

# SIMULAÇÃO NUMÉRICA DO ESCOAMENTO INCOMPRESSÍVEL TURBULENTO E ISOTÉRMICO NO INTERIOR DE UM TUBO RAMIFICADO UTILIZANDO OPENFOAM®

Lucas Dalla Maria<sup>1</sup>, Mateus Endler Rosa<sup>2</sup>

Universidade de Passo Fundo – UPF, Faculdade de Engenharia e Arquitetura – FEAR  
Curso de Engenharia Mecânica, Campus I – Passo Fundo – RS  
BR 285, Bairro São José – Passo Fundo/RS  
C.P. 611, CEP: 99052-900  
e-mail: 98098@upf.br<sup>1</sup>, 66146@upf.br<sup>2</sup>

**RESUMO:** O presente trabalho consiste em simular numericamente o escoamento incompressível turbulento e isotérmico de um fluido no interior de um tubo ramificado de seção quadrada. No presente trabalho, o *software Discretizer* foi utilizado para a discretização do domínio e manipulação de dados, o código computacional livre OpenFoam® para as simulações e o ParaView® para visualizar graficamente os resultados. Inicialmente foram apresentados o método de análise, as condições de contorno e os *softwares* usados. Em seguida, foram demonstradas as equações governantes e o método numérico; e finalmente, a análise e conclusões a cerca dos resultados, perfis de distribuição de velocidade, pressão e turbulência obtidos.

**PALAVRAS-CHAVE:** escoamento turbulento, fluidodinâmica computacional, simulação numérica.

**ABSTRACT:** This paper consists of simulating numerically the incompressible, turbulent and isothermal flow of a fluid inside a branched tube of square section. In this study, the software *Discretizer* was used for the domain discretization and data manipulation, the free computational code *OpenFoam*® for simulations and *ParaView*® to visualize graphically the results. Initially, the method of analysis, the boundary conditions and the softwares used were presented. Then, the governing equations and numerical method were demonstrated, and finally, the analysis and conclusions about the results, profiles of velocity distribution, pressure and turbulence obtained.

**KEYWORDS:** turbulent flow, computational fluid dynamics, numerical simulation.

## 1. INTRODUÇÃO

O problema escolhido consiste em simular numericamente um escoamento incompressível turbulento e isotérmico de um fluido no interior de um tubo ramificado de seção quadrada.

Neste trabalho, será apresentado inicialmente o método de análise juntamente com as condições de contorno e *softwares*. Na sequência, será apresentado o método numérico empregado, bem como as equações regentes do fenômeno. E, finalmente, os gradientes de velocidade e pressão obtidos, além da turbulência gerada, serão visualizados e analisados.

## 2. METODOLOGIA

Conforme OpenFoam (2010), a metodologia de resolução dos problemas de transferência de calor e mecânica dos fluidos computacional consiste na geração de malha e manipulação dos parâmetros (pré-processamento), para posterior solução numérica do problema através do modelo físico-matemático e das equações governantes (processamento). Depois de realizados os cálculos, parte-se para a visualização, interpretação e validação dos dados obtidos (pós-processamento).

A fase inicial consistiu na definição do domínio e geração da malha do perfil analisado utilizando o *Discretizer*. Já na fase de processamento foi empregado o OpenFoam®, e a visualização dos resultados obtidos foi feita com o ParaView®. Os três softwares utilizados apresentam código aberto e livre distribuição.

### 2.1 Geração da Malha e Condições de Contorno

Para a construção do perfil foram utilizados 13 hexaedros com dimensões variadas, conforme a Fig. (1), dispostos de maneira a formar a geometria desejada. O perfil construído possui apenas uma entrada de dimensões: 30mm x 10mm e 3 saídas de dimensões: 10mm x 10mm. Para solucionar o problema computacionalmente, transformou-se o domínio contínuo em um domínio discreto através da discretização em volumes finitos. A malha foi gerada com apenas 4 células em cada direção dos hexaedros, totalizando 832 volumes de controle, gerando resultados qualitativamente coerentes com a expectativa e permitindo a continuação da simulação.

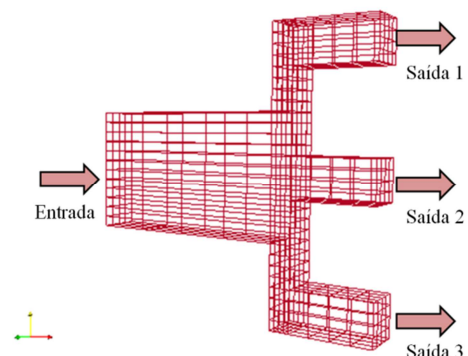


Figura 1. Blocos e células utilizadas, *Discretizer*

Concluída a construção da malha, atribuem-se as condições de contorno para o problema com o próprio

*Discretizer*. Neste estudo utilizaram-se as seguintes condições:

- O lado esquerdo foi adotado como entrada do fluido com uma velocidade de: 10m/s;
- As três faces do lado direito foram admitidas como saída e pressão: 0 Pa.

## 2.2 Modelo Numérico

Segundo Maliska (2004), a obtenção da solução numérica de qualquer problema físico requer, inicialmente, a habilidade da criação do modelo matemático correspondente. O modelo matemático deve ser tal que possa ser resolvido com tempos de computação não proibitivos e que os resultados obtidos representem adequadamente, isto é, dentro das exigências do analista, o fenômeno físico em consideração.

Como o escoamento estudado é turbulento, deve-se tratá-lo através da proposição de modelos de turbulência como fechamento das equações médias espaciais e temporais de Navier-Stokes, Eq. (1), denominadas RANS (*Reynolds Averaged Navier-Stokes Equations*).

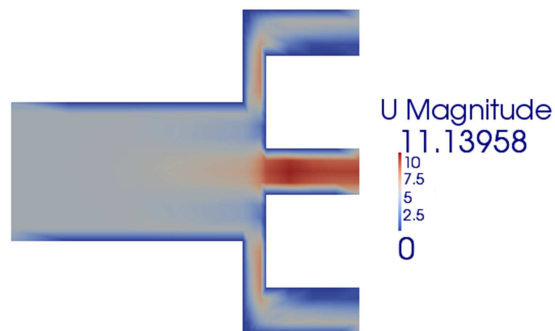
$$\frac{\partial}{\partial t} \rho U + \nabla(\rho U \times U) = H + \nabla \sigma \quad (1)$$

Em seguida, selecionou-se o *solver* (aplicativo) apropriado para resolver numericamente as equações de conservação da massa, da quantidade de movimento e da energia. Para os objetivos propostos, escolheu-se o *simpleFoam*, baseado no método SIMPLE (*Semi-Implicit Method for Pressure Linked Equations*), procedimento adotado para o delicado acoplamento entre a velocidade e a pressão (Minkowycz *et al.*, 2006).

## 3. RESULTADOS

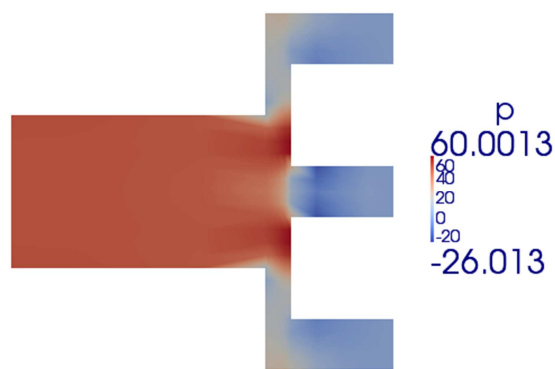
Como a quantidade de iterações define a qualidade do resultado obtido para a simulação e essa característica é definida pelo tempo de análise, intervalo de análise e intervalo de escrita do resultado, adotaram-se os seguintes tempos: 100s para o tempo total de análise, 0,1s para o intervalo de análise e 1s para o intervalo de escrita dos resultados.

Na Fig. 2 é apresentado o perfil de velocidades no escoamento para o domínio. É possível visualizar a ocorrência simultânea de campos de baixa velocidade (em azul) e alta velocidade (em vermelho), o que sugere turbulência na região de saída. Neste caso, a turbulência é resultado do efeito combinado da parede do perfil e da velocidade apresentada pelo fluido.



**Figura 2.** Campo de velocidade para o tempo de 100s, Paraview®

Já na Fig. 3 é exposto o campo característico de pressão, resultado do choque do fluido com as paredes do perfil.



**Figura 3.** Campo de pressão para o tempo de 100s, Paraview®

## 4. CONCLUSÃO

A simulação numérica demonstrou ser uma poderosa ferramenta na análise do problema físico apresentado neste trabalho. Com o código computacional livre OpenFoam® juntamente com o *Discretizer*, usado na geração de malha e manipulação de dados, e o visualizador gráfico, ParaView®, obteve-se resultados consistentes e claros, evidenciando a funcionalidade e expondo o grande potencial de aplicação.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Maliska, Clovis R. *Transferência de Calor Computacional e Mecânica dos Fluidos Computacional*. 2 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2004.
- Minkowycz, W. J. *et al.* *Handbook of Numerical Heat Transfer*. 2 ed. Honoken, EUA: John Wiley e Sons Inc, 2006.
- OpenFoam, 2010. *User Guide, OpenFoam, The Open Source CFD Toolbox*. USA, 2010.

## DECLARAÇÃO DE RESPONSABILIDADE

O autor Lucas Dalla Maria e o coautor Mateus Endler Rosa são os únicos responsáveis pelo material impresso contido neste artigo.