

INFLUÊNCIA DA POROSIDADE E DA PERMEABILIDADE EM CANAL CONTENDO ALETAS SÓLIDAS E POROSAS NO ESCOAMENTO EM REGIME LAMINAR

Anna Carolina Lima de Oliveira¹, Luzia Aparecida Tofaneli¹

¹Faculdade de Tecnologia SENAI Cimatec

E-mails: carolinaoliveira.ba@gmail.com, luzia.tofaneli@fieb.org.br

RESUMO

O estudo em meios porosos é de interesse em várias áreas da ciência e engenharia tais como, hidrologia, sismologia, reservatórios de petróleo, reatores químicos, resfriamento de componentes eletrônicos, etc. Neste trabalho são apresentadas soluções numéricas para o escoamento laminar em um canal aletado com material sólido e poroso, para um escoamento de fluido monofásico em regime permanente, no qual a região porosa é modelada como sendo rígida, homogênea e isotrópica. Foram realizadas simulações utilizando o programa de CFD (Computational Fluid Dynamics) CFX da ANSYS versão 12. São apresentados resultados para o campo de velocidade em função do número de Reynolds e da porosidade das aletas porosas.

1. INTRODUÇÃO

Em função da ampla aplicação envolvendo o escoamento de fluidos em canal contendo obstáculo poroso, em diversos setores da indústria e da ciência, observou-se, nas últimas décadas, um crescente interesse de vários pesquisadores em simular este tipo de escoamento. Sistemas de engenharia aplicados à prospecção de petróleo, dispositivos de filtragem, escoamento sobre florestas e plantações e resfriamento de componentes eletrônicos são alguns exemplos de escoamentos nos quais a fase líquida permeia através de uma estrutura porosa.

Entende-se por meio poroso uma matriz sólida, rígida ou deformável, contendo poros que, interconectados, permitem o escoamento de um ou mais fluidos através do meio. A facilidade deste escoamento é determinada pela permeabilidade da estrutura porosa. Existem meios porosos naturais e artificiais. Os naturais normalmente apresentam poros com formas e distribuição irregulares, como por exemplo, o pulmão humano, a madeira entre outros. Já os meios porosos artificiais variam conforme o interesse da sua aplicação.

Para escoamento de fluidos em canal contendo aletas sólidas e porosas, há várias aplicações tecnológicas, como por exemplo, podemos mencionar os trocadores de calor (Figura 1) onde o uso de aletas melhora a troca entre o fluido primário e o secundário, aumentando a eficiência térmica do equipamento.

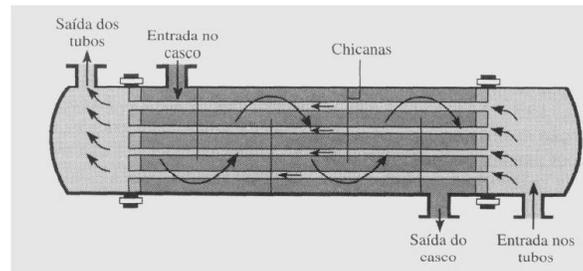


Figura 1 - Trocador de Calor com aletas sólidas e porosas.
 Fonte: Livro Fundamentos de Transferência de calor e massa, Incropera (2002).

1.1 Revisão Bibliográfica

O estudo de escoamentos em meios porosos pode ter o seu início atribuído aos trabalhos pioneiros de [1], que através de um aparato experimental sugeriu uma relação linear entre a perda de carga (gradiente de pressão) e a velocidade superficial do escoamento. Esta relação é mais conhecida na literatura como “Lei de Darcy” e pode ser expressa por:

$$\nabla \langle p \rangle^i = -\frac{\mu}{K} \mathbf{u}_D + \rho \mathbf{g} \quad (1)$$

onde $\langle p \rangle^i$ é a média intrínseca da pressão no fluido, ρ é a densidade do fluido, \mathbf{g} a aceleração da gravidade, μ a viscosidade dinâmica do fluido, K a permeabilidade do meio poroso e \mathbf{u}_D a velocidade de Darcy ou superficial.

Em [2] observou que esta relação linear entre a perda de carga e a velocidade superficial (ou de Darcy) era válida apenas para escoamentos com baixa velocidade de Darcy, propondo então uma relação quadrática entre a perda de carga e a velocidade superficial. Esta relação pode ser expressa como [3]:

$$\nabla \langle p \rangle^i = -\frac{\mu}{K} \mathbf{u}_D - \frac{c_F \rho |\mathbf{u}_D| \mathbf{u}_D}{\sqrt{K}} + \rho \mathbf{g} \quad (2)$$

onde c_F é o coeficiente de Forchheimer. A Eq.(2) é conhecida como ‘modelo estendido de Darcy-Forchheimer’.

Em [4] propôs a inclusão do Laplaciano da velocidade de Darcy juntamente com uma viscosidade efetiva, μ_{ef} denominado termo de Brinkman. O modelo estendido de Darcy-Forchheimer incluindo o termo de Brinkman fica então:

$$\nabla \langle p \rangle^i = \mu_{ef} \nabla^2 \mathbf{u}_D + \rho \mathbf{g} - \frac{\mu}{K} \mathbf{u}_D - \frac{c_F \rho |\mathbf{u}_D| \mathbf{u}_D}{\sqrt{K}} \quad (3)$$

Os modelos acima mencionados têm suas origens muito mais ligadas à experimentação do que a um formalismo matemático.

Com o desenvolvimento de técnicas matemáticas mais sofisticadas, como por exemplo, os Teoremas da Média Volumétrica Local (TMVL) de acordo com [5] e [6] foi possível um maior

rigor na obtenção de equações macroscópicas que descrevem os fenômenos que ocorrem em escoamentos em meios porosos.

Para escoamento em canal contendo obstrução porosa, existem trabalhos experimentais como de [7] onde ele apresenta resultados para canais contendo aletas sólidas e porosas, e também são encontrados na literatura trabalhos apresentando resultados numéricos como o de [8]. Em [9] o escoamento em canal contendo obstrução porosa foi investigado para escoamento laminar e turbulento levando-se em consideração os efeitos da porosidade, permeabilidade e o efeito do número de Reynolds.

O objetivo deste trabalho é investigar a influência da porosidade e da permeabilidade em um canal aletado para escoamento em regime laminar, utilizando o software comercial ANSYS CFX, versão 12, que utiliza técnicas numéricas da dinâmica dos fluidos computacional.

2. METODOLOGIA

O método de simulação numérica aplicado às áreas de mecânica dos fluidos e transferência de calor, conhecido como CFD (Computational Fluid Dynamics), é atualmente uma ferramenta muito utilizada para a solução de problemas, pois facilita a análise de condições de escoamento, eliminando gastos com protótipos, tendo resultados precisos devido ao avanço tecnológico. Aqui foi escolhido o ANSYS CFX versão 12, que utiliza o método de volumes finitos. Esse método tem como objetivo resolver através de discretizações as equações de Navier-Stokes (equações diferenciais que descrevem o comportamento de fluidos num escoamento). O uso da metodologia CFD seguiu da seguinte forma: desenho da geometria; confecção da malha; pré-processamento, processamento e pós-processamento.

A Figura (2) ilustra a malha da geometria analisada que foi gerada em ferramenta CAD (Computer Aided Designs). A geometria consiste em um canal com uma aleta porosa e para o caso de aleta sólida simulamos com porosidade igual a zero. A quantidade de elementos da malha é definida de acordo com o grau de precisão que se quer obter.

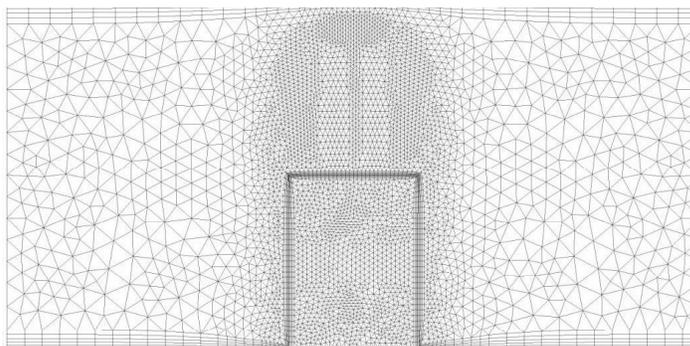


Figura 2 - Geometria analisada: canal aletado em uma das placas com uma aleta.

Após a confecção da malha, definiram-se as condições de contorno mostradas na Figura (3). Como supõe-se que o canal é longo, adotou-se a condição de periodicidade tendo como extremos na malha a superfície de periodicidade 1 e superfície de periodicidade 2. A superfície de simetria é a definição de simetria do canal, fazendo com que a malha possa ser repetida na direção y. A especificação de parede significa que a velocidade rente a esta superfície é zero.

São estabelecidas também as condições iniciais do fluido, como o valor inicial de temperatura, pressão e velocidade e se esses valores são constantes ou variam com o tempo.

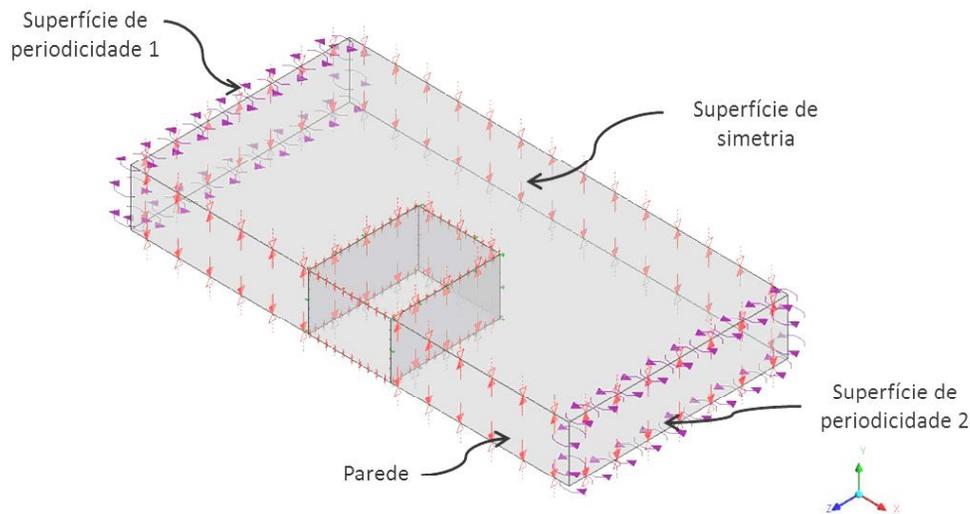


Figura 3 - Condições de Contorno.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A equação de transporte foi resolvida numericamente para que as equações fossem reduzidas a um valor menor que 10^{-4} , independente da variável considerada.

O número de Reynolds utilizado é baseado pela altura do canal (H), que é dado por: $Re_H = \frac{\rho u 2H}{\mu}$ onde, $\rho = 1,23 \text{ kg/m}^3$, $\mu = 1,79 \times 10^{-5} \text{ Ns/m}^2$, o fluido utilizado no canal é o ar.

A permeabilidade do meio poroso foi estimada respeitando-se a correlação proposta por [10] para meio poroso, da forma: $K = \left[\frac{\phi^3}{144(1-\phi)^2} \right] \cdot D_p^2$, onde K é a permeabilidade, ϕ a porosidade e D_p é o diâmetro da partícula. A correlação assume que a estrutura permeável é formada por pequenas hastes cilíndricas de diâmetro D_p , onde D_p é muito menor que as dimensões da geometria analisada.

Para a geometria da Figura (2), foram analisados os efeitos do número de Reynolds, Re_H e os efeitos da porosidade. Os números de Reynolds utilizados foram: $Re_H = 100$, $Re_H = 400$ e $Re_H = 800$, que foram baseados pela altura do canal e para a porosidade ϕ , foram utilizados: 0; 0,7; 0,8; 0,9, sendo 0 referente a aleta sólida.

De acordo com a Figura (4), nota-se que para um material com maior porosidade, a vazão mássica através deste meio é aumentada, reduzindo, portanto, a quantidade de fluido que atravessa a região limpa.

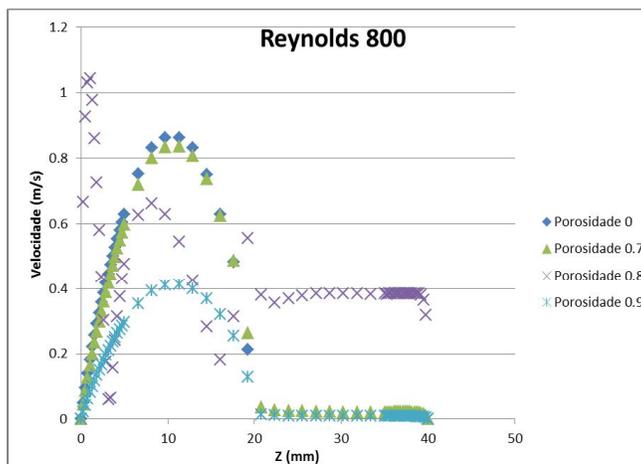
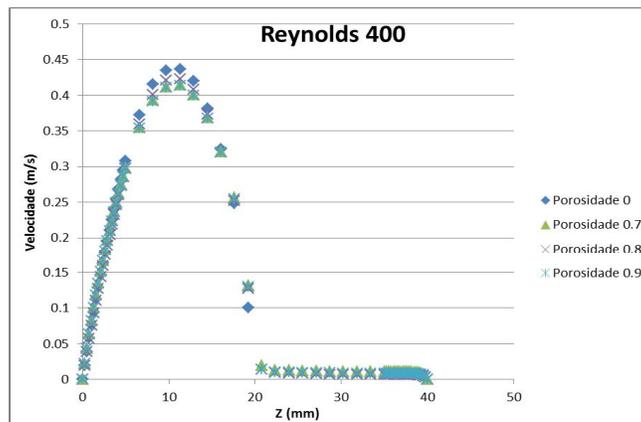
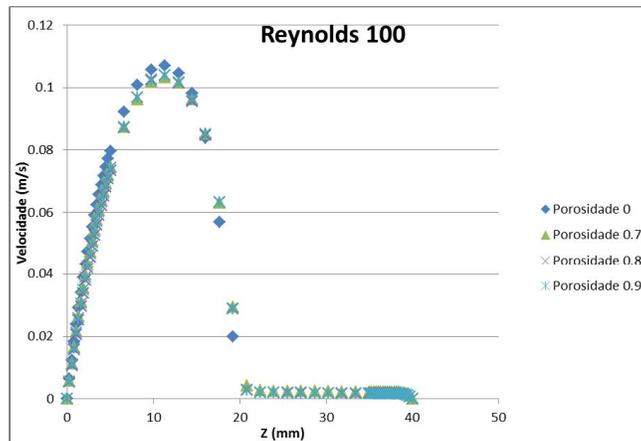


Figura 4 - Gráficos de Velocidade X Posição no eixo Z para análise da influência da porosidade.

Na Figura (5), nota-se também que para baixos números de Reynolds ocorrem uma pequena recirculação devido ao obstáculo poroso. Ainda, vários perfis de velocidade mostram que com o aumento do número de Reynolds há um aumento na vazão mássica global.

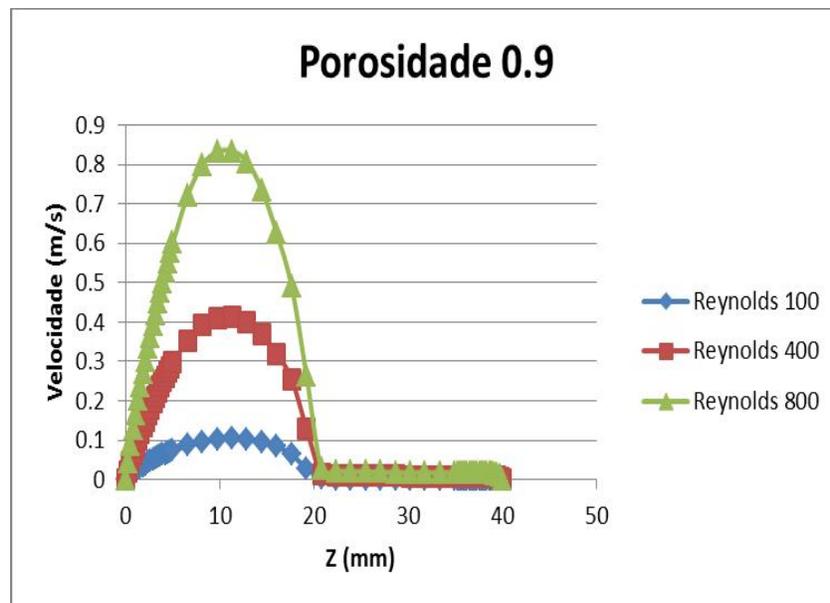


Figura 5 - Gráfico da influência do número de Reynolds no escoamento.

4. CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou resultados para a solução numérica do escoamento em um canal contendo aletas sólidas e porosas. Foram considerados os efeitos da permeabilidade e da porosidade do material das aletas. Conforme esperado, para aletas mais porosas e mais permeáveis observou-se o aumento da vazão mássica através do material poroso. A vantagem tecnológica na aplicação dos resultados aqui apresentados consiste na obtenção de um sistema aletado que apresente uma menor perda de carga para uma mesma vazão mássica. A utilização de materiais permeáveis pode contribuir para este fim. Possivelmente, tais sistemas podem manter ou até mesmo reduzir a perda de carga através de todo o canal para uma mesma carga térmica transferida. Em última análise, é neste aspecto que o presente trabalho apresenta potencial para aplicações futuras.

REFERÊNCIAS

- ¹Darcy, H., “Les Fontaines Publiques de la Vile de Dijon”, Victor Dalmond, Paris, 1856.
- ²Forchheimer, P., Wasserbewegung durch Boden, Z. Ver. Deutsch. Ing., vol. 45, pp. 1782-1788, 1901.
- ³Ward, J. C., “Turbulent flow in porous media”, J. Hydraul. Div. ASCE, vol. 90 (HY5), pp. 1-12, 1964.
- ⁴Brinkman, H. C., “A calculation of the viscous force exerted by a flowing fluid on a dense swarm of particles”, Appl. Sci. Research, A 1, pp. 27-34, 1947.
- ⁵Whitaker, S., “Advances in theory of fluid motion in porous media”, Indust. Eng. Chem., Vol.61, pp.14 – 28, 1969.

⁶Gray, W. G., Lee, P. C. Y., "On the theorems for local volume averaging of multiphase system", International Journal Multiphase Flow, vol. 3, pp. 333-340, 1977.

⁷Hwang, J.J., "Turbulent heat transfer and fluid flow in a porous-baffled channel", Journal of Thermophysics and Heat Transfer, vol.11, 1997.

⁸Yang, Y.-T., Hwang, C.-Z., "Calculation of Turbulent Flow and Heat Transfer in a Porous-Baffled Channel", International Journal of Heat Transfer, vol. 46, pp. 771-780, 2003.

⁹Tofaneli, L.A., "Escoamentos em canais contendo obstruções porosas", Dissertação de Mestrado, ITA, São José dos Campos, 2003.

¹⁰Kuwahara, F., Kameyama, Y., Yamashita, S., & Nakayama, A., "Numerical Modeling of Turbulent Flow in Porous Media Using a Spatially Periodic Array", Journal of Porous Media, vol. 1, pp. 47-55, 1998.