



# Comparação entre o resultado de diferentes métodos para análise de problemas de dinâmica dos fluidos

## Comparison between the results of different methods for analyzing fluid dynamics problems

Autor: Pedro Vicente Cornacini; Orientador: Marcos Antonio de Souza Lourenço

### RESUMO

Neste estudo foram realizadas simulações numéricas de escoamentos de fluidos comparando aplicações comerciais e de código livre. Primeiramente, são comparados os resultados determinados a partir de dois softwares de dinâmica dos fluidos computacional (CFD): o Fluent® e o OpenFOAM®. Para a comparação entre os dois softwares foi modelado o problema de cavidade quadrada com tampa deslizante. Na segunda parte deste trabalho foi simulado o escoamento em um ventilador axial com pescador no Fluent® no qual foram determinados os dados da variação de pressão e vazão, cujos resultados foram comparados com dados da literatura.

**Palavras-chave:** dinâmica dos fluidos computacional; Ansys; OpenFoam

### ABSTRACT

In this study, numerical simulations of fluid flows were performed comparing commercial and open-source applications. First, the results determined from two computational fluid dynamics (CFD) software are compared: Fluent® and OpenFOAM®. For the comparison between the two softwares, the square cavity problem with a sliding lid was modeled. In the second part of this work, the flow in an axial fan with fisherman in Fluent® was simulated, in which the data of pressure and flow variation were determined, whose results were compared with literature data.

**Keywords:** dinâmica dos fluidos computacional; Ansys; OpenFoam

## 1 INTRODUÇÃO

A dinâmica dos fluidos computacional teve sua origem a partir da combinação de duas disciplinas: a mecânica dos fluidos e o cálculo numérico. As equações que regem o movimento dos fluidos advêm da mecânica dos fluidos e podem ser resolvidas a partir de métodos numéricos.

O advento de CFD proporcionou ao homem uma grande evolução no entendimento da natureza, pois através dela, pode-se simular seus fenômenos com precisão aceitável e a um custo financeiro relativamente baixo, o que pode ser exemplificado através dos recentes avanços na área da aviação que, através de simulações computacionais, reduziu o seu custo de projeto, detectando erros antes da criação um protótipo físico, diminuindo assim o gasto e o tempo de um novo projeto.

Softwares de CFD não trabalham com soluções exatas para o problema, e sim, com a discretização destas, portanto, não apresentam uma resposta exata, mas sim uma aproximada, que esteja o mais próximo possível da solução exata. Recomenda-se, pelo mesmo motivo, que a malha da discretização seja o mais fina possível, mesmo que isso eleve o seu custo computacional, uma vez que o tamanho característico da malha está intimamente associado ao passo de tempo numérico. Sendo assim, recomenda-se a utilização da conhecida

técnica de análise de convergência de malhas, com a qual é possível determinar a malha mais adequada para o mínimo erro aceitável na simulação.

## 2 MÉTODO (OU PROCEDIMENTOS OPERACIONAIS DA PESQUISA)

### Modelo de turbulência

Existem dois tipos de escoamentos: turbulentos e laminares. No laminar, o fluido se move de forma suave e organizada sem que haja mistura macroscópica das camadas adjacentes do fluido, o mesmo não ocorre para escoamentos turbulentos, os quais são caracterizados por flutuações de velocidade, temperatura, entre outros escalares. No modelo turbulento, esses escalares flutuam de forma irregular e aparentemente aleatória (J. F. A. Souza).

As ordens de grandezas das variáveis envolvidas no fenômeno da turbulência são chamadas de escala de turbulência, sendo esta composta pelo tempo, velocidade, comprimento, vorticidade e energia. Em um escoamento turbulento, as menores escalas que podem ocorrer são chamadas de escalas dissipativas de Komolgorov (S. Neto, 2020).

### Discretização espacial

Para discretização espacial foi utilizado o método de volumes finitos (FVM1) juntamente com diferenças centradas para os termos difusivos. Este método apresenta a forma integral das equações de conservação como ponto de partida, sendo que o domínio contínuo da solução é discretizado em um número finito de volumes de controle.

As equações de balanço, geralmente equações diferenciais parciais (PDE) são aplicadas para cada volume de controle. Para isso, geralmente são utilizadas funções lineares para a interpolação das variáveis no volume, sendo que as coordenadas para um dado volume de controle na malha, podem ser independentes do sistema fixo de coordenadas global. Além disso, o FMV é inerentemente conservativo, uma vez que é construído a partir do balanço do fluxo em cada volume de controle para as diferentes quantidades envolvidas no escoamento.

Apesar de ser um método de implementação relativamente simples, pode acomodar praticamente qualquer tipo de malha com células ortogonais. Uma desvantagem do FMV está no fato de que métodos acima da segunda ordem são mais difíceis de se resolver em três dimensões por FMV do que por FDM2 (Osses, 2016). Além disso, para geometrias complexas, geralmente o FEM apresenta melhores resultados do que o FMV.

### Modelagem matemática

As equações de Navier-Stokes são resolvidas em todo o domínio de cálculo. Estas equações podem ser escritas na forma tensorial, como:

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + \frac{\partial (u_j u_i)}{\partial x_j} = \frac{-1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_j} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ v \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \right] + \frac{f_i}{\rho} \quad (1)$$

O escoamento simulado também deve respeitar a equação da conservação de massa, mostrada na sua forma tensorial como:

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0 \quad (2)$$

Onde as componentes  $u_j$ ,  $u_i$  são respectivamente as velocidades nos eixos  $x$  e  $y$ ,  $\partial_p$   $\partial_{x_j}$  é a variação do preção no eixo  $x$ ,  $\rho$  é a densidade do fluido estudado e  $F_i$  está relacionado com as forças de corpo.

### Modelo de transição SST

A modelagem de transporte do fluido foi feita através do modelo de transição SST, este modelo é baseado no acoplamento “K –  $\omega$ ” das equações de transporte SST com duas outras equações uma para intermitência e a outra para os critérios de início de transição (Ansys; Laugtry e Menter).

## 3 RESULTADOS

### Comparação OpenFoam e Ansys

Para o problema de cavidade quadrada com tampa deslizante foram utilizados como fluido a água e o óleo para que pudéssemos ter uma melhor visualização de suas fases após a mistura. Os Reynolds adotados para este problema foram de 8; 10 e 12.

Tabela 1-Propriedades Água e Óleo.

	Água	Óleo	Unidades de medida
Densidade	998,2	889	Kg/m <sup>3</sup>
viscosidade	124,775	111,125	Kg/m-s

Fonte: Ansys.

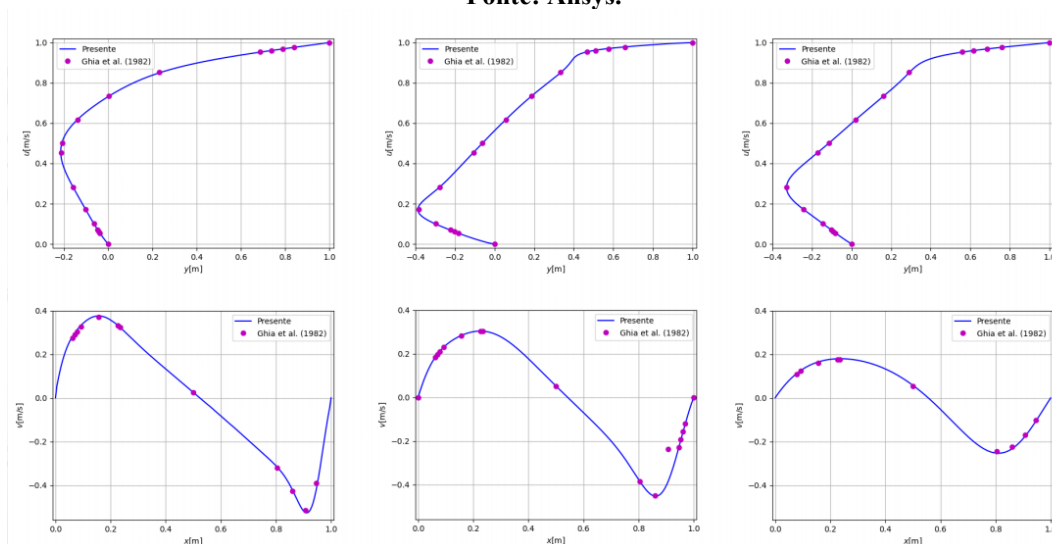


Figure 1 - Modelo Ansys comparação das velocidades (U) em (Y) e (V) em (X) do presente trabalho com Ghia et al. (1982).

fonte: autoria própria.

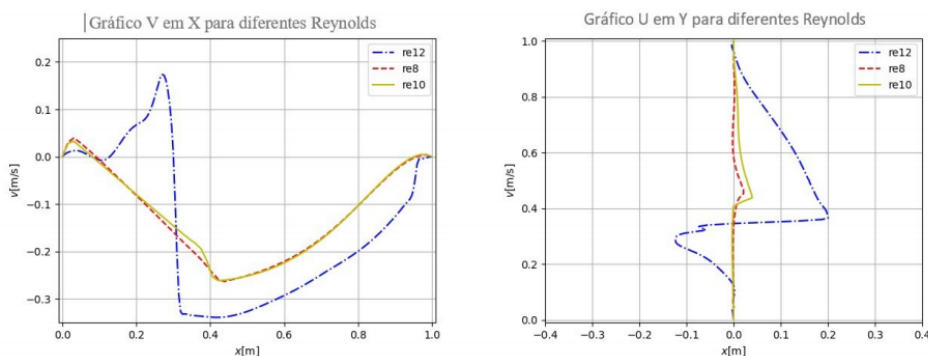


Figure 2 - modelo Ansys comparação das velocidades (U) em (Y) e (V) em (X) para diferentes Reynolds.

fonte: autoria própria.

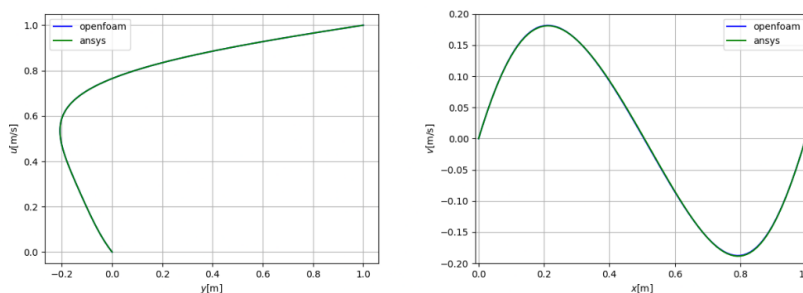


Figure 3 - comparativo dos gráficos obtidos através do Ansys e OpenFoam.

fonte: autoria própria.

Através da norma L2 pôde-se retirar a diferença entre os dados obtidos pelo Ansys Fluent e pelo software livre OpenFoam, estes apresentaram uma diferença na velocidade de 0,9562% no eixo x e de 0,0977% no eixo y.

### Problema ventilador axial

O problema consiste em um ventilador axial colocado em um pescador. Neste problema, foram analisados a vazão e a pressão aplicada pelo ventilador no escoamento, utilizando o ar como fluido.

Tabela 2-Dados do ventilador.

$D_e$	730	mm	Diâmetro externo
$D_i$	100	mm	Diâmetro interno
$\alpha_4$	90	°	Ângulo de entrada
$\beta_5$	15	°	Ângulo de saída
N	-1000	RPM	Rotação
$\rho$	1,20	$\text{Kg}/\text{m}^3$	Volume específico do ar

Fonte: Autoria própria.

Calculo da vazão e da pressão numericamente foi calculado através dos triângulos de velocidade.



**Tabela 3- Resultados obtidos numericamente.**

sigla	Valor numérico	Unidade de medida	
Q	2,2263	$m^3/s$	Vazão
$C_s$	58	%	Fator de correção
$Y_{pás}$	31,7243	J/Kg	Energia específica que as pás do rotor recebem do fluido
$W_{\infty}$	21,68	m/s	Velocidade relativa da corrente não perturbada
$Q_{CORRIGIDA}$	1,28	$m^3/s$	Vazão corrigida
$\Delta PT$	38,06	Pa	Pressão total

Fonte - Autoria própria.

Para a criação da malha foi utilizado um elemento de ordem quadrática, o tamanho da malha no pescador foi de 50 mm e no ventilador foi de 10 mm, o numero de nós totais foi de 786066 com 528634 elementos.

**Tabela 4- Dados obtidos no Ansys.**

sigla	Valor numérico	Unidade de medida	
$P_{saida}$	-32,01162	Pa	Pressão na saída do pescador
$P_{entrada}$	37,317278	Pa	Pressão na entrada do pescador
$Q_{entrada}$	1,4722161	$m^3/s$	Vazão na entrada do pescador
$Q_{saida}$	-1,4721756	$m^3/s$	Vazão na saída do pescador
$Q_{acumulada}$	$4,05 \cdot 10^{-5}$	$m^3/s$	Acumulo de massa

Fonte - Autoria própria.

## 4 CONCLUSÃO

Para a primeira parte do presente trabalho, foi modelado o problema de cavidade quadrada com tampa deslizante em dois softwares distintos, sendo um deles de código aberto OpenFoam® e o outro, uma aplicação comercial Ansys Fluent®. Em geral, as respostas obtidas através dos dois softwares se mostraram próximas, sendo verificada uma norma L2 de 0,9562% no eixo x e de 0,0977% no eixo y. Vale ressaltar que a validação dos métodos foi feita através de uma reprodução dos resultados obtidos em Ghia et al (1982). Após a etapa supracitada ter sido concluída, utilizou-se o software Ansys Fluent para analisar os valores de vazão e pressão em um ventilador axial. Como método de validação, os valores também foram calculados através dos triângulos de velocidade. A diferença obtida entre os métodos foi de 12,98% para a vazão e de 3,3% para a pressão. Observa-se uma proximidade da resposta obtida numericamente através método proposto, e da resposta obtida de forma discreta, validando o método e tornando possível sua utilização em problemas mais sofisticados, onde a obtenção da resposta exata se torna difícil ou até mesmo inviável.



## REFERÊNCIAS

- Catabriga, Lucia. **Um breve estudo sobre Dinâmica dos Fluidos Computacional**. UFES, 2020. Disponível em: <http://inf.ufes.br/~luciac/mn1/intro-cfd-pub.pdf>
- Ferziger, Joel H. **computational methods for fluid dynamics**. 1996
- Bortoli, Alvaro Luiz. **Introdução a Dinâmica de Fluidos Computacionais**. 2000
- Ricardo Custódio e Marcos Arnd. **O Método dos Elementos Finitos Aplicado na Análise de Vibrações Livres de Problemas Submetidos ao Estado Plano de Tensões**. 2017
- Juan Osses. **O método de volumes finitos**. 2016 disponível em: <https://www.esss.co/blog/o-metodo-de-volumes-finitos/>
- Ghia Et Al. **High-re solutions for incompressible flow using the Navier-Stokes equations and a Multgrid Method**. 1982
- Ansys. **Visão geral**. 2021 disponível em: <https://www.afs.enea.it/project/fluent/html/th/node73.htm>
- F. R. Menter, R. B. Langtry, S. R. Likki, Y. B. Suzen, P. G. Huang, and S. Volker. **A Correlation Based Transition Model Using Local Variables Part 1 - Model Formulation**. (ASME-GT2004-53452), 2004.
- ANSYS. **Controle de Malha–FACE MESHING e SIZING**.2021 disponível em: <https://ensur.com.br/ansys-controle-de-malha-face-meshing-e-sizing/>
- J. F. A. Souza, L. R. Oliveira, J. L. L. Azevedo, I. D. Soares and M. M. Mata. **Uma revisão sobre a turbulência e sua modelagem**. 2011.
- A. S. Neto. **Escoamentos Turbulentos - Análise Física e Modelagem Teórica**.2020.