

**Universidade de Brasília**

**Faculdade do Gama (FGA)**



**Relatório Técnico**  
**Análise de Escoamento Interno com CFD**

Bruna Letícia Souza Fontes

160160162

Brasília  
2 de dezembro de 2020

# 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 Desenvolvimento

Para a análise inicial do projeto foram assumidas hipóteses visando a simplificação do problema, sendo elas: escoamento incompressível, plenamente desenvolvido e seção transversal constante. Ademais, o regime do escoamento foi calculado pela equação 2. Para o resultado obtido, o escoamento se encontraria regime de transição. Mas, para a análise preliminar, foi adotado o modelo de equacionamento laminar no Ansys Fluent.

Para a velocidade média do escoamento:

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

Onde,  $\rho = 997 \text{ kg/m}^3$  e  $\mu = 0,891 \cdot 10^{-3} \text{ kg/m} \cdot \text{s}$   
Então,

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

Onde,  $v$  é a velocidade de entrada;  $\dot{V}$  é a vazão volumétrica e  $A$  é a área.

Onde,  $\rho = 997 \text{ kg/m}^3$  e  $\mu = 0,891 \cdot 10^{-3} \text{ kg/m} \cdot \text{s}$  são a massa específica da água e o coeficiente de viscosidade dinâmico da água respectivamente.

## 2.1 Análise Laminar

Para a análise do modelo, as equações empregadas nessa seção para o cálculo analítico fazem referência a teoria de escoamento laminar, e aos efeitos viscosos no escoamento interno que determinam a queda de pressão ao longo do duto. Visto que, a seção transversal da tubulação possui área constante, a velocidade média do escoamento é constante durante todo o escoamento sendo 0,0795 m/s.

Assim, para o cálculo da perda de carga, utilizou-se 3:

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

Em concordância 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:

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

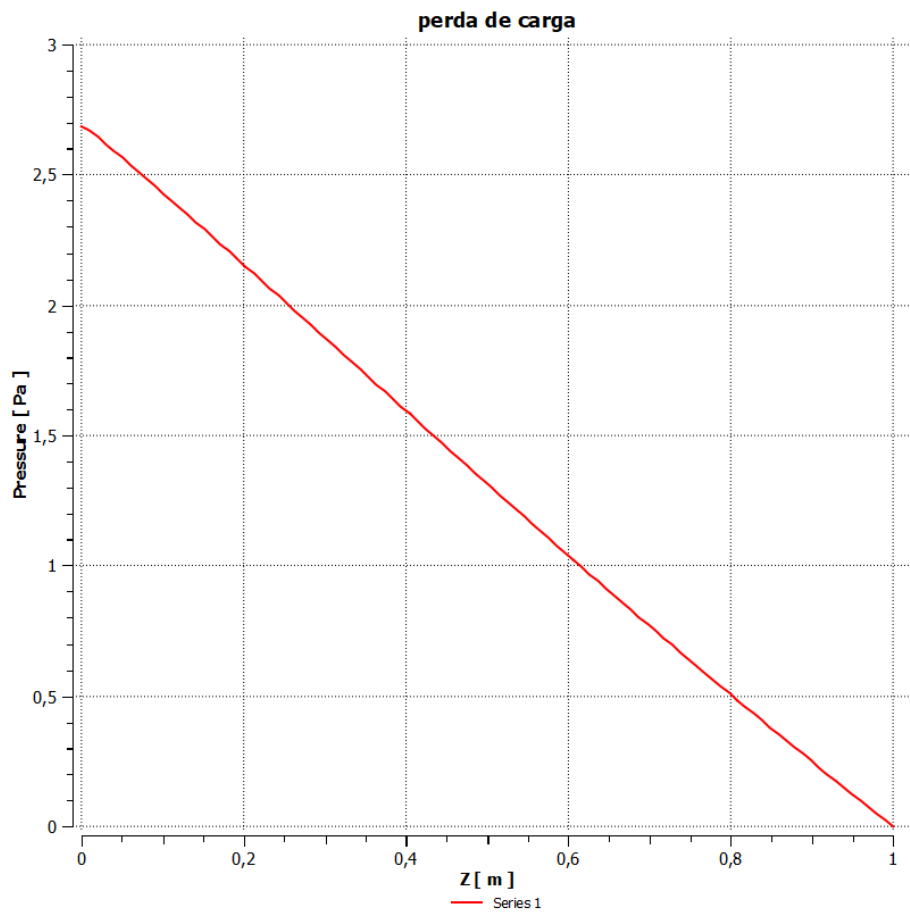


Figura 1: Perda de carga Laminar

Tabela 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 do escoamento.

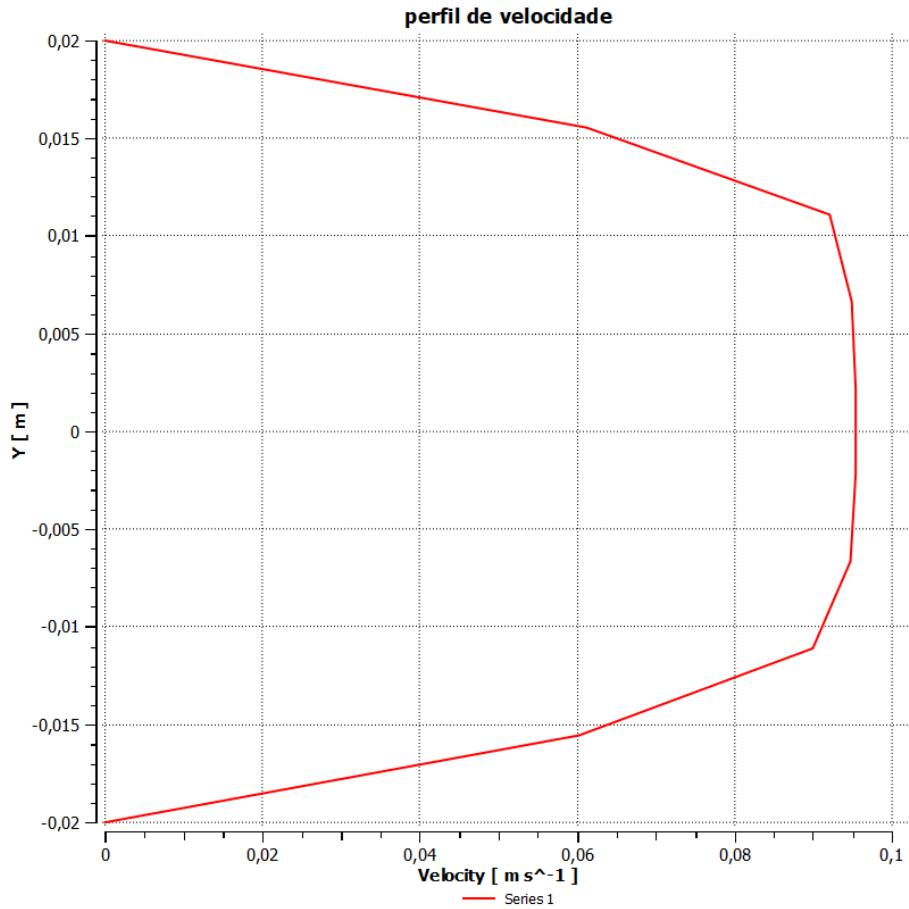


Figura 2: Perfil de velocidade Laminar

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

Todavia, a Figura 2 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 é característico do escoamento laminar.

## 2.2 Análise Paramétrica

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.

Tabela 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 da equação 6, 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, visto que o modelo laminar não é capaz de prover análise qualitativa e quantitativa do escoamento em transição.

### 2.3 Análise Turbulenta

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 no modelo de turbulência K-epsilon. 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.



Figura 3: Gradiente de pressão regime turbulento

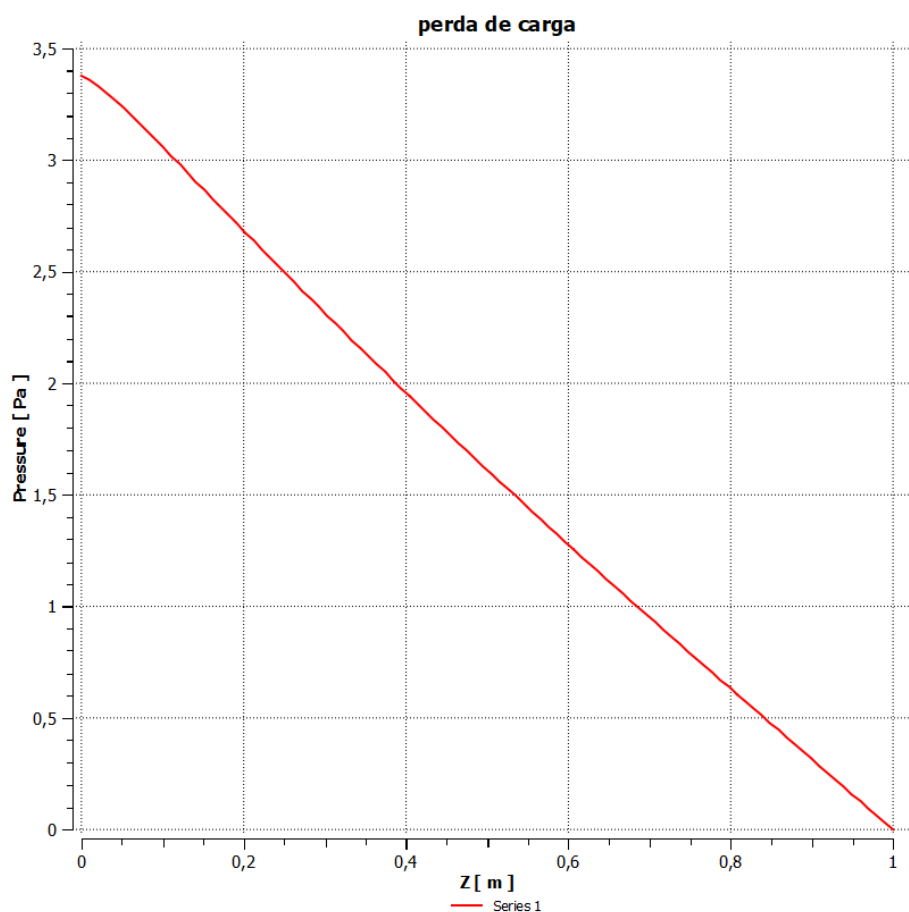


Figura 4: Perda de carga Tubulento



Figura 5: Gradiente de velocidade turbulento

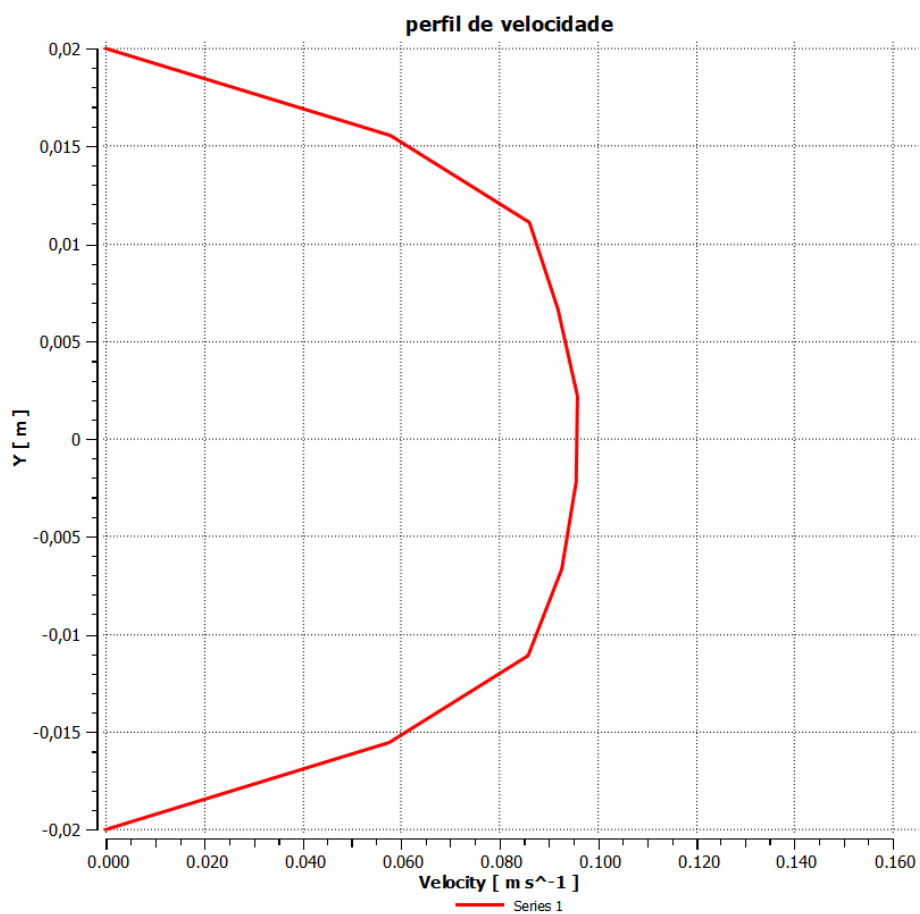


Figura 6: Perfil de velocidade Tubulento



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. O gradiente de velocidade, mostra que o escoamento se desenvolve antes da metade do comprimento do duto, 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 turbulência atende melhor as análises para escoamentos em transição  $Re > 2300$ .

### 3 Considerações Finais

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.

## Referências

- [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.