o campo de velocidades e pressões.

Em síntese ao comparar os resultados experimentais e numéricos, observou-se uma discrepância nos valores de perda de carga. Essa divergência pode ser atribuída a: incertezas experimentais: Erros de

medição, variações nas condições de contorno e impurezas no fluido e limitantes da simulação: Simplificações nos modelos de turbulência, discretização da geometria (malha) e imposições das condições de contorno.

A análise comparativa evidencia a complexidade na determinação precisa das perdas de carga em escoamentos turbulentos. A combinação de experimentos e simulações numéricas é fundamental para uma compreensão abrangente do fenômeno, permitindo identificar as fontes de incerteza e aprimorar os modelos preditivos.

Palavras-chave: perda de carga; CFD; geometria; malha; escoamentos.

1 INTRODUÇÃO

O transporte e distribuição de água potável, petróleo, gás natural, combustíveis e produtos químicos é um sistema importante no Brasil e no mundo (BRANDOLT, 2002). Seu funcionamento acontece por meio do deslocamento de carga com o uso de dutos, os quais são tubulações projetadas de forma subterrâneas, marítimas ou aparentes que funcionam por processo de bombeamento e, conseqüentemente, geram pressão (Hivecloud, 2024). Essa propriedade em questão, deve ser ajustada nas válvulas de controle e considerada como fator importante no dimensionamento de dutos, uma vez que está associada às perdas de carga ao longo destes e impacta na eficiência e nos custos do sistema.

Nesse contexto, a perda de carga está relacionada com a turbulência que ocorre no duto. Para regime laminar, está associada à resistência oferecida pela camada mais lenta (camada limite - junto às paredes) àquela mais rápida, já para regime turbulento, considera-se também a

perda de energia nos choques moleculares provenientes das partículas desordenadas(CARVALHO, 2006). A importância do controle da perda de carga consiste nos parâmetros corretos de vazão do fluido, pressão na tubulação, consumo de energia e capacidade de bombeamento do sistema. Tendo isso em vista, a utilização do software CFD (Computational Fluid Dynamics) torna-se uma ferramenta útil e eficiente na modelagem e simulação de fluxo de fluidos líquidos e gasosos, pois permite analisar fenômenos complexos térmicos, cinéticos, difusivos e convectivos e obter resultados numéricos como temperatura, velocidade e pressão, para posteriormente, comparar com valores experimentais e encontrar um modelo de garantia da qualidade e segurança do processo.

Ademais, a Fluidodinâmica Computacional (CFD) utiliza modelos matemáticos que contêm as equações de fenômenos de transporte, sendo elas a de Navier-Stokes, Lei da Continuidade, Segunda Lei de Newton da viscosidade, Lei de Fick, entre outras. Esses modelos passam por uma validação que é responsável em fornecer indícios de precisão e eficiência dos resultados gerados na modelagem e simulação matemática, a fim de comparar com a situação real (KOWALEK, 2022).

O artigo em questão aborda a parte experimental em laboratório do escoamento da água como fluido líquido, coleta dos dados experimentais de velocidade, número de Reynolds e perda de carga, a modelagem e simulação do sistema no software CFD (Computational Fluid Dynamics) e a validação dos modelos e parâmetros matemáticos utilizados.

2 DESENVOLVIMENTO

Metodologia

A metodologia deste estudo foi dividida em duas etapas principais: a realização de experimentos laboratoriais e a modelagem computacional utilizando Software (CFD). Durante a execução da aula prática experimental (Figura 1), utilizou-se a unidade experimental (a) com o tubo $\frac{1}{2}$ " liso (b) e manômetro de coluna d' água (c), e um reservatório para controle do fluido (d). Durante os testes conduzidos em triplicata, foi realizado o cálculo da média dos valores encontrados (Tabela 1), sendo eles: perda de carga, tempo e profundidade do tanque. A partir dos dados coletados, calculou-se a vazão e a velocidade do fluido (Tabela 3).

Posteriormente, realizou a modelagem e simulação do sistema no laboratório de informática, utilizando o software Ansys Workbench versão 17.0. As etapas envolvidas foram o dimensionamento da geometria (Figura 2), malha estruturada hexaedros com 440 mil números de elementos no pacote Meshing (Figura 3), condições iniciais, essa sendo a velocidade de entrada de 4,23 m/s, e condições de contorno equivalente às condição de saída "outflow", condição de parede "no slip", regime estacionário em relação ao tempo, modelo de turbulência k- ϵ padrão, por fim, realizou-se o início da simulação no Fluid e para o término considerou-se o critério de convergência 1×10^{-3} (Figura 4).

Por fim, os resultados obtidos na simulação foram comparados com os dados experimentais para validar o modelo computacional.

Resultados

Os resultados foram apresentados em ordem de execução, começando com os cálculos experimentais e em seguida a parte de modelagem e simulação.

Os resultados obtidos a partir do estudo de perda de carga por meio da fluido dinâmica computacional (CFD), permitiu compreender o funcionamento interno da tubulação e avaliar as condições do tubo, como a rugosidade das paredes do tubo podem gerar resistência ao escoamento, causando perda de energia. Similarmente as válvulas, curvas, cotovelos e outros acessórios também causam perdas de energia devido à formação de vórtices e turbilhonamentos.

Durante a execução da prática experimental em laboratório foi utilizado um tubo liso, o qual pode ser caracterizado por ser um conduto circular com uma superfície interna sem irregularidades, asperezas ou ranhuras. Em um modelo ideal a parede interna de um tubo liso seria perfeitamente suave, o que minimiza o atrito entre o fluido que escoar por dentro e a parede do tubo.

Em contrapartida, um tubo liso oferece menor resistência ao escoamento de um fluido, resultando em uma menor perda de carga em comparação a um tubo rugoso. No entanto, mesmo em um tubo liso, a perda de carga é inevitável devido à viscosidade do fluido e ao movimento turbulento.

A configuração geométrica da tubulação estudada tem o comprimento total de 1,35 m e considerou-se uma distância central de 1,12 m para o cálculo da perda de carga, o diâmetro da tubulação de 0,0127 m, o regime de escoamento determinado foi turbulento com número de Reynolds de 53.721, vazão de $5,345 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$ e velocidade de 4,23 m/s.

Nesse âmbito, os valores encontrados para a perda de carga experimental foram (tabela 1):

$$\Delta P1 = 447 \text{ mm ou } 59594.93 \text{ pascal}$$

$$\Delta P2 = 250 \text{ mm ou } 33330.5 \text{ pascal}$$

$$\Delta P3 = 450 \text{ mm ou } 59994.9 \text{ pascal}$$

$$\Delta P \text{ médio} = 382,33 \text{ mm ou } 50973 \text{ pascal}$$

Considerando os dados fornecidos, a perda de carga pode ser considerada alta para as condições do sistema. O regime turbulento, a velocidade relativamente alta e o diâmetro pequeno do tubo contribuem para aumentar significativamente a perda de energia no interior da tubulação.

Nesse âmbito, também foi elaborada a simulação da perda de carga no software da Ansys Workbench, a malha utilizada foi a estruturada, a qual é caracterizada pela distribuição uniforme de seus pontos nas regiões regulares utilizando hexaedros para obter maior precisão. Similarmente, foram utilizados números de elementos da malha próximos a 500 mil para garantir valores exatos.

A simulação via CFD, apresentou o valor de perda de carga de 19824,7 pascal. Nessa conjuntura, é válido pontuar a diferença significativa entre a perda de carga experimental (50973 Pa) e a simulada (19824,7 Pa) indica que há um desvio considerável entre os resultados obtidos em laboratório e aqueles previstos por um modelo matemático. Essa discrepância pode ser atribuída a diversos fatores, tanto relacionados à experimentação quanto à simulação.

Nesse viés, há diversas razões para que os valores de perda de carga obtidos em um experimento e em uma simulação computacional não sejam exatamente iguais. As principais causas são:

Erros na experimentação: Os instrumentos de medição como vazão, perda de carga, podem não ser perfeitos, e as condições do experimento podem não ser exatamente as mesmas que as consideradas na simulação. Fatores externos como vibração, presença de bolhas de ar na tubulação ou impurezas no fluido também podem influenciar os resultados.

Limitações da simulação: Os modelos matemáticos usados nas simulações são simplificações da realidade. Eles não conseguem capturar todos os detalhes do fluxo do fluido. Além disso, a qualidade da malha numérica utilizada na simulação e a forma como a turbulência é modelada podem afetar os resultados, malhas muito grosseiras podem levar a resultados imprecisos. Além de modelos com regime turbulento serem mais complicados de realizar a modelagem e simulação pois apresentam resultados distintos (AMARAL,2016).

3 CONCLUSÃO

A análise comparativa entre os dados experimentais e os resultados da simulação CFD para o cálculo da perda de carga em um escoamento turbulento em tubo liso revelou uma discrepância significativa. Essa diferença pode ser atribuída a diversos fatores, tanto inerentes à experimentação quanto às limitações dos modelos numéricos.

Os experimentos indicaram uma perda de carga consideravelmente maior do que a prevista pela simulação. Essa divergência pode estar

relacionada a incertezas nas medidas experimentais, como erros de calibração dos instrumentos e condições de contorno não perfeitamente controladas. Além disso, a presença de rugosidades microscópicas na superfície interna do tubo, mesmo em um tubo considerado liso, pode contribuir para um aumento da resistência ao escoamento e, conseqüentemente, da perda de carga.

Por outro lado, as simplificações inerentes aos modelos numéricos utilizados em CFD também podem explicar parte da discrepância observada. A modelagem da turbulência, a qualidade da malha e as condições de contorno adotadas na simulação são fatores que podem influenciar significativamente os resultados.

Em suma, a presente investigação demonstra a complexidade da análise de escoamentos em tubulações e a importância de uma abordagem combinada, que envolve tanto o experimento quanto simulações numéricas. A compreensão das limitações de cada método é fundamental para uma interpretação precisa dos resultados e para o desenvolvimento de modelos mais confiáveis.

Para aprimorar os estudos sobre perda de carga em escoamentos turbulentos em tubos, sugere-se: aumentar a precisão das simulações numéricas através da utilização de malhas mais detalhadas, avaliar a performance de diferentes modelos de turbulência para identificar o mais adequado ao problema em questão, considerar a influência de variáveis adicionais, como temperatura, entradas de ar no escoamento e geometria da tubulação, na perda de carga e comparar os resultados obtidos com dados de pesquisas anteriores para corroborar a metodologia utilizada e a

confiabilidade dos resultados. Dessa forma é possível obter valores experimentais e através da modelagem com maior exatidão.

REFERÊNCIAS

AMARAL, do Reis Elbert, AMARAL, dos Reis Tatiane. **Análise dos fatores que influenciam nas perdas de carga em tubulações e acessórios hidráulicos.**

(2016). Disponível em:
<https://ifnmg.edu.br/arquivos/2016/proppi/sic/resumos/64ddd471-17b3-4218-8c2f-02b86282f985.pdf>. Acesso em: 03 dez.2024

ARAUJO, Sabino Gomes Alex, **Análise de Perda de Carga de escoamentos Bifásico Carregados com Partículas.** (2019). Disponível

em:<https://pantheon.ufrj.br/bitstream/11422/13526/1/AlexGomesSabinoDeAraujo.pdf>. Acesso em: 02 dez.2024.

BRANDOLT, H. **Simulação de escoamento em dutos por caracterização de eventos**. Tese (Mestrado em Engenharia Química) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Centro Tecnológico - Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, p. 85. 2002.

CARVALHO, D.; SILVA, L. **IT 503 – Fundamentos de Hidráulica.** Rio de Janeiro: Outubro, 2006. Disponível em:

<http://www.ufrj.br/institutos/it/deng/leonardo/downloads/APOSTILA/Apostila%20IT%20503/IT503%20Cap%207.pdf>. Acesso em: 02 dez. 2024.

Hivecloud. Modal dutoviário: saiba tudo sobre o assunto. **Hivecloud by nstech.** [S.l.], 18 de jun. 2024. Disponível em: <https://www.hivecloud.com.br/post/modal-dutoviario/#:~:text=O%20modal%20dutovi%C3%A1rio%20se%20d%C3%A1,de%20bombeamento%2C%20que%20gera%20press%C3%A3o>. Acesso em: 28 nov. 2024.

KOWALEK, R.; ALMEIDA, L. Um Olhar sobre a Validação em uma Atividade de Modelagem Matemática. *IN: IX ENCONTRO PARANAENSE DE MODELAGEM NA EDUCAÇÃO MATEMÁTICA, 9., 2022, União da Vitória. Anais eletrônicos [...]* União da Vitória: EPMEM, 2022. p. 1 - 15. Disponível em: <https://www.sbemparana.com.br/ixepmem/anais/CC34.pdf>. Acesso em: 02 dez. 2024.

SILVA, João Henrique Fernandes da. **Secagem de banana verde pré-tratada assistida por radiação ultravioleta do tipo C (UV-C): design de um novo secador convectivo estudado via CFD com validação experimental.**(2024). Acesso em: 03 dez. 2024.

Sobre o(s) autor(es)

Aline Ribeiro, Graduanda em Engenharia Química, Universidade do Oeste de Santa Catarina, Videira - SC, allineribeiro130@gmail.com

Monalisa Ester Soteli, Graduanda em Engenharia Química, Universidade do Oeste de Santa Catarina, Videira - SC, monalisasoteli@gmail.com

Polyana Otto de Meirelles, Graduanda em Engenharia Química, Universidade do Oeste de Santa Catarina, Videira - SC, polyodmeirelles2@hotmail.com

Figura 1 - Unidade experimental (a), tubo 1/2" liso (b), manômetro (c) e reservatório (d)



Fonte: Figura do autor

Tabela 1 - Dados experimentais dos testes em triplicata

Experimento 1	$\Delta P1$ (mm)	447
	t1 (s)	15
	h1 (mm)	127
Experimento 2	$\Delta P2$ (mm)	250
	t2 (s)	15
	h2 (mm)	136
Experimento 3	$\Delta P3$ (mm)	450
	t3 (s)	15
	h1 (mm)	135
Média dos valores	ΔPm (mm)	382,33
	tm (s)	15
	hm (mm)	132,66

Fonte: Figura do autor

Tabela 2 - Equações Utilizadas nos Testes Experimentais

Equações Utilizadas		Unidade de Medida
Cálculo do Volume	$V = h.l.c$	V= volume h= altura ou profundidade l= largura c= comprimento m ³ m m m
Cálculo da Vazão	$Q = \frac{V}{t}$	Q= vazão V= volume t= tempo m ³ m ³ s
Cálculo da Velocidade	$v = \frac{Q}{A}$	v = velocidade Q= vazão A= área m/s m ³ m ²
Cálculo da Área	$A = \frac{\pi.D^2}{4}$	A= área π = Valor de pi D= diâmetro m ² m
Cálculo do número de Reynolds	$Re = \frac{v.\rho.D}{\mu}$	Re= número de Reynolds v = velocidade ρ = massa específica D= diâmetro μ = viscosidade dinâmica - - m/s Kg/m ³ m Pa.s
Transformação da Perda de Carga de mm para Pascal	$\Delta P = \Delta P_{mmHg}.133,322$	ΔP = variação de perda de carga mmHg = milímetros de mercúrio Pa mmHg

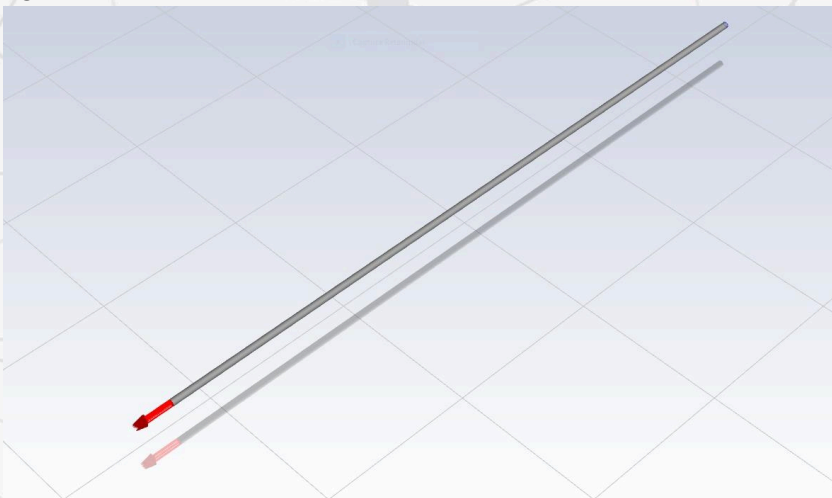
Fonte: Figura do autor

Tabela 3 - Resultados dos Testes Experimentais

Resultados Experimentais	
Cálculo do Volume	8,018x10⁻³m³
Cálculo da Vazão	5,345x10⁻⁴m³/s
Cálculo da Velocidade	4,23 m/s
Cálculo da Área	1,2667x10⁻⁴
Cálculo número de Reynolds	53721

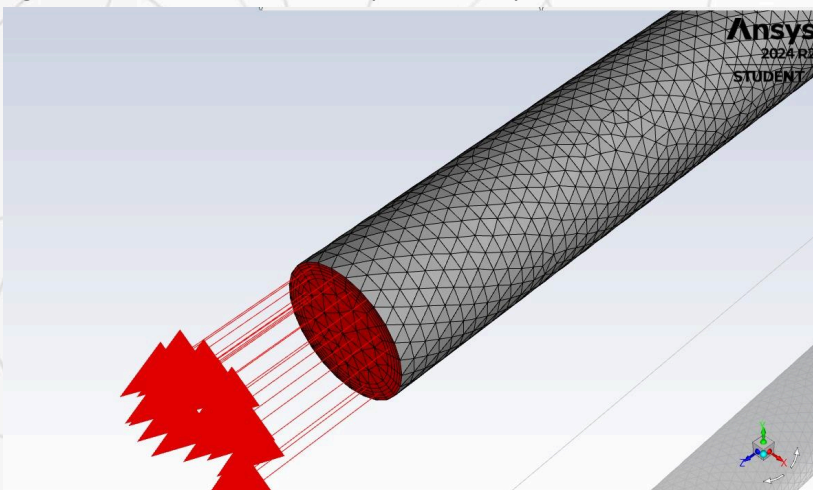
Fonte: Figura do autor

Figura 2 - Geometria



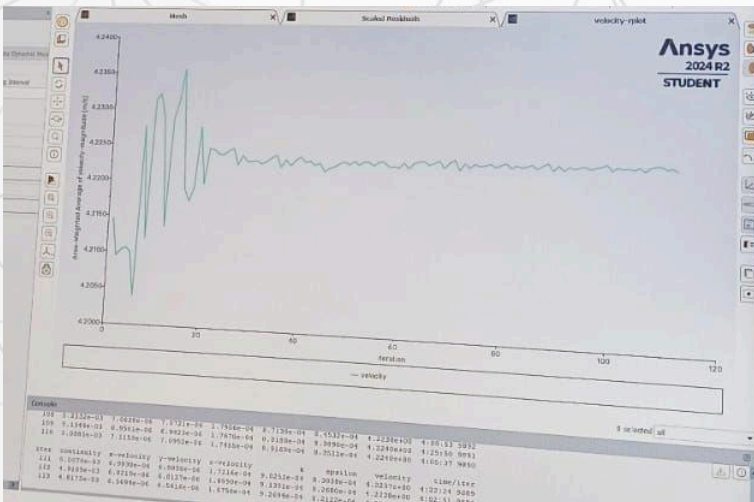
Fonte: Figura do autor

Figura 3 - Malha Estruturada (hexaedros)



Fonte: Figura do autor

Figura 4 - Início da simulação



Fonte: Figura do autor