

# Análise CFD para Escoamento Interno

Bruna Letícia Souza Fontes

*Universidade de Brasília*

Novembro, 2020

## Resumo

Dinâmica dos fluidos computacional (CFD) é um método amplamente utilizado na engenharia que utiliza recursos computacionais para a obtenção de resultados numéricos associados a mecânica dos fluidos. O presente artigo tem por finalidade avaliar as condições de operação de uma tubulação em que se opera uma bomba. Esta análise é feita comparando parâmetros teóricos calculados de forma analítica com os resultados numéricos obtidos das simulações. A fim de validar a análise, é feito um estudo paramétrico da velocidade máxima do escoamento no tubo. Após a análise conjunta dos resultados teóricos, da simulação e do estudo paramétrico, é possível concluir que os dados medidos no local não estão coerentes, apontando assim, problemas no equipamento de medição ou na tubulação devido ao tempo de uso.

**Palavras-chave:** escoamento interno; dinâmica dos fluidos computacional; tubulação circular; perda de carga; escoamento viscoso.

## Abstract

Computational fluid dynamics (CFD) is a method widely used in engineering that uses computational resources to obtain numerical results associated to fluid mechanics. The purpose of this article is to evaluate the operating conditions of a pipe in which a pump is operated. This analysis is made by comparing theoretical parameters analytical calculated with the numerical results obtained from the simulations. In order to validate the analysis, a parametric study of the maximum flow velocity in the pipe is made. After the joint analysis of the theoretical results, the simulation and the parametric study, it is possible to conclude that the data measured on the local are not coherent, thus pointing out problems in the measuring equipment or in the piping due to the time of use.

**Keywords:** intern flow; computational fluid dynamics; circular pipe, pressure loss; viscous flow.

## Lista de Símbolos

$\Delta P_{L,T}$	Perda de carga teórica
$\Delta P_L$	Perda de carga
$\dot{V}$	Vazão volumétrica
$\mu_{agua}$	Viscosidade dinâmica da água
$\rho_{agua}$	Massa específica da água
$A$	Área da seção transversal
$d$	Diâmetro da tubulação
$f$	Fator de atrito
$L$	Comprimento da tubulação
$Re$	Número de Reynolds
$v$	Velocidade

# 1 Introdução

O projeto consiste em fazer o estudo numérico de um problema relacionado ao escoamento de um fluido. Possui finalidade acadêmica, prevendo o auxílio à disciplina de Dinâmica dos fluidos, por meio do estudo da Fluidodinâmica Computacional (CFD), muito utilizado na academia e na indústria atual.

O presente projeto tem como objetivo analisar o escoamento de um fluido na tubulação de um bombeamento, que apresenta 40 mm de diâmetro e 1 metro de comprimento, através da análise numérica utilizando o software Ansys Fluent R19.2. Tal análise, permitirá avaliar parâmetros do escoamento como: Vazão e a perda de carga. Bem como, possíveis problemas na instalação, implementação de otimizações, e modificações caso os resultados não apresentem coerência com os valores citados pelo problema.

Para incrementar a análise do escoamento será realizado um estudo quantitativo, comparando os resultados obtidos na simulação, com os dados experimentais fornecidos pelo problema, assim, será analisado se os valores apresentados de perda de carga e vazão volumétrica concordam. Além do estudo quantitativo, será realizado o estudo paramétrico baseado na velocidade máxima do escoamento na tubulação, verificando a teoria do escoamento em tubos.

## 2 Metodologia

A melhor metodologia a ser aplicada nesse caso é o estudo CFD pois permite um processo iterativo, com mudanças ágeis, além de possuir baixo custo. Baseado nisso, para a realização da modelagem, pré-processamento, processamento e pós-processamento utilizou-se software comercial ANSYS R19.2, e para a análise do sistema será adotado o Fluent.

Para efeitos de simplificação, foi simulado apenas a tubulação da instalação, desconsiderando outros componentes da instalação e da os quais agregariam complexidade ao problema, além de não serem conhecidos.

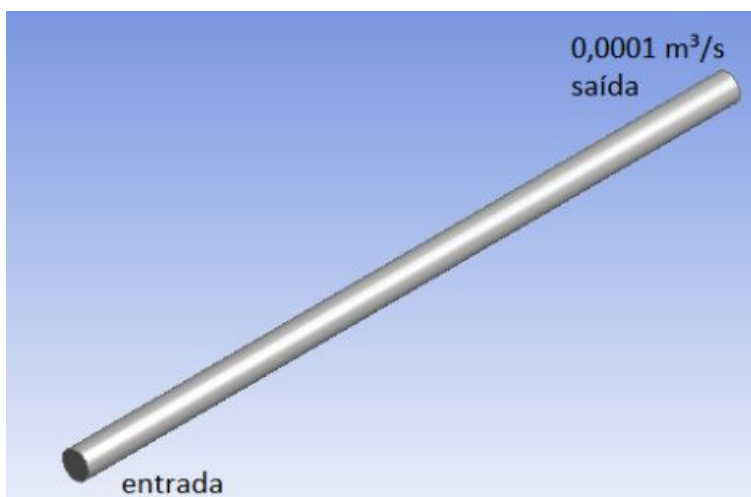


Figure 1: Geometria da tubulação

Além disso, para a interpretação dos dados da perda de carga, considerou-se a pressão relativa na saída será igual a zero. Também, para simplificação as hipóteses de regime permanente, escoamento incompressível e plenamente desenvolvido foram consideradas.

É fundamental a produção de uma boa malha para a precisão dos resultados. Devido a baixa complexidade do problema e por se tratar de um domínio simples, utilizou-se uma malha estruturada, no método dos volumes finitos (FVM) . Pela simplicidade do problema, o nível de convergência de resíduos adotado será de  $1e^{-4}$ . E para a interpretação dos resultados será considerado uma tolerância de 10% dos resultados relacionados a perda de carga.

Para a abordagem inicial do problema e baixa complexidade, foi utilizado a malha automática no Ansys Fluent, conforme a figura abaixo.

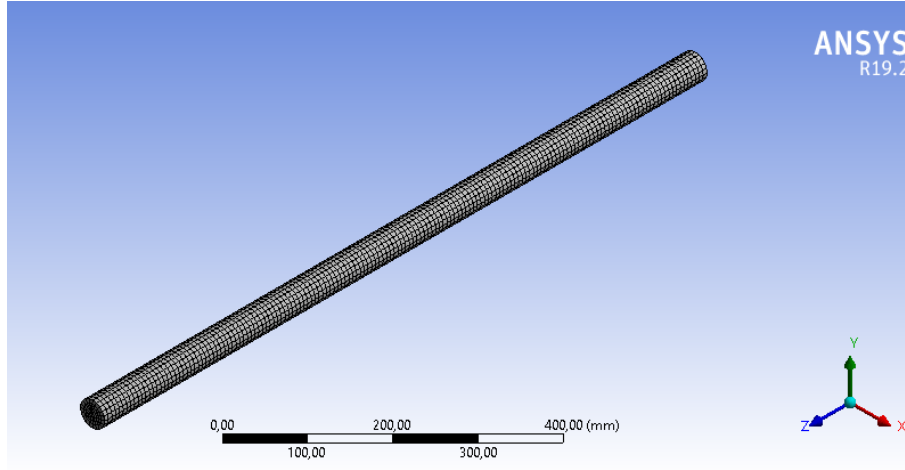


Figure 2: Malha automática

Para a obtenção de bons resultados da perda de carga as condições de contorno devem estar bem configuradas. Para definir-las, primeiramente, foram analisadas as informações fornecidas pelo problema, sendo: Vazão volumétrica de  $0,0001 m^3$ ; Raio do tubo de 0,02 m. Assim, calculou-se o valor da velocidade média do escoamento.

$$v = \frac{\dot{V}}{A} \Rightarrow v = 0,0795 \text{ m/s} \quad (1)$$

Posteriormente, foi calculado o número de Reynolds, para verificar o regime do escoamento. Para o cálculo, foram utilizados os seguintes valores:  $\rho = 997 \text{ kg/m}^3$  e  $\mu = 0,891 \cdot 10^{-3} \text{ kg/m} \cdot \text{s}$

$$Re = \frac{\rho_{\text{agua}} v d}{\mu_{\text{agua}}} \Rightarrow Re = 3563 \quad (2)$$

Para fins de simplificação da simulação, foi adotado, inicialmente, o modelo laminar, e em seguida, foi aplicado o modelo turbulento.

## 3 Resultados

### 3.1 Laminar

A seção transversal da tubulação possui área constante, portanto, a velocidade média do escoamento é constante durante todo o escoamento sendo 0,0795 m/s. Considerando, também, o resultado obtido do número de Reynolds de 3563, pela teoria, indica-se um escoamento em uma região de transição entre laminar e turbulento.

Para o cálculo da perda de carga, utilizou-se a equação 3:

$$\Delta P_{L,T} = f \frac{L}{d} \frac{\rho_{agua} v_{avg}^2}{2} \quad (3)$$

Em concordancia a equação 3, estima-se o valor de atrito, para o cálculo da perda de carga. Conforme a teoria do escoamento laminar, o cálculo do fator de atrito se dá pela equação:

$$f = \frac{64}{Re} \Rightarrow f = 0,017 \quad (4)$$

Assim, substituindo na equação 3, obtém-se:

$$\Delta P_{L,T} = 1,34 Pa \quad (5)$$



Figure 3: Gradiente de pressão Laminar

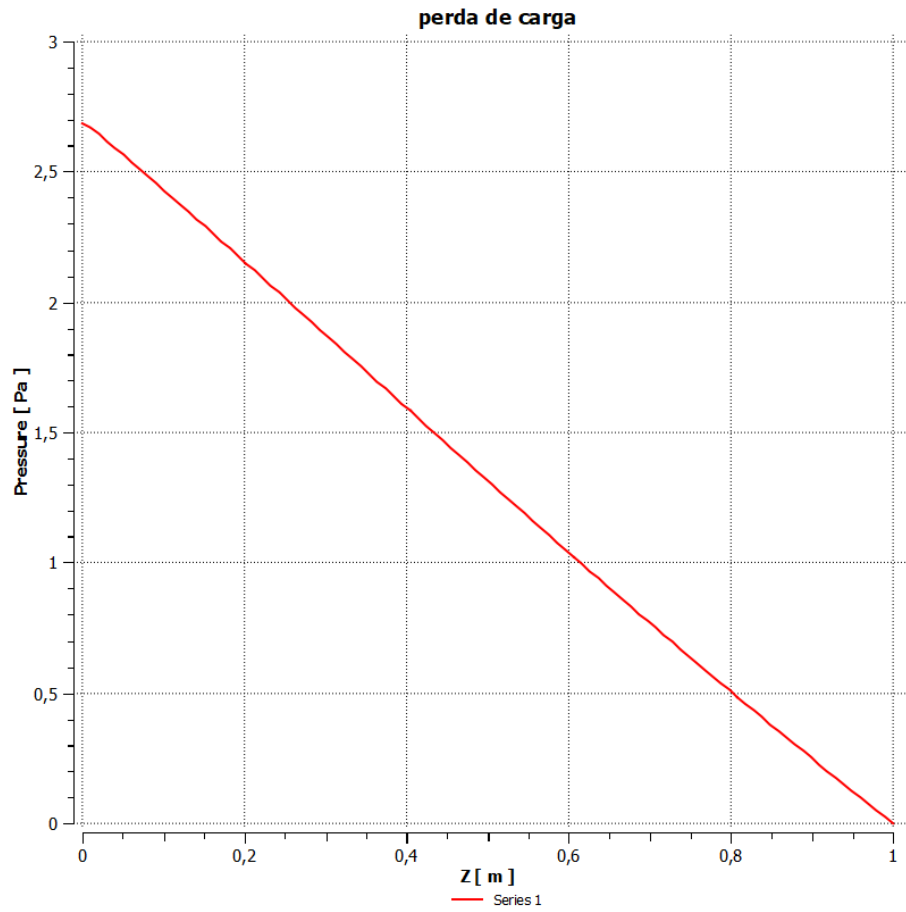


Figure 4: Queda de pressão Laminar

Table 1: Queda de Pressão

Fornecida	2.0 Pa
Analítica	1.34 Pa
Numérica	2.69 Pa

Da equação 3 é possível observar que o resultado da simulação de 2,69 Pa não condiz com o resultado analítico. Assim, faz se necessário avaliar a velocidade média do escoamento.

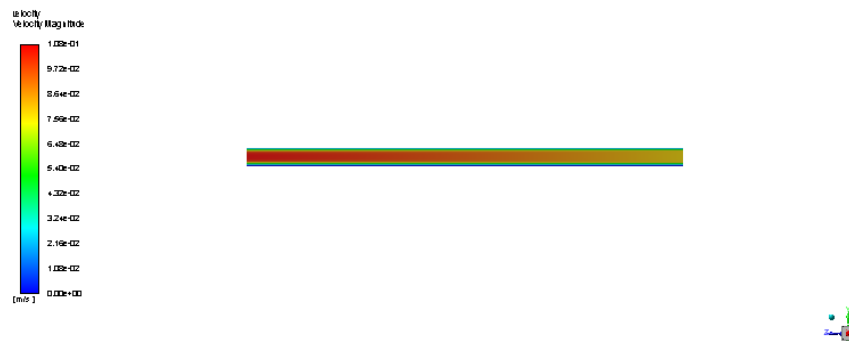


Figure 5: Gradiente de velocidade Laminar

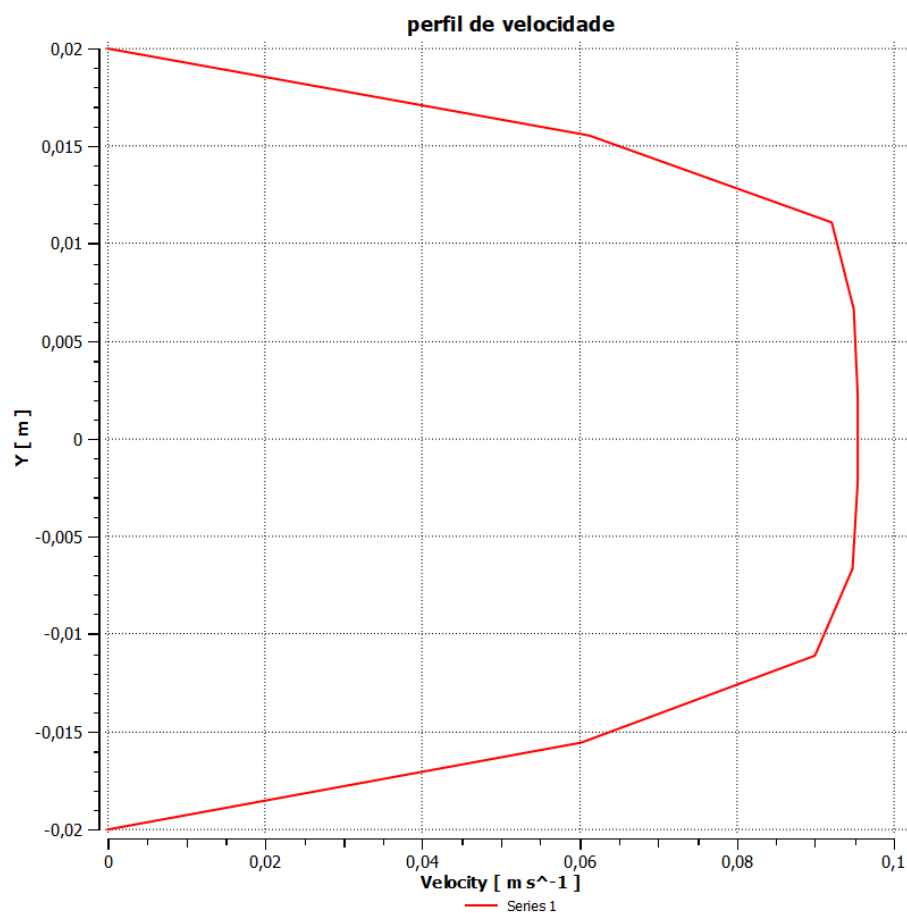


Figure 6: Perfil de velocidade Laminar

No que tange a teoria de escoamentos internos, a velocidade do fluxo laminar completamente desenvolvido tem velocidade igual a zero nas paredes e máxima ao centro da tubo. Esse comportamento resulta em um perfil de velocidade parabólico.

Todavia, a Figura 6 mostra que o resultado da simulação obtido para o perfil de velocidade, não condiz com o esperado pela teoria, além da velocidade máxima não apresentar valor duas vezes maior que a velocidade média já calculada, que característico do escoamento laminar.

### 3.1.1 Estudo Paramétrico

A fim de validar as informações obtidas acima foi realizado um estudo paramétrico relacionado à velocidade máxima do escoamento, variando a velocidade na entrada da tubulação para a obtenção dos resultados da perda de carga.

Table 2: Estudo Paramétrico		
Velocidade inicial [m/s]	Velocidade Máxima [m/s]	Perda de Carga [Pa]
0.0796	0.10818	2.6962
0.07	0.097699	2.3406
0.065	0.092147	2.1545
0.064	0.091028	2.1173
0.062	0.088779	2.0427

$$V_{avg} = \frac{V_{max}}{2} \quad (6)$$

Pode-se observar que na tabela 2 que os resultados de velocidade máxima não satisfazem a relação 6 exposta acima, referente a teoria do escoamento laminar para o escoamento plenamente desenvolvido. Assim, tanto a velocidade máxima, quanto a queda de pressão não condizem com a fornecida pelo problema, nem com os valores analíticos calculados. Portanto, fez-se necessário o estudo do caso considerando o escoamento turbulento.

## 3.2 Turbulento

Visto que os resultados obtidos na análise laminar não condizem com os resultados analíticos considerando o escoamento laminar, fez-se necessário a análise do escoamento em regime turbulento. Para tal análise foram feitos novos cálculos analíticos considerando o regime turbulento.

Para o cálculo do fator de atrito, é foi utilizado o Diagrama de Moody. Para o diagrama foi adotado a tubulação lisa e número Reynolds de aproximadamente 3500. Assim, o fator de atrito foi aproximado para 0,04.

Utilizando a equação 3, foi determinado o novo valor da perda de carga para o regime turbulento de 3.159 Pa.

Abaixo é mostrado o resultado numérico da perda de carga para o escoamento em regime turbulento.





Figure 7: Gradiente de pressão regime turbulento

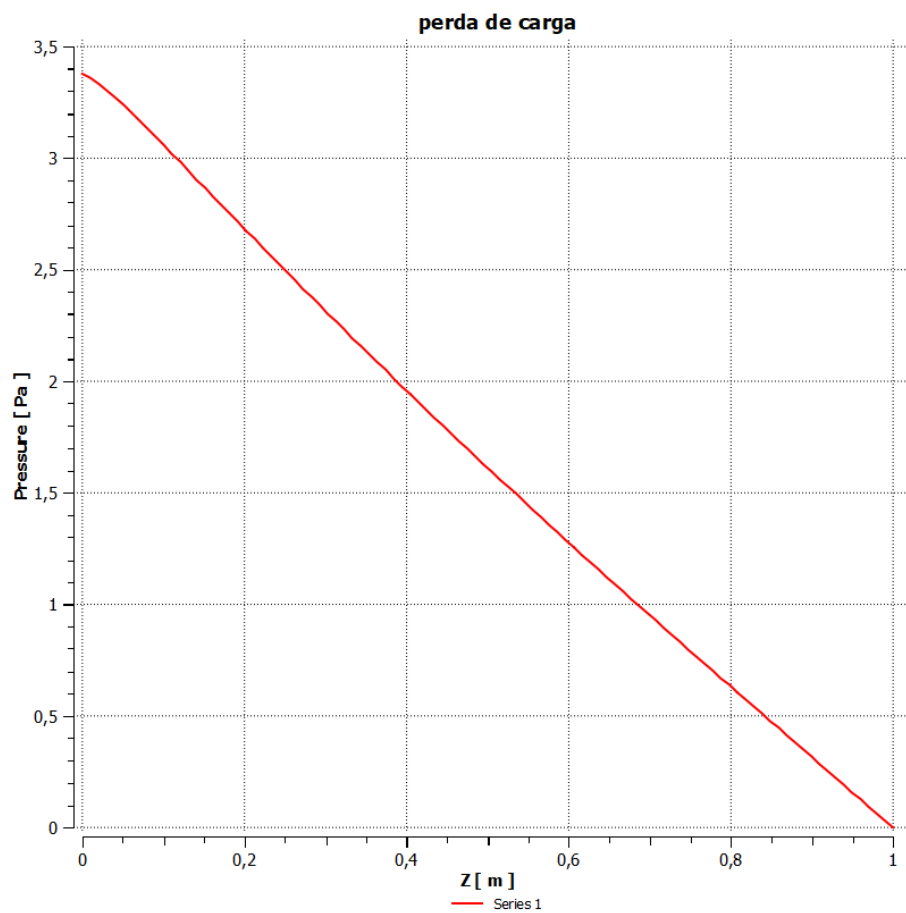


Figure 8: Queda de pressão Tubulento



Figure 9: Gradiente de velocidade tubulento

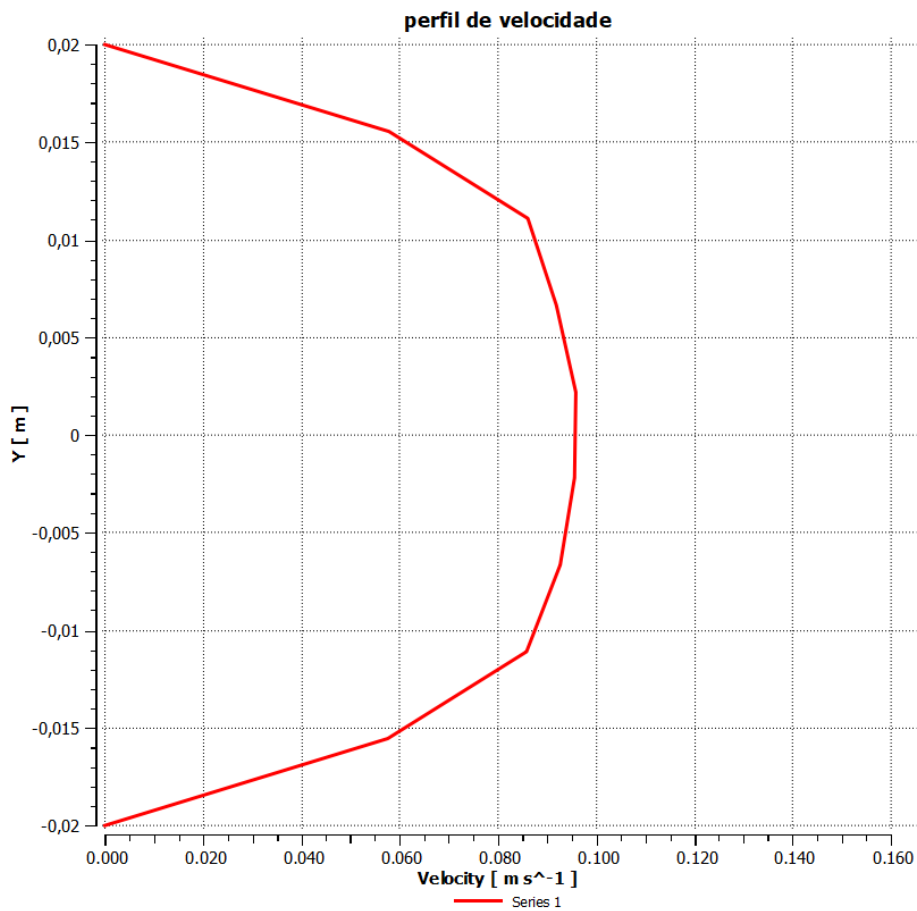


Figure 10: Perfil de velocidade Tubulento

O comportamento da queda de pressão apresenta resultado esperado para escoamentos viscosos, além disso o valor de 3.40 Pa evidencia coerência com o resultado teórico já calculado anteriormente, apresentando um erro percentual de apenas 7,6%, sendo plenamente aceitável

para um projeto CFD. Já o perfil de velocidade apresentou forma similar a um "chapéu" o que se prevê para escoamento interno em regime turbulento.

Dessa forma, é possível inferir que o modelo de escoamento turbulento atende melhor as análises para escoamentos em transição  $Re > 2300$ .

Visto que a queda de pressão experimental se encontra menor que a pressão teórica e a pressão obtida na análise numérica, conclui-se que a tubulação apresenta problemas, e também erros nos valores de vazão, e perda de carga.

Esses problema podem estar associados ao uso da tubulação, ou corrosão, que afetariam diretamente no no valor na perda de carga, e ainda da velocidade, reduzindo seus valores. Outro problema, também, seria do equipamento de medição. Sendo assim, seria necessário averiguar a condições da tubulação, do mesmo modo, a precisão dos equipamentos de medição.

### 3.3 Conclusão

Conforme as análises anteriores utilizando o software Ansys Fluent para o estudo do escoamento de água em uma tubulação, é possível inferir que a simulação e o estudo paramétrico foram fundamentais para obtenção de resultados condizentes a realidade físico-teórico do problema, apontando um possível erro relacionado as medições realizadas quando comparado a resultados analíticos e numéricos obtidos, expressando o quanto essa ferramenta é importante para a academia e a indústria. Pelo estudo da velocidade máxima, foi possível concluir a necessidade de usar o modelo de turbulência em escoamentos em transição, e que a simplificação no modelo laminar não contribuiria rigorosamente para resultados numéricos esperados pelo CFD.

Ademais, o erro experimental da perda de carga e da vazão apresentados, podem estar relacionados ao um erro instrumental, ou a mudança da geometria da tubulação, visto que, pela análise da 3, a mudança da geometria associada ao diâmetro contribuiria para a baixa variação de pressão exposto pelo problema. Assim, os objetivos gerais do projeto e seus requisitos propostos foram atendidos, mostrando como o CFD é uma ferramenta importante para estudos da engenharia.

## References

- [1] ÇENGEL, Y. A. *Fluid Mechanics: Fundamentals and Applications*. Nova Iorque: McGraw-Hill, 2014.
- [2] WHITE, F. M. *Mecânica dos Fluidos*. Nova Iorque: McGraw-Hill, 2018.
- [3] SUZUKI, R. T. *Perda de Carga*. Disponível em: <<https://www.suzuki.arq.br/unidadeweb/aula3/aula3.htm>>. Acesso em: 23 jun. 2020.