

Análise Numérica de Escoamento Turbulento de Jatos Opostos Não Confinados

Numerical Analysis of Turbulent Flow not Confined of Opposed Jets

RESUMO

Thays Rolim Mendes de Oliveira
thaysrolimm@gmail.com
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Apucarana, Paraná, Brasil

Gisely Luzia Ströher
gisely@utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Apucarana, Paraná, Brasil

Gylles Ricardo Ströher
gylles@utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Apucarana, Paraná, Brasil

O presente trabalho apresenta um breve estudo teórico do escoamento turbulento de jatos opostos não confinados realizado por meio de simulações numéricas. Foram empregados para a simulação os modelos de turbulência $k - \epsilon$ *Standart*, $k - \epsilon$ *Realizable* e $v^2 - f$. Os resultados obtidos pela simulação foram comparados com dados experimentais de velocidade axial disponíveis na literatura, com objetivo de comparar o desempenho dos três modelos na simulação deste tipo de problema. Concluiu-se que o modelo $v^2 - f$ proveu boa concordância com os dados experimentais, enquanto os modelos $k - \epsilon$ *Standart*, $k - \epsilon$ *Realizable* não apresentaram boa concordância, o que pode ser justificado provavelmente pelo fato de as malhas utilizadas não terem um grau de refinamento necessário.

PALAVRAS-CHAVE: Jatos opostos. Análise numérica. Modelos de turbulência.

Recebido: 19 ago. 2019.

Aprovado: 01 out. 2019.

Direito autoral: Este trabalho está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.



ABSTRACT

This work presents a numerical simulation of the turbulent flow of unconfined opposing jets. $k - \epsilon$ *Standart*, $k - \epsilon$ *Realizable* and $v^2 - f$ turbulence models were used for simulation. The results obtained by the simulation were compared with experimental axial speed data available in the literature, in order to compare the performance of the three models in the simulation of this problem. The $v^2 - f$ model has been found to be more accurate for the case study.

KEYWORDS: Opposed jets. Numerical analysis. Turbulence models.

INTRODUÇÃO

Os jatos opostos são compostos por dois jatos posicionados em um mesmo eixo com sentidos opostos, ao se chocar esses jatos produzem uma região de impacto com elevada turbulência e concentração de partículas. W. Li et al. (2008, p. 285) afirmam que essa turbulência é causada pela ação das forças normais, ocasionando efeitos de curvatura.

O escoamento de jatos oposto é uma técnica amplamente usada em processos industriais, podendo -se destacar a aplicação em secagem de partículas sólidas (Hosseinipour e Mujumdar, 1997) e combustão (Stein et al., 2010). Stein et al. (2010, p.1) ainda afirma que a combustão depende fortemente da turbulência gerada, ressaltando a importância de estudos sobre a turbulência em jatos opostos.

Como afirmam W. Li et al. (2008, p. 285) a dificuldade em realizar experimentos faz com que a simulação numérica se torne importante no estudo de jatos opostos, visto que a dinâmica dos fluidos computacional apresenta rápido desempenho. Nesse âmbito, o presente trabalho objetiva comparar o desempenho do modelo $k-\varepsilon$ *Realizable*, $k-\varepsilon$ *Standart* e v^2-f para a simulação do escoamento de dois jatos opostos.

SIMULAÇÃO NUMÉRICA

As simulações apresentadas no presente trabalho foram realizadas utilizando um notebook com as seguintes configurações: Processador Core i7 2.8 GHz, memória RAM de 8 GB e sistema operacional *Windows 10* - 64 bits. Além disso, foram realizadas empregando o software comercial ANSYS Fluent.

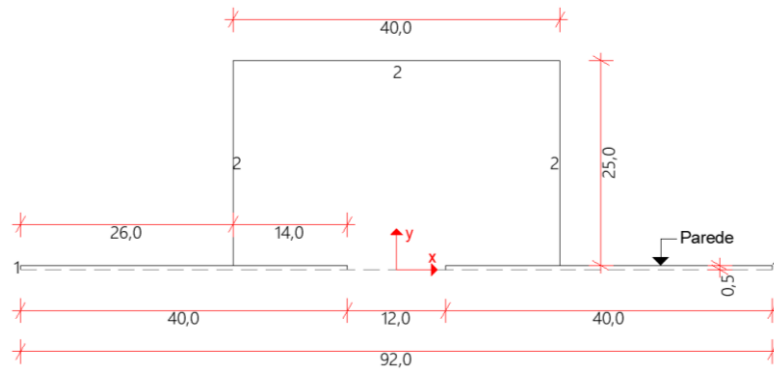
Foram empregados os modelos de turbulência $k-\varepsilon$ *Standart* baseado em Launder e Apalding (1974), $k-\varepsilon$ *Realizable* baseado em Shih et al. (1995) e v^2-f baseado em Durbin (1995) para a simulação do problema. Devido à limitação de páginas as equações dos modelos foram omitidas do presente trabalho.

GEOMETRIA DO PROBLEMA

A escolha do problema se baseou na disponibilidade de dados experimentais na literatura. Desta forma, a geometria foi gerada com o intuito de comparar os resultados com os dados experimentais dispostos em Li et al. (2016).

Considerou-se dois tubos com diâmetro interno $d=10$ mm distantes entre si $L=120$ mm. A Figura 1 apresenta uma visão simplificada da geometria do problema, as medidas apresentam-se em centímetros.

Figura 1 – Geometria do problema.

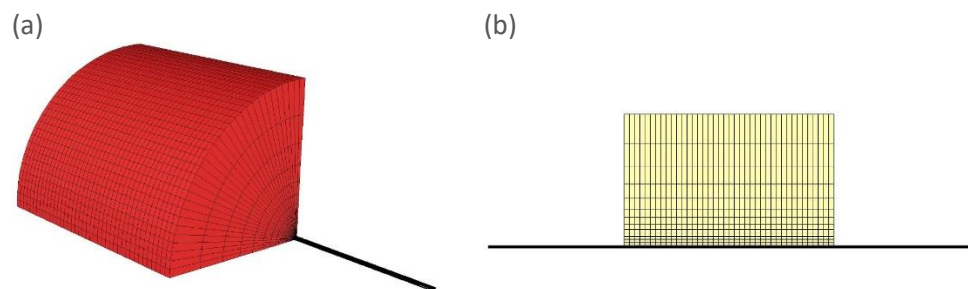


Fonte: Autores (2019).

Optou-se pela modelagem de apenas $\frac{1}{4}$ da geometria devido à simetria do problema, a linha tracejada representa o eixo de simetria do domínio computacional.

Gerou-se malhas com 3 níveis de refinamento, 71.552, 146.080 e 300.846 elementos. Essas malhas foram criadas de forma a manter um refinamento sistemático, ou seja, que o refinamento ocorresse de forma uniforme em toda a geometria. Isso foi feito para evitar alterações no resultado da simulação decorrentes de uma variação não uniforme no refinamento. A Figura 2 demonstra a estrutura da malha em uma vista isométrica e uma vista do plano xy.

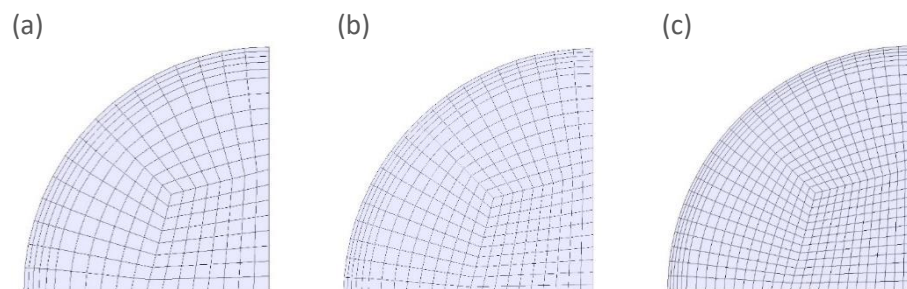
Figura 2 – Malha (a) vista isométrica e (b) vista plano xy



Fonte: Autores (2019).

Para exemplificar a modificação no refinamento a Figura 3 apresenta uma vista da malha na região do tubo. Nela observa-se a semelhança conservada entre os três refinamentos adotados.

Figura 3 – Refinamento da malha na região do tubo (a) 71.552, (b) 146.080 e (c) 300.846 elementos



Fonte: Autores (2019).

CONDIÇÕES DE CONTORNO

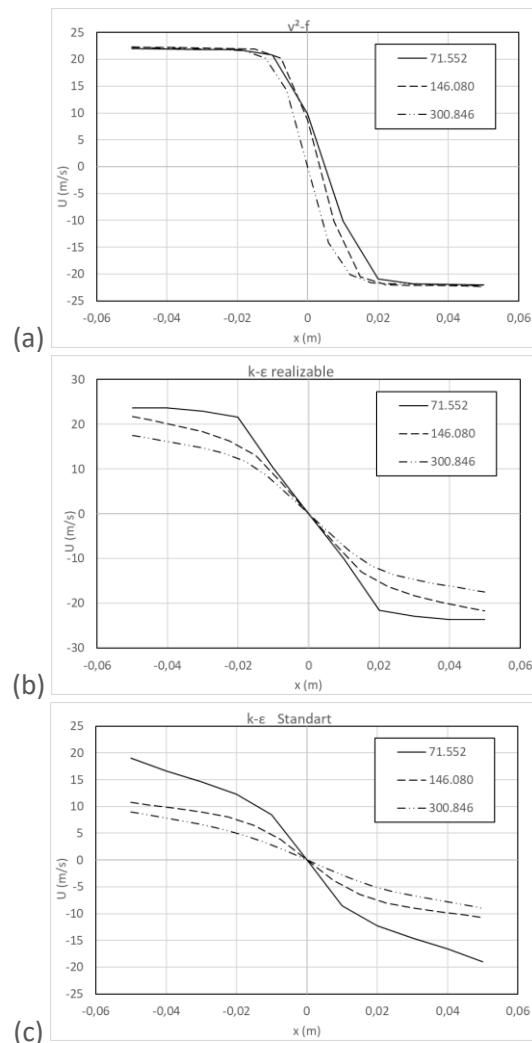
Como o disposto em Li et al. (2016) adotou-se número de Reynolds ($Re=14500$), considerou-se ainda uma velocidade uniforme de entrada no tubo de $21,9 \text{ m s}^{-1}$ e massa específica do fluido $\rho_f = 1,203 \text{ kg m}^{-3}$.

Como condições de contorno usou-se velocidade axial constante de $21,9 \text{ m/s}$ na entrada do tubo, referência 1 na Figura 1, pressão total uniforme $p_{total} = p_{ambiente}$ nas extremidades do recipiente, referência 2 na Figura 1.

RESULTADOS

Inicialmente comparou-se os valores da componente axial da velocidade, para uma linha localizada no centro do tubo, Figura 4, para malha de 71.552, 146.080 e 300.846 elementos, respectivamente.

Figura 4 – Componente axial da velocidade para (a) v^2 -f, (b) k - ϵ *Realizable* e (c) k - ϵ *Standart*



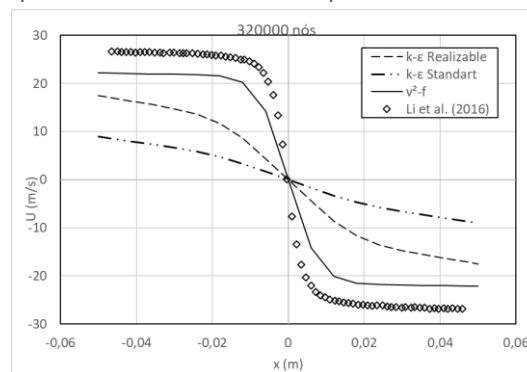
Fonte: Autores (2019).

A Fig. 4 sugere que para os casos utilizando os modelos de turbulência do tipo k - ϵ uma solução independente da malha ainda foi atingida, indicando a

necessidade de um melhor refinamento da malha, entretanto, para o modelo de turbulência $v^2 - f$ os perfis de velocidade estão semelhantes. Foi calculado o GCI (Índice de Convergência da Malha) descrito por Roache (1998), este método pode ser aplicado para quantificar a incerteza relativa à malha numérica. A partir da análise dos perfis de velocidade, verificou-se uma variação maior que a desejável entre as malhas intermediária e refinada, com valores de GCI médio de 18% 5.6% e 1.29% para os resultados obtidos com os modelos $k-\epsilon$ *Standart*, $k-\epsilon$ *Realizable* e o v^2-f , respectivamente, indicando que para os dois primeiros modelos um grau de refinamento adequado ainda não foi atingido.

A Figura 5 apresenta uma comparação dos resultados dos três modelos com os dados experimentais para a malha com maior número de elementos. Pode-se observar que o modelo v^2-f provêu uma melhor concordância com o resultado experimental, sendo que os modelos $k-\epsilon$ *Realizable* e $k-\epsilon$ *Standart* não apresentam uma aproximação satisfatória, vale ressaltar, como comentado anteriormente, que para estes dois modelos de turbulência a malha utilizada não apresenta refinamento adequado.

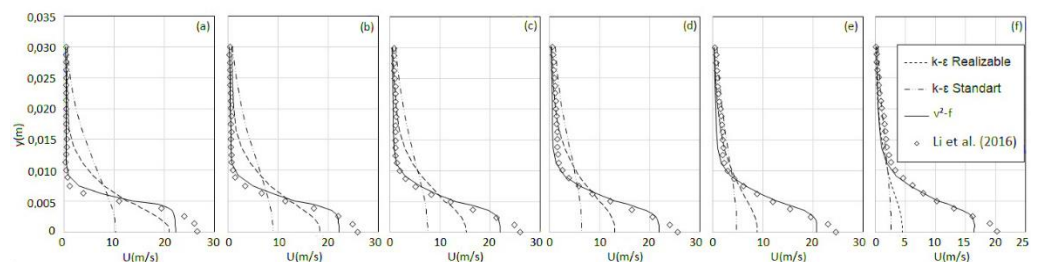
Figura 5 – Componente axial da velocidade para malha com 320.000 nós



Fonte: Autores (2019).

A Figura 6 compara a previsão dos três modelos para linhas ortogonais a linha central do tubo, na posição $x=-4,5$ cm, $x=-3$ cm, $x=-2$ cm, $x=-1,5$ cm, $x=-1$ cm e $x=-0,5$ cm. Novamente observa-se que o modelo $v^2 - f$ é o que provê uma melhor concordância com os dados experimentais. Sendo que o $k-\epsilon$ *Realizable* apresenta uma boa aproximação para a linha na posição $x=-4,5$ cm e à medida que a linha se aproxima do ponto central de impacto entre os jatos os valores passam a divergir do resultado experimental. Quanto ao modelo $k-\epsilon$ *Standart*, seus resultados não se aproximam dos valores experimentais em nenhum dos casos, tendo a velocidade abaixo da esperada em todos os casos.

Figura 6 – Componente axial da velocidade para malha com 160.000 nós para (a) $x=-4,5$ cm, (b) $x=-3$ cm, (c) $x=-2$ cm, (d) $x=-1,5$ cm, (e) $x=-1$ cm e (f) $x=-0,5$ cm.



Fonte: Autores (2019).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Três modelos de turbulência $k-\epsilon$ *Realizable*, $k-\epsilon$ *Standard* e v^2-f foram utilizados para a simulação numérica do escoamento turbulento de jatos opostos não confinados. Na comparação com dados experimentais disponíveis em Li et al. (2016) verificou-se que o modelo v^2-f proveu boa concordância com os perfis de velocidade experimentais. Quanto aos modelos $k-\epsilon$ *Realizable*, $k-\epsilon$ *Standard* os resultados indicam que as malhas utilizadas não atingiram um grau de refinamento adequado, fato que limitou uma avaliação a respeito dos mesmos.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação Araucária pelo suporte financeiro.

REFERÊNCIAS

- DURBIN P. A. **Separated Flow Computations with the k-epsilon-v2 Model**. AIAA Journal. v.33, p. 659-664, 1995.
- HOSSEINALIPOUR S.M.; MUJUMDAR A.S. Flow, heat transfer and particle drying characteristics in confined opposing turbulence jets: a numerical study, Dry. Technol. v. 13 p. 753–781, 1995.
- LAUNDER, B.E.; SPALDING, D.B. The numerical computation of turbulence flows. Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, v. 3, p. 269-289,1974.
- LI, J.; WANG, H.; XIONG, Y.; JIANG, G.; LIU, Z.; ZHENG, C. Experimental - investigation on turbulence modification in a dilute gas-particle axisymmetric opposed jets flow. Chemical Engineering Journal, v. 286, p. 76-90, 2016.
- LI, W.; ZHANGANG, S.; HAIFENG, L.; FUCHEN, W.; ZUNHONG, Y. Experimental and numerical study on stagnation point offset of turbulence opposed jets. Chemical Engineering Journal v. 138, p. 283-294, 2008.
- SHIH, T.-H.; LIOU, W. W.; SHABBIR, A.; YANG, Z.; ZHU, J. A new $k - \epsilon$ eddy-viscosity model for high Reynolds number turbulent flows - Model Development and Validation. Computers Fluids, v.24, n.3, p.227-238, 1995.
- STEIN, O.T.; BÖHM, B.; DREIZLER, A.; KEMPF, A.M. Highly-resolved LES and PIV Analysis of Isothermal Turbulent Opposed Jets for Combustion Applications. Flow Turbulence Combust, v.87, p.425-447, 2011.
- ROACHE, P. J. Verification and Validation in Computational Science and Engineering. Hermosa Publishers, Albuquerque, 1998.