

Copyright 2004, Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás - IBP

Este Trabalho Técnico Científico foi preparado para apresentação no 3º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás, a ser realizado no período de 2 a 5 de outubro de 2005, em Salvador. Este Trabalho Técnico Científico foi selecionado e/ou revisado pela Comissão Científica, para apresentação no Evento. O conteúdo do Trabalho, como apresentado, não foi revisado pelo IBP. Os organizadores não irão traduzir ou corrigir os textos recebidos. O material conforme, apresentado, não necessariamente reflete as opiniões do Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás, Sócios e Representantes. É de conhecimento e aprovação do(s) autor(es) que este Trabalho será publicado nos Anais do 3º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás

Escoamento em Canais com Geometria no Formato de “L” e de “T” Usando Dinâmica dos Fluidos Computacional

Luigi Eugenio Paolucci¹, Admilson Teixeira Franco², Cezar O. R. Negrão³

¹ CEFET PR, Av. Sete de Setembro 3165, luigipaolucci@yahoo.com.br

^{2,3} CEFET PR, Av. Sete de Setembro 3165, admilson@cefetpr.br; negrao@cefetpr.br

Resumo – Nesse trabalho é apresentado um estudo preliminar do escoamento em canais na forma de L e de T. Para a geometria na forma de L, o fluido é alimentado verticalmente, contorna o canto vivo e desenvolve-se ao longo do canal até a saída. Para o canal em T, a geometria na parte superior é a mesma que para o canal em L, sendo que, ao final do canal, o escoamento retorna pela parte inferior, deixando o canal também na vertical. As equações de conservação da massa e quantidade de movimento são resolvidas para um número de Reynolds do escoamento igual a 100. O interesse é conhecer os perfis de velocidade, pressão ao longo da delgada folga do canal. As equações algébricas serão resolvidas numericamente usando-se o método de volumes finitos associado a uma abordagem de elementos finitos para a geração e solução da malha. A solução do sistema acoplado de equações será feita pelo programa de Dinâmica de Fluidos Computacional CFX 5.7TM.

Palavras-Chave: Escoamento em Canal, Escoamento Laminar; Dinâmica dos Fluidos Computacional

Abstract – This paper presents a preliminary study of fluid flow in channels. The channels are L and T shapes. For the L shape, the fluid is fed vertically flow through the corner and develop itself. For the T shape channel, the upper part of the geometry is exactly the same the previous one, however, at the outlet of the channel, the flow return by the lower part, leaving the channel on the vertical position. The conservation equations of mass, momentum are solved for a Reynolds number equal to 100. The aim is the evaluation of the velocity and pressure profiles along the channel. The discretized algebraic equations are solved by the finite volume method using the CFX 5.7TM computational code.

Keywords: Channel Flow, Laminar Flow, Computational Fluid Dynamics

1. Introdução

O estudo do processo de incrustação por coque no processamento de frações pesadas do petróleo, mostra a necessidade de se desenvolver uma bancada de testes que permita relacionar o grau de incrustação do equipamento com alguns parâmetros importantes, tais como: a composição química do produto processado, o tempo de residência e a temperatura de processamento. Sabendo-se que o processo de formação de coque é função direta da temperatura de processamento [SPEIGHT, 1999], verifica-se a importância de se conhecer como as características térmicas e fluidodinâmicas do escoamento se alteram quando o fluido passa através do aquecedor que fará parte do equipamento. Esse aquecedor é do tipo radial, com o fluido alimentado axialmente, expandindo-se na direção radial através da delgada folga, contornando a placa interna e contraindo-se novamente a fim de deixar o aquecedor de forma também axial. O fluxo de calor fornecido para o fluido será transferido através das paredes externas do difusor, num aquecimento por película uniforme. O estudo do escoamento entre discos com e sem transferência de calor pode ser encontrada em Ferreira (1989), Lytle (1994), Prata (1995) e Deschamps (2000).

Esse trabalho apresenta um estudo preliminar da fluidodinâmica do escoamento em duas geometrias, no formato de “L” e de “T”, com o objetivo de desenvolver posteriormente um aquecedor do tipo radial como descrito acima. Para a geometria na forma de L, o fluido é alimentado verticalmente, contorna o canto vivo e desenvolve-se ao longo do canal até a saída. Para o canal em T, a geometria na parte superior é a mesma que para o canal em L, sendo que, ao final do canal, o escoamento retorna pela parte inferior, deixando o canal também na vertical. As equações de conservação da massa e quantidade de movimento são resolvidas para um número de Reynolds do escoamento igual a 100. O interesse é conhecer os perfis de velocidade, pressão e temperatura ao longo da delgada folga do canal. As equações algébricas serão resolvidas numericamente usando-se o método de volumes finitos associado a uma abordagem de elementos finitos para a geração e solução da malha. A solução do sistema acoplado de equações será feita pelo programa de Dinâmica de Fluidos Computacional CFX 5.7™.

2. Formulação do Problema

Este estudo preliminar foi dividido em duas partes: escoamento em “L” (Fig. 1) e escoamento “T” (Fig. 2). O perfil de velocidade na entrada do escoamento é uniforme.

O escoamento laminar de um fluido viscoso sob gradiente de pressão entre duas placas planas fixas é um caso de bastante interesse na literatura sobre escoamentos de fluidos viscosos, haja visto o número de problemas análogos que podem ser encontrados na prática [Schlichting, 1979].

As hipóteses adotadas para simplificação das equações do movimento são as seguintes: escoamento laminar regime permanente, escoamento bidimensional, forças de campo desprezíveis, dissipação viscosa desprezível e propriedades constantes. As equações governantes do problema são as equações da conservação da massa, Equação 1, e quantidade de movimento, Equações 2 e 3.

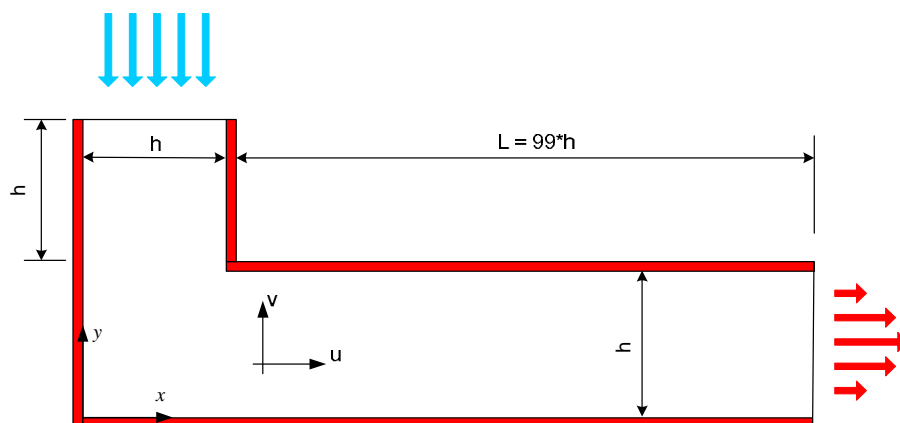


Figura 1 – Geometria para o escoamento em um canal no formato de “L”

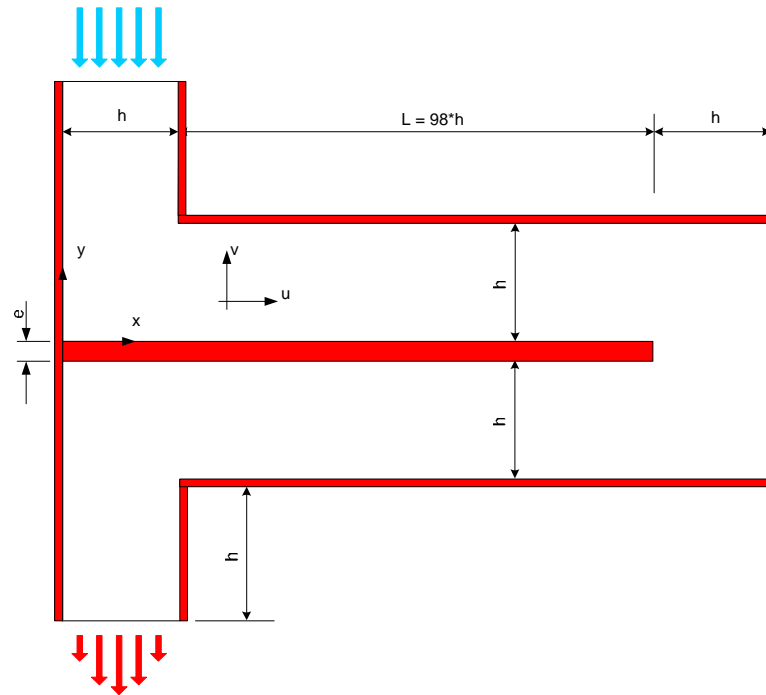


Figura 2 – Geometria para o escoamento em um canal no formato de “T”

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

$$\rho \left(u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} \right) = - \frac{\partial p}{\partial x} + \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) \quad (2)$$

$$\rho \left(u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} \right) = - \frac{\partial p}{\partial y} + \mu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) \quad (3)$$

onde ρ é a massa específica do fluido, μ é a viscosidade dinâmica do fluido, p é a pressão, u é a componente da velocidade na direção x , v é a componente da velocidade na direção y .

As condições de contorno utilizadas são: perfil de velocidade uniforme na entrada do canal (Equação 4), escoamento plenamente desenvolvido na saída do canal (Equação 5), impermeabilidade das paredes sólidas (Equação 6) e não deslizamento nas paredes do canal (Equação 7).

$$v(y = 2h) = U \text{ e } u(y = 2h) = 0 \quad (4)$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} \Big|_{x=L} = \frac{\partial v}{\partial x} \Big|_{x=L} = 0 \quad (5)$$

$$v(y = 0) = v(y = h) = 0 \quad (6)$$

$$u(y = 0) = u(y = h) = 0 \quad (7)$$

3. Procedimento Numérico

As geometrias e malhas geradas para a solução dos dois tipos de escoamento foram desenvolvidas utilizando o programa ICEM CFX 5.0TM, as malhas utilizam elementos hexagonais. As equações discretizadas e as condições de contorno impostas, geram um sistema de equações algébricas resolvidas pelo programa CFX 5.7TM. O número de elementos hexagonais gerados para cada malha está exposto na Tabela 1. O tempo computacional médio gasto para se solucionar o sistema de equações está mostrado na Tabela 2.

Tabela 1 – Número de Elementos Hexagonais

	Escoamento “L”	Escoamento “T”
Número de Elementos Malha tipo “1x”	10800	24870

Tabela 2 – Tempo Computacional

	Escoamento “L”	Escoamento “T”
Tempo Malha tipo “1x”	9’45’’	15’52’’

A independência dos resultados com relação a malha foi comprovada através da comparação de resultados obtidos com cinco malhas e a solução analítica para o escoamento desenvolvido em um canal (Figura 3). As malhas foram criadas utilizando-se uma malha inicial a qual foi alterada utilizando-se um fator multiplicativo igual a 2x e 3x para se refinar a malha e igual 0,25x e 0,5x para se deixar a malha mais grosseira. Dentre as malhas apresentadas na Figura 3 a malha escolhida como ideal foi a malha 1x, pois dentre as malhas que apresentaram independência de resultados (1x, 2x e 3x) é a que contém o menor número de elementos hexagonais, possibilitando uma maior rapidez na obtenção de resultados, com menor esforço computacional.

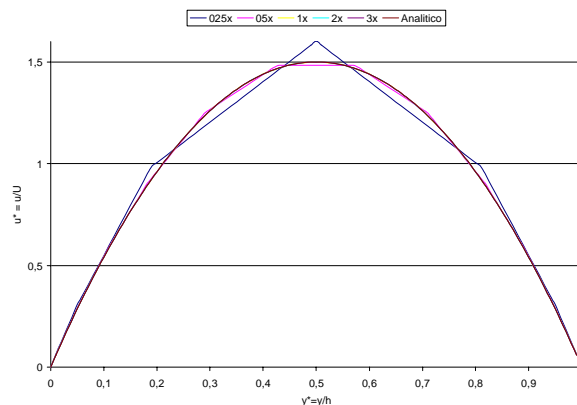


Figura 3 – Comparação entre os perfis de velocidade para cinco malhas saída do canal em “L” e a solução analítica.

4. Resultados

Abaixo são apresentados os resultados da solução de dinâmica dos fluidos computacional para os canais no formato de L e T. O número de Reynolds utilizado foi de 100 e as dimensões do domínio foram $h = 1$ mm.

4.1 Escoamento em “L”

Na Figura 4 é mostrado o campo de velocidade e na Figura 5 o campo de pressão para o escoamento na região de entrada do canal em “L” e Reynolds igual a 100. Observa-se que à medida que o fluido adentra ao canal inicia-se o desenvolvimento do escoamento, o qual é completamente perturbado pela aceleração do fluido no contorno do canto vivo. A aceleração devido à mudança brusca de direção do escoamento, provoca uma região de recirculação no canto esquerdo do canal. À medida que o fluido percorre o canal horizontal, ele se desenvolve assumindo a forma de um perfil parabólico.

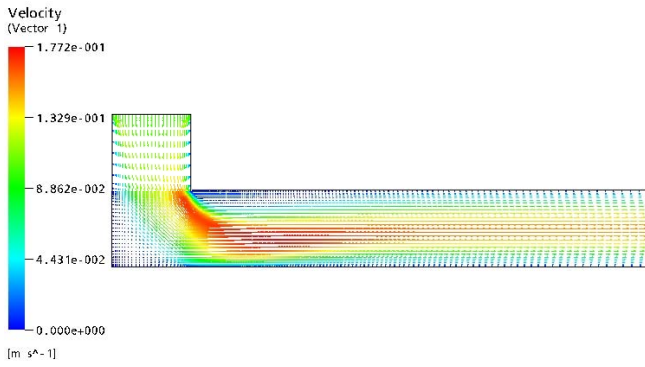


Figura 4 - Vetores velocidade da curva do escoamento em “L”.

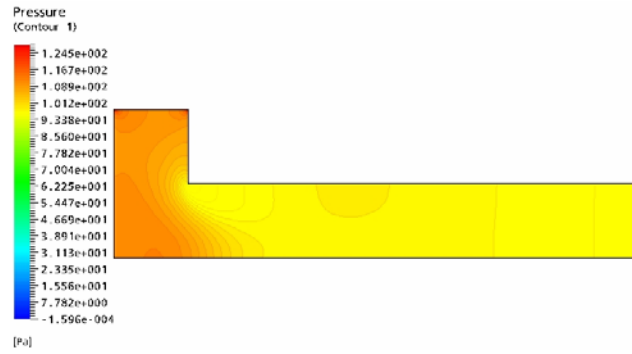


Figura 5 - Campo de pressão na curva do escoamento em “L”.

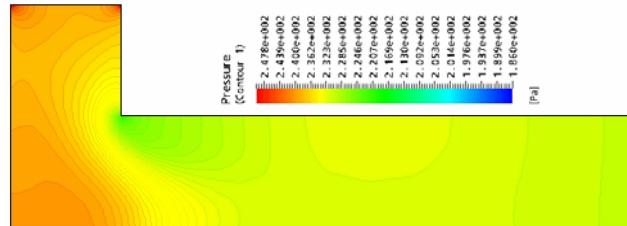
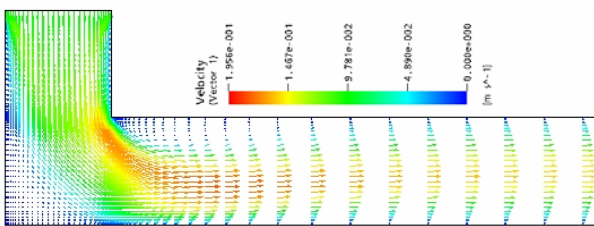


Figura 6 – Vetores Velocidade para o Escoamento em “T” na Entrada e Saída do Canal.

Figura 7 – Campo de Pressão para o Escoamento “T” na Entrada e Saída do Canal.

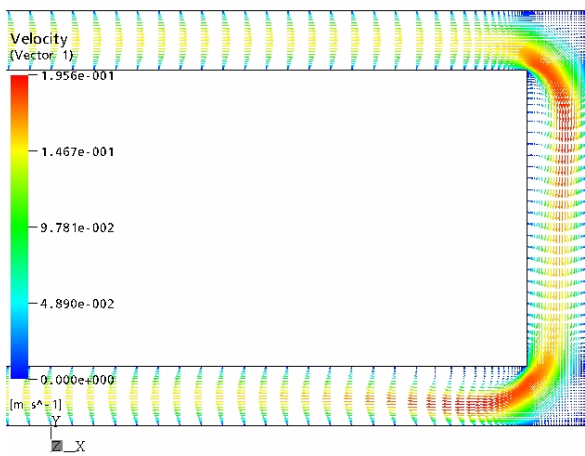


Figura 8 – Vetores Velocidade Escoamento “U” na Segunda Curva do Canal.

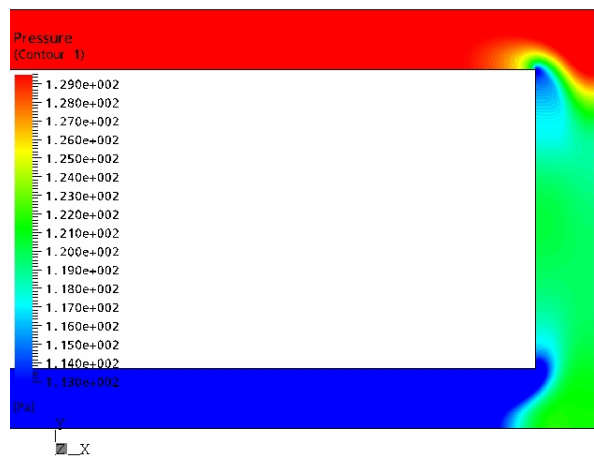


Figura 9 – Campo de Pressão Escoamento “U” na Segunda Curva do Canal.

4.2 Escoamento em “T”

A Figura 6 apresenta o campo de velocidade na entrada e saída do canal em “T” e a Figura 7 o campo de pressão. A região de entrada apresenta o mesmo comportamento que o descrito para o escoamento em “L”, com exceção dos níveis de pressão, que são mais elevados para o caso do escoamento em “T”. Na região de saída, o fluido se acelera, sendo deslocado para a parede pela ação da força centrípeta. No canto superior aparece uma região de recirculação semelhante à da região de entrada.

Nas Figura 8 é mostrado o campo de velocidade para a região próxima da curva no formato de “U”. A Figura 9 mostra o campo de pressão. Percebe-se que longe da curva em “U”, o escoamento apresenta-se completamente desenvolvido, com o característico perfil parabólico. O que o fluido se acelera ao entrar na curva de 90°, formando uma região de recirculação no canto superior direito e apresentando escoamento reverso próximo à parede esquerda. Descendo pela porção vertical da curva em “U”, antes de se desenvolver ele é obrigatório a contornar a próxima curva de 90°, agora para a esquerda. Novamente aparece a região de recirculação no canto inferior esquerdo. Após a curva o escoamento se desenvolve rapidamente.

O canal com o formato em “T” é semelhante a geometria do aquecedor radial que se almeja desenvolver, tendo este estudo como referência.

5. Conclusões

Este trabalho apresenta um estudo preliminar da hidrodinâmica de um escoamento em canais com formato de “L” e em “T”. Esse estudo tem como objetivo futuro de servir de base para o projeto de um trocador de calor radial. O canal com o formato em “T” é semelhante a geometria do aquecedor radial que se almeja desenvolver, tendo este estudo como referência.

O escoamento em canais com geometria no formato de “L” e “T” foram estudados numericamente para um número de Re igual a 100. Ambos os canais em “L” e em “T” apresentam como características regiões de recirculação e aceleração na entrada. Após as curvas os escoamentos se desenvolvem assumindo a forma característica do perfil parabólico entre placas planas. Para o escoamento em “T”, próxima a curva no formato de “U”, o escoamento se acelera e na apresenta regiões de recirculação e escoamento reverso. Após a curva inferior o escoamento se desenvolve rapidamente.

A identificação das regiões de recirculação, de escoamento reverso e de aceleração do fluido são fundamentais para o problema de transferência de calor e o cálculo da perda de carga total ao longo do canal.

6. Agradecimentos

Apoio financeiro da Agência Nacional do Petróleo – ANP – e da Financiadora de Estudos e Projetos – FINEP – por meio do Programa de Recursos Humanos da ANP para o setor petróleo e gás – PRH – ANP/MCT(PRH 10 – CEFET-PR).

7. Referências

- CFX 5.7TM, *Users Guide*, Versão 5.7, ANSYS, 2004;
- DESCHAMPS C.J.; PRATA A.T.; FERREIRA R.T.S. *Modeling of Turbulent Flow Through Radial Diffuser*, J. of the Braz. Soc. Mechanical Sciences, Vol. XXII, No 1, p. 1-13, 2000;
- FERREIRA R. T.S; DESCHAMPS C.J.; PRATA A.T. *Pressure Distribution Along Valve Reeds of Hermetic Compressors*, Thermal and Fluid Science 1989; 2:201-207;
- LYTLE D.; WEBB B.W. *Air jet impingement heat transfer at low nozzle-plate spacings*, Int. J. Heat Mass Transfer Vol37, No 12, p. 1687-1697, 1994;
- PRATA A.T.; PILICHI C.D.M. *Local Heat Transfer in Axially Feeding Radial Flow Between Parallel Disks*, Journal of Heat Transfer Vol 117, p. 47- 53, 1995;
- SCHLICHTING, H., *Boundary-Layer Theory*, 7a edição, McGraw-Hill, New York, 1979;
- SPEIGHT, J. G., *The Chemistry and Technology of Petroleum*, 3rd ed. New York: Marcel Dekker, Inc., 1999;
- WHITE, F., *Viscous Fluid Flow*, 2^a edição, MacGraw-Hill, New York, 1991;