

CONEM 2016
CONGRESSO NACIONAL DE
ENGENHARIA MECÂNICA

21-25
AGOSTO DE 2016
FORTALEZA - CEARÁ

DETERMINAÇÃO NUMÉRICA DA PERDA DE CARGA E FATOR DE ATRITO EM CANAIS COMPOSTOS

Jalusa Maria da Silva Ferrari, jalusaferrari@gmail.com¹
Herbert Antônio Moreira Severino, herbert.ams@gmail.com¹
Jhon Nero Vaz Goulart, jvaz@unb.br¹

¹Universidade de Brasília – UnB – Grupo de Mecânica Experimental e Computacional – GMEC, Área Especial de Indústria 1, C.E.P. 72444-240, Gama - DF

Resumo: A necessidade da correta determinação da potência necessária em sistemas de bombeamento passa pelo conhecimento da perda de carga e do fator de atrito médio no sistema de tubulações. O fator de atrito médio pode ser facilmente calculado em sistemas formados por tubos circulares e sob escoamento laminar, contudo, esse necessita de correlações empíricas para sua utilização em canais de geometria mais complexa e/ou sob escoamento turbulento. O presente trabalho simula numericamente a perda de carga e o coeficiente de atrito médio em canais compostos. Foram estudadas 3 diferentes seções. As seções são compostas por um canal principal retangular de altura H e largura W - e um subcanal de profundidade P e largura D em uma das paredes laterais. O escoamento é laminar e incompressível e abrange uma faixa de Reynolds de 200 a 1200. O número de Reynolds é baseado no diâmetro hidráulico, D_H , na velocidade média do canal, U_m , e na viscosidade cinemática do fluido, ν . Os resultados apresentam uma aproximação para o coeficiente médio de atrito, f , mostrando que este pode ser, satisfatoriamente, calculado por uma função exponencial do tipo $f = C Re^m$, onde m é próximo de -1. No entanto, quando a raiz quadrada da área da seção transversal do canal foi usada como escala de comprimento para o cálculo de Reynolds e de f , os dados numéricos foram aproximados utilizando um expoente $m = -1$. Essa solução está em concordância com o diagrama de Moody para escoamentos laminares. Na continuação do trabalho foram realizadas simulações transientes para observar a formação de estruturas coerentes. Estruturas coerentes foram observadas somente para os maiores valores de Reynolds e no canal com a maior largura de fenda, D , dando origem a flutuações de velocidade.

Palavras-chave: perda de carga, fator de atrito, canais compostos, instabilidades laminares

1. INTRODUÇÃO

Canais compostos são caracterizados pela presença de um canal principal, por onde o escoamento se desenvolve com certa facilidade, conectado a uma ou mais fendas onde há predominância dos efeitos viscosos. Canais como esse são largamente utilizados no interior de reatores nucleares, trocadores de calor, canais de abastecimento e até em sistemas de resfriamento de conjuntos eletrônicos (Meyer e Rehme, 1995; Soldini et al., 2004; Souza et al., 2015). Nessas aplicações o escoamento é, muitas vezes, obrigado a escoar em canais não circulares, assim a necessidade de determinação de fatores de atrito é fundamental para o cálculo de potência requerida para sistemas de bombeamento.

A forma como a geometria interfere sobre a perda de carga e o fator de atrito nesse tipo de escoamento tem sido objeto de estudo entre vários autores. Bahrami et al. (2006) desenvolveram soluções analíticas para calcular a perda de carga e o fator de atrito em canais não circulares sem subcanal. Os autores utilizaram a raiz quadrada da área da seção transversal como escala de comprimento em suas formulações. Anos antes, os autores Muzychka e Yovanovich (1998) também formularam equações analíticas para o cálculo do fator de forma em canais de seção arbitrária não composta. Ambas as formulações, de 1998 e 2006, os autores admitiram escoamento laminar, incompressível e completamente desenvolvido.

Nesse trabalho, o escoamento laminar é simulado em um canal retangular acoplado lateralmente a um pequeno subcanal - *slot*. Os subcanais são retangulares e possuem dimensões de 30 x 4, 10 x 4 e 30 x 12 mm. O canal principal é mantido fixo, medindo 30 x 60 mm. As simulações estacionárias têm por principal objetivo a determinação do fator de atrito médio do canal composto. As simulações transientes têm por finalidade a visualização e descrição de estruturas coerentes na região da fenda. O escoamento é considerado completamente desenvolvido, laminar, incompressível e

compreende Reynolds de 200 a 1200. O número de Reynolds foi baseado no diâmetro-hidráulico, D_H , na velocidade média do canal, U_m , e na viscosidade cinemática do fluido, ν .

2. METODOLOGIA

A seção de testes está descrita na Fig. 1. O canal principal é retangular, possuindo largura W e altura H , que foram fixas durante todas as simulações sendo, respectivamente, 30 e 60 mm. Em uma das paredes laterais existe um subcanal secundário de dimensões P e D , profundidade e largura. O comprimento do canal, para todos os casos, foi de 504 mm, $L/D_H = 10$ para o maior subcanal 30 x 12 mm.

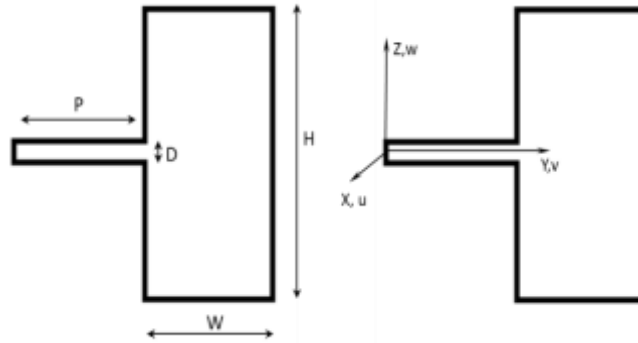


Figura 1. Vista esquemática da seção transversal.

Foram feitas simulações para diferentes valores de P e D , nomeados como casos C2, C3 e C4. Os números de Reynolds, baseados no diâmetro-hidráulico, D_H , na velocidade média do canal e na viscosidade cinemática, variam de 200 a 1200. O número de Reynolds foi controlado pela variação do fluxo mássico. Para todos os casos estudados, a massa específica e a viscosidade permaneceram constantes. Nas paredes, condições de não deslizamento foram impostas. Para obtenção do escoamento competamente desenvolvido, uma condição de periodicidade translacional foi aplicada na direção principal do escoamento (eixo x), através da prescrição do fluxo mássico.

A geometria foi subdividida em volumes hexaédricos de forma que a malha fosse construída por hexaedros. Na Tab. 1 estão dispostos os detalhes de espaçamento na malha e a distância do primeiro ponto com relação a parede do canal ou subcanal. A distância entre o primeiro ponto e a parede, para o canal e subcanal, são indicadas por Δy_{pcan} e Δy_{slot} , respectivamente. Na direção do eixo z , essa dimensão é dada por Δz_{pcan} , para o canal principal, e por Δz_{slot} , para o canal secundário. A dimensão máxima entre as células no canal principal são indicadas por Δz_{maxcan} na direção z e Δy_{maxcan} na direção y .

Tabela 1. Detalhes da malha para os casos investigados.

Caso	P x D (mm)	Δx (mm)	Δz_{pcan} (mm)	Δy_{pcan} (mm)	Δz_{maxcan} (mm)	Δy_{maxcan} (mm)	Δz_{slot} (mm)	Δy_{slot} (mm)
C1	-	8,40	0,36	0,30	1,80	1,50	-	-
C2	30,00 x 4,00	8,40	0,36	0,30	1,80	1,50	0,09	0,30
C3	10,00 x 4,00	8,40	0,36	0,30	1,80	1,50	0,08	0,08
C4	30,00 x 12,00	8,40	0,36	0,30	1,80	1,50	0,08	0,30

Para todos os casos foi determinado um erro máximo de 10^{-6} para as equações de conservação de massa e balanço de quantidade de movimento. O passo de tempo para as simulações foi tal que o número de Courant (Co) máximo não excedeu 1. No caso do canal C4, onde instabilidades laminares apareceram, o passo de tempo $\Delta t = 5 \times 10^{-4}$ s para atender o critério de $Co \leq 1$. Foram simulados 14 tempos convectivos, $T_c = L/U_m$. Em consequência dos modelos matemáticos encontrados para canais de seção transversal não circular apresentarem soluções apenas para geometrias regulares (Gunnasegaran *et al.*, 2009; Bahrami *et al.*, 2006), decidiu-se simular o canal C1 para observar se os resultados obtidos seriam aproximados aos propostos. É visto adiante que os resultados para o canal C1 atingiram resultados satisfatórios.

Testes de independência de malha foram feitos para o canal C4 para o maior número de Reynolds. As simulações feitas utilizando 1.534.812 nós.

3. EQUAÇÕES GOVERNANTES

Para escoamento laminar e incompressível as equações de balanço de massa e quantidade de movimento são dadas por

$$\begin{aligned} \frac{\partial u_i}{\partial x_i} &= 0 \\ \frac{\partial u_i}{\partial t} + \frac{\partial (u_i u_i)}{\partial x_j} &= -\frac{1}{\rho} \frac{dp}{dx_i} + \nu \frac{\partial^2 u_i}{\partial x_j^2} \end{aligned} \quad (1)$$

Para um escoamento incompressível e completamente desenvolvido em um canal de área de seção transversal A e comprimento L , as equações de Navier-Stokes, Eq. (1), transforma-se em uma equação de Poisson,

$$\frac{1}{\rho} \frac{dp}{dx} = \nu \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \quad (2)$$

Nessa equação as forças viscosas são completamente balanceadas pelo gradiente de pressão. Nesse tipo de escoamento, a perda de carga se dá ao longo da tubulação e é considerada constante para um escoamento incompressível, estacionário e completamente desenvolvido. É mostrado na Fig. 2 o balanço dessas forças para um pedaço da tubulação onde as hipóteses acima são verificadas.

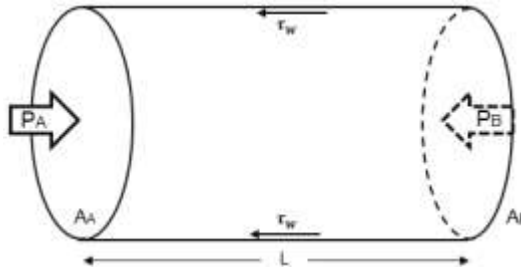


Figura 2. Balanço de forças em um duto para escoamento completamente desenvolvido.

Onde P_A e P_B , são as pressões na entrada e saída do volume de controle (tubulação), respectivamente. A_A e A_B são as respectivas áreas de saída. P_r é o perímetro da seção, L é a distância entre entrada e saída e τ_w a tensão de cisalhamento agindo na parede. O balanço de forças pode ser então equacionado como segue

$$P_A A_A = P_B A_B + \tau_w P_r L \quad (3)$$

Não havendo modificação nas áreas de entrada e saída da seção transversal e introduzindo o conceito de diâmetro-hidráulico ($D_H = 4A/P$), a tensão de cisalhamento média na parede do canal pode ser facilmente calculada como

$$\begin{aligned} \tau_w &= \frac{(P_A - P_B) A}{L P_r} \\ \tau_w &= \frac{(P_A - P_B) D_H}{L 4} \end{aligned} \quad (4)$$

Sabendo que a tensão cisalhante é proporcional à massa específica do fluido, ρ , ao quadrado da velocidade média do escoamento no canal, U_m , e um fator de atrito, f , então

$$\tau_w = f \frac{\rho U_m^2}{2} \quad (5)$$

Dessa forma, através do gradiente de pressão, da velocidade média e das características geométricas do canal o fator médio de atrito, f , pode ser calculado. Para dutos circulares sob as hipóteses de escoamento laminar e completamente desenvolvido o fator de atrito f é dado por

$$f = C \operatorname{Re}_{DH}^{-1} \quad (6)$$

Onde Re_{DH} é o número de Reynolds do escoamento e é dado pelas relações de grandezas do escoamento e de propriedades do fluido.

$$\operatorname{Re}_{DH} = \frac{\rho U_m D_H}{\mu} \quad (7)$$

D_H é o diâmetro da tubulação e ρ e μ são a massa específica do fluido e sua viscosidade dinâmica.

O parâmetro C é um valor de forma e depende da geometria da seção transversal do canal. Para dutos de seção circular a solução analítica, Eq. (2), é dada por $C = 16$, conforme Fanning (ou 64, segundo Darcy-Weisbach).

Em canais não-circulares é possível obter soluções matemáticas fechadas, ainda que de difícil trato. Sharma e Müller (2006), sugerem o cálculo do coeficiente de forma, C , para canais retangulares, através da Eq. (8), visto que a solução clássica, $C = 16$ para tubos circulares, é discrepante para dutos não-circulares (Baharami, 2006). A solução de uma equação de 5º grau leva em conta um coeficiente geométrico do canal, α ,

$$f \operatorname{Re}_{DH} = 24(1 - 1,3553\alpha + 1,9467\alpha^2 - 1,7012\alpha^3 + 0,9564\alpha^4 - 0,2537\alpha^5) \quad (8)$$

α é a relação entre a largura do canal, W , e sua altura, H , e possui valor $0 \leq \alpha \leq 1$.

É importante notar na Eq. (8) o coeficiente de forma, C , associado ao fator de atrito relaciona-se com o diâmetro-hidráulico do canal, D_H , tal como calculado na Eq. (6).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Fator de Atrito

Dada a disponibilidade de soluções analíticas para o cálculo do fator de atrito em canais retangulares, simulações numéricas no canal retangular, C1, sem subcanal secundário foram executadas. As simulações foram feitas com os mesmos valores de Reynolds, baseados no diâmetro-hidráulico, usados nos canais compostos com o intuito de obter convergência de malha e valores da constante de forma do canal, C . Os resultados da simulação do canal retangular, C1, são mostrados na Fig. 3. É possível notar que estes são, satisfatoriamente, aproximados $f = 15,78 \operatorname{Re}_{DH}^{-1}$, concordando com a Eq. (8) proposta por Sharma e Müller (2006).

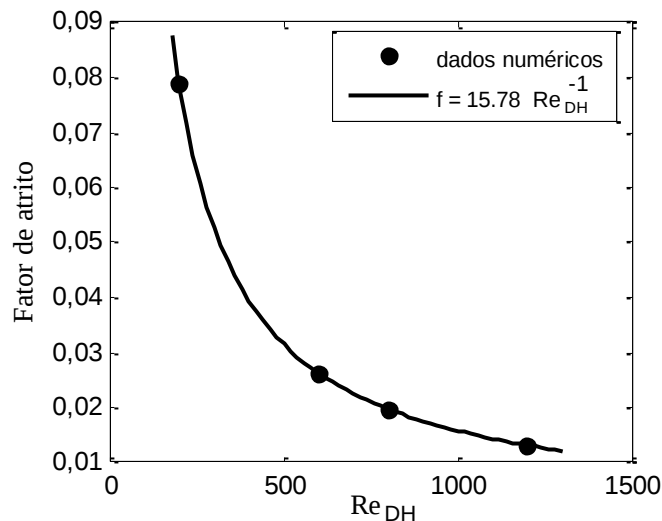


Figura 3. Fator de atrito médio f como função de Re_{DH} para o canal retangular C1.

Na Figura 4 (a) são mostrados os resultados do cálculo do fator médio de atrito como função de todos os canais simulados. Os dados são graficados como função do número de Reynolds do escoamento baseado no diâmetro-hidráulico dos canais. Pode-se notar que todas as simulações são satisfatoriamente aproximada por funções do tipo, contudo as constantes de forma C variam de a cada tipo de canal. Contudo, é importante mencionar que a função não descreve completamente o canal C3. Nessa curva o ponto de maior número de Reynolds não está contemplado.

As soluções também mostram que, para os menores números de Reynolds, os fatores médios de atrito tendem a se afastar da curva que descreve o fator de atrito médio no canal retangular sem *slot*.

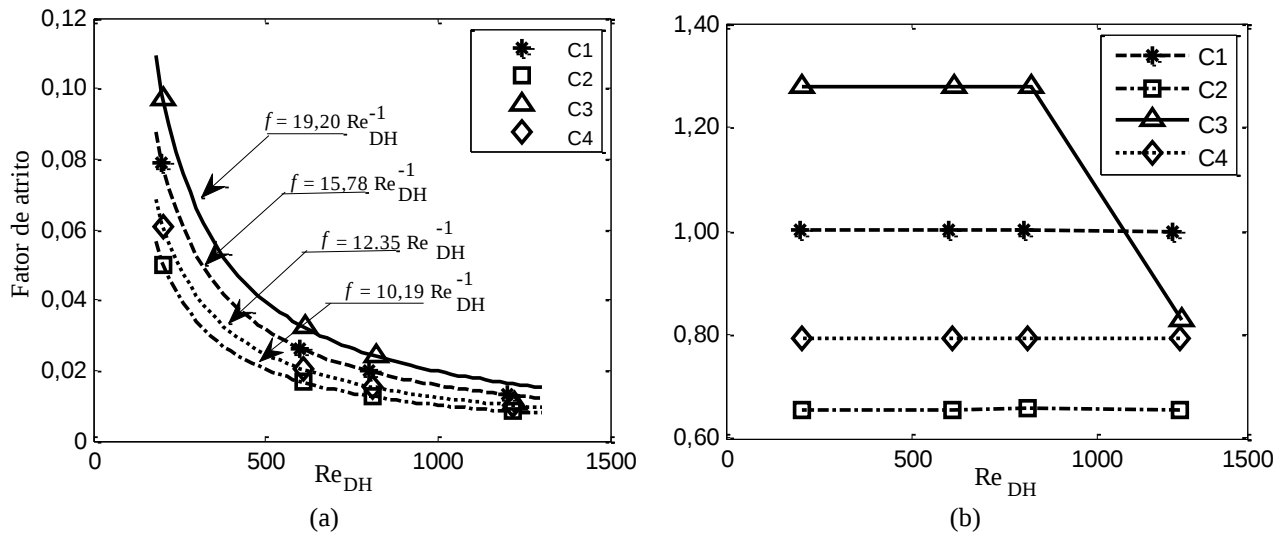


Figura 4. a) Fator de atrito médio f como função de Re_{DH} para os canais C1, C2, C3 e C4. b) Relação entre os fatores de forma dos canais como função do número de Reynolds.

Na Figura 4 (b) é mostrada uma relação de fatores de forma, $C^* = C/C1$, como função do número de Reynolds. Nessa figura alguns pontos são dignos de observação:

- ✓ A presença do slot influencia no cálculo do fator de atrito, e, por conseguinte, na perda de carga no canal;
- ✓ Os canais compostos simulados possuem maior perímetro quando comparado canal retangular, C1, contudo, somente o canal C3 possui $C^* > 1$. Para o restante dos canais compostos o valor de C^* é sempre inferior à unidade;
- ✓ A relação adimensional P/D parece não ser uma relação importante no problema envolvendo perda de carga, visto que os canais C3 e C4 possuem $P/D = 2,50$, porém diferentes valores de coeficiente de forma. Em contraste os valores do fator de atrito médio desses canais para $Re_{DH} = 1200$ são muito próximos;

Apesar das simulações mostrarem valores de forma constantes para diferentes números de Reynolds-hidráulico (exceto C3 para $Re_{DH} = 1200$) as soluções não mostram uma relação clara entre os parâmetros geométricos do canal e seus fatores de forma.

Dado o confuso resultado das Figura 4 (a) e (b), foi uma outra aproximação para o cálculo do fator de atrito e do fator de forma C . Muzychka e Yovanovich (1998) sugerem a adoção da raiz quadrada da área, $\sqrt{A}$, como escala de comprimento para o cálculo do fator médio de atrito. Segundo os autores, o conceito de diâmetro-hidráulico leva a melhores resultados para o escoamento turbulento. Os autores ainda apontam que a falha do uso diâmetro-hidráulico como escala de comprimento se deve ao fato de que a área computada desse valor não é a verdadeira área do duto para o caso de dutos não-circulares.

Na Figura 5 (a) são mostrados os resultados do fator de atrito médio no canal como função do número de Reynolds baseado na nova escala de comprimento, raiz quadrada da área. Devido à mudança da escala de comprimento no cálculo do número de Reynolds estes valores foram alterados. Assim, baseados na raiz quadrada da área da seção transversal foram simulados escoamentos laminares com números de Reynolds variando de 200 a 1700.

A utilização da raiz quadrada da área da seção como escala de comprimento para o cálculo do fator médio de atrito mostrou resultados com menor discrepância a partir de uma linha de tendência, como visto na Figura 5 (a). Os valores das constantes de forma foram muito próximos para os canais C1, C2 e C3, variando entre 18,16 para C1 e 19,74 para o canal C2. O maior valor da constante de forma foi encontrado para o canal C4, sendo igual a 22,68.

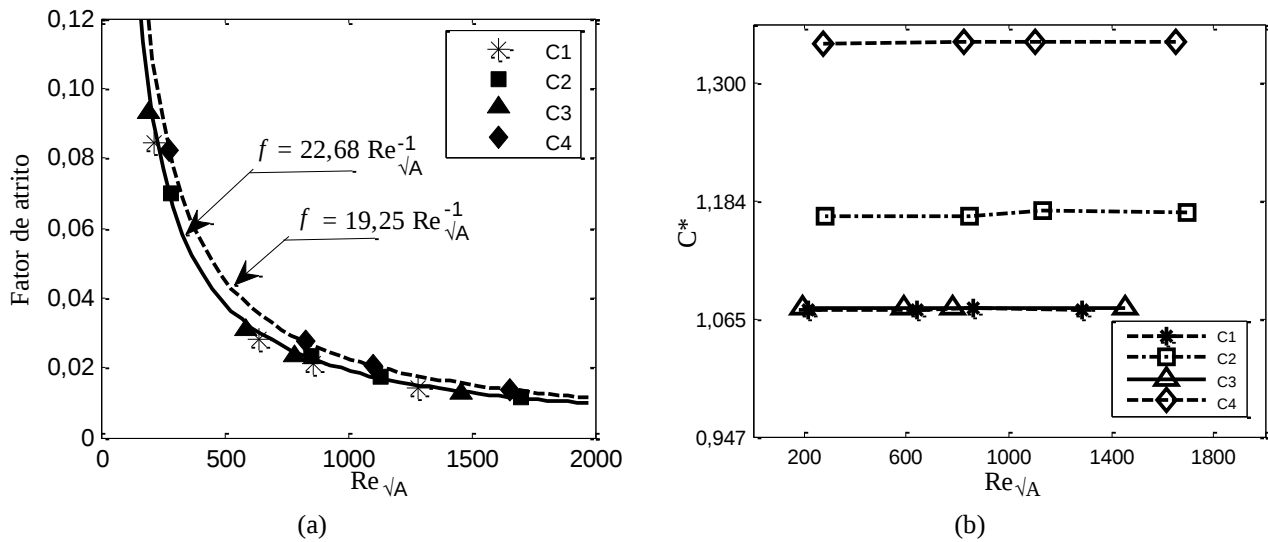


Figura 5. Fator de atrito (a) e de forma (b) com base em $Re\sqrt{A}$.

Na Figura 5 (b) a relação entre os valores de forma encontrados nos canais compostos e aquele encontrado no canal de referência C1 ($C^* = C/C1$), são mostrados como função da relação entre as áreas do subcanal secundário e a área total da seção transversal do canal. Para o cálculo de C^* o valor de C1 foi calculado analiticamente pelas funções apresentadas por Bahrami *et al.* (2006). As equações dos autores empregam a raiz quadrada da área da seção transversal para o cálculo do fator de atrito. A utilização dessas equações levou a $C1 = 18,61$. Os valores simulados para C1 tiveram um diferença média de 6% em relação ao previsto analiticamente pelas equações de Bahrami *et al.* (2006). Na Figura 5 (b) é interessante observar que à medida que o *slot* do canal aumenta, os valores da constante de forma C afastam-se do valor encontrado no canal de referência C1 (canal retangular sem *slot*). Logo, uma clara referência quanto a presença do *slot* no canal, bem como de suas características geométricas, são mostradas nessa figura. A utilização da área da seção transversal como escala geométrica, em oposição ao diâmetro-hidráulico, não apresentou resultados confusos como na Fig. 4 (b) e, dessa forma, relações de áreas podem ser utilizadas para o cálculo de C^* . Na Figura 6 são mostrados os valores de C^* como função da relação A_s/A . A área do *slot* é representada por A_s e a área total é A. Nessa figura, uma relação linear parece estabelecer uma tendência entre as grandezas. O conhecimento dessa relação permite calcular o fator de atrito para os canais compostos utilizando a Eq. (9).

$$f = C^* Re\sqrt{A}^{-1}$$

$$C^* = f \left(\frac{A_s}{A} \right) \quad (9)$$

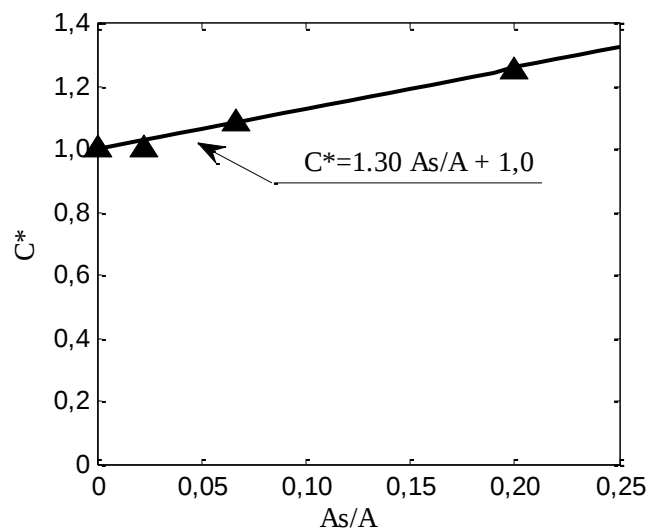


Figura 6. Relação entre os fatores de forma $C^* = C/C1$ e a relação de áreas A_s/A .

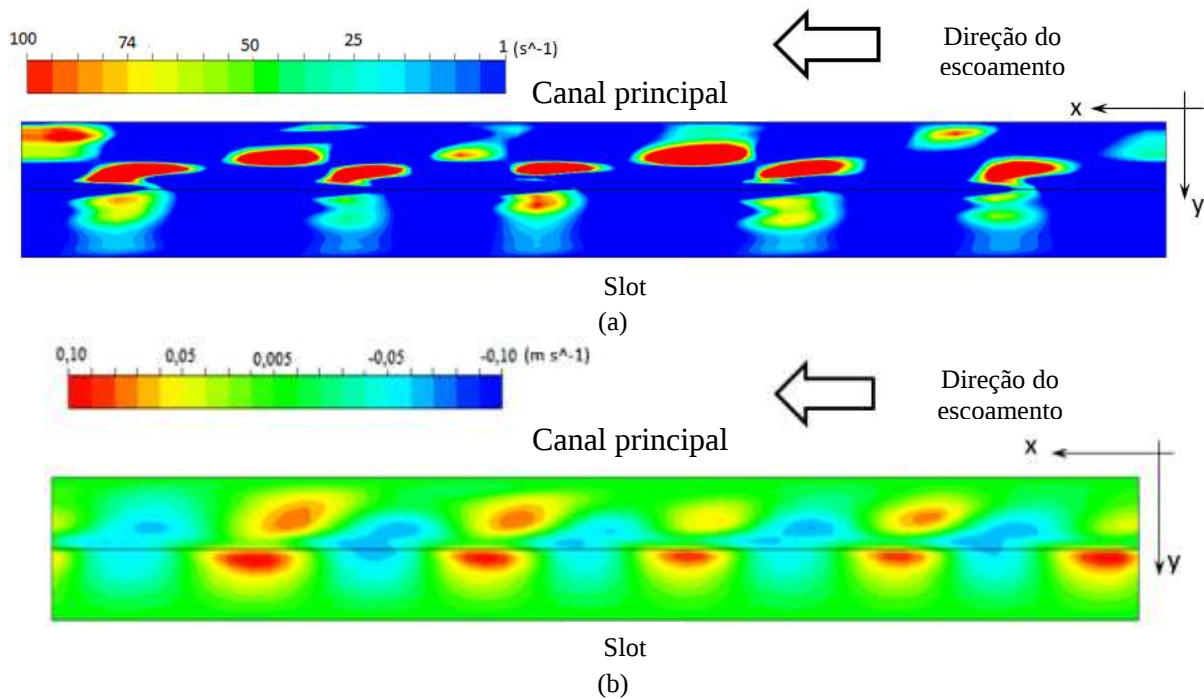
4.2. Instabilidades Laminares

Uma das mais desafiantes características do escoamento em canais compostos é a correta predição de sua dinâmica. Canais compostos são conhecidos por, em certas circunstâncias, apresentarem instabilidades na região da fenda. Essas instabilidades têm sido objeto de pesquisa, tanto numérica quanto experimentalmente, desde do trabalho de Rowe *et al.* (1974). Contudo, a maioria dos trabalhos têm seu foco em escoamentos laminares. Tais instabilidades levam ao aumento da difusão de passivos (como corantes e poluentes, por exemplo), do coeficiente de mistura e dos coeficientes de transferência de calor por convecção em problemas termo-hidráulicos.

Através do critério de visualização Q estruturas coerentes podem ser vistas no plano médio do canal. O critério Q relaciona o campo vortacional, Ω_{ij} , e o tensor taxa de deformação, S_{ij} , e é dado pela Eq. (10), tal como descrito por Hunt *et al.* (1988).

$$Q = \frac{1}{2} \left(|\Omega_{ij}|^2 - |S_{ij}|^2 \right) \quad (10)$$

Na Eq. (10) o critério Q é positivo quando o termo de rotação, Ω_{ij} , se sobrepõe ao termo de deformação, S_{ij} , evidenciando áreas no campo do escoamento onde a rotação é importante. A Figura 7 (a) mostra a quantidade escalar Q no plano médio do canal para $Q \geq 0$. Junto à fenda pode-se constatar que o valor da variável é maior, indicando predominância da rotação. Juntamente ao critério Q são mostradas as iso-superfícies de velocidades instantâneas na transversal (v), Fig. 7 (b). Onde o critério Q mostrou seus maiores valores, a iso-superfície de velocidade instantânea transversal mostra estruturas coerentes girando em sentidos opostos convectando-se a jusante com uma certa velocidade, U_c . As flutuações da componente de velocidade na direção principal do escoamento são mostradas na Fig. 7 (c).



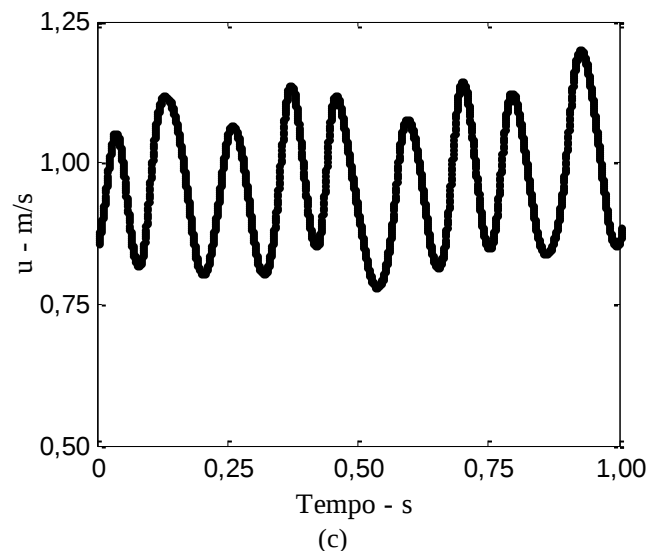


Figura 7. a) Visualização de estruturas coerentes através do critério Q. b) Iso-superfície de velocidades instantâneas na direção transversal. c) Histórico da componente de velocidade u em $L/x = 2,016$.

As principais características dessas instabilidades são os padrões oscilatórios de flutuação de velocidade na região do *slot* e a formação de estruturas coerentes na região.

5. CONCLUSÃO

No presente trabalho, o fator médio de atrito e o coeficiente de forma de um canal composto foram avaliados, bem como as características dinâmicas do escoamento laminar em seu interior. Para tanto, simulações numéricas foram realizadas utilizando uma plataforma comercial. Foram investigadas 4 seções de testes, sendo uma retangular (de referência) e outras três com um subcanal em uma de suas paredes laterais. Para cada uma das seções estudadas, o número Reynolds estendeu-se na faixa de 200 a 1200, sendo esse baseado no diâmetro-hidráulico, D_H , na velocidade média do canal, U_m e na viscosidade cinemática do fluido, ν .

Os resultados mostraram que o fator de atrito médio do canal é inversamente proporcional ao número de Reynolds, Re_{DH} . Contudo, o fator de forma C para os canais compostos mostrou-se diferente para cada subcanal secundário, não apresentando uma relação clara entre as dimensões do subcanal, P e D, e a variável C.

A utilização da raiz quadrada da área da seção transversal do canal como escala de comprimento para os cálculos do fator de atrito médio f e do coeficiente de forma C mostrou-se uma escolha melhor quando comparada ao diâmetro-hidráulico, D_H . Os valores médios do coeficiente de atrito foram, satisfatoriamente, ajustados por uma curva do tipo $f = C Re_{\sqrt{A}}^{-1}$.

Além disso, o coeficiente de forma C pode ser relacionado claramente ao aumento da relação entre as áreas do *slot* e da seção transversal. Isso proporcionou o conhecimento do fator adimensional C^* , que relaciona os coeficientes de forma do canal principal e o calculado para o canal composto.

Soluções transientes também foram obtidas, tendo como principal objetivo avaliar o possível comportamento instável do escoamento laminar para esse tipo de canal composto. Foram simulados os campos transientes de velocidade para os canais C2, C3 e C4 para os maiores números de Reynolds. Para os menores valores absolutos da fenda do canal secundário, dimensão D, (10 x 4 e 30 x 4 mm) não foram observadas instabilidades no campo do escoamento. Contudo, para o canal C4, 30 x 12 mm, o escoamento tornou-se instável produzindo padrões periódicos de flutuações na velocidade na região da fenda estreita. Esse resultado mostrou que a relação geométrica P/D tem pouca importância na formação de instabilidades em canais compostos. Os canais C3 e C4 possuem a mesma relação adimensional, porém não produziram qualquer efeito dinâmico no escoamento.

A sequência natural desse trabalho é investigar a instabilidade laminar nesse tipo de canal e, mesmo para baixos números de Reynolds, aplicar modelos de turbulência ao escoamento, bem como caracterizar essas instabilidades quanto a sua frequência e número de Strouhal.

6. REFERÊNCIAS

- Bahrami, M., Yovanovich, M. M. e Culham, J. R., 2006, "Pressure Drop of Fully-developed Laminar Flow in Microchannels of Arbitrary Cross-Section", Trans. ASME, vol. 128, pp. 1036.
- Gunnasegaran, P., Mohammed, H., Shuaib, N. H., 2009, "Pressure Drop and Friction Factor for Different Shapes of Microchannels", 3rd International Conference on Energy and Environment, Malacca, Malaysia, December 7-8.
- Hunt, Julian CR, A. A., Wray, Moin, P., 1988, "Eddies, streams, and convergence zones in turbulent flows".

- Meyer, L e Rheme, K., 1995, "Periodic vortices in flow through channels with longitudinal slots or fins", Tenth Symposium on Turbulent Shear Flow, University Park, Pa, August 14-16.
- Muzychka, Y.S., Yovanovich, M.M., 1998, "Modeling Friction Factors in Non-Circular Ducts For Developing Laminar Flow", 2nd AIAA Theoretical Fluid Mechanics Meeting, Albuquerque, NM, June 15-18.
- Rowe, D.S., 1973, "Measurement of Turbulent Velocity, Intensity and Scale in Rod Bundle Flow Channels", BNWL-1736, Battelle Pacific Northwest Laboratories, Rich-land, Washigton.
- Sharma, K., Muller, Norbert e Selerowicz, W., 2006, "Experimental friction factor study for microchannel flows", The Sixth International Workshop on Micro and Nanotechnology for Power Generation and Energy Conversion Applications, Berkeley, CA, Nov 29 – December 1.
- Soldini, L., Piattella, A., Brocchini, M., Mancinelli, A. and Bernetti, R., 2004, "Macrovortices-induced horizontal mixing in compound channels," Ocean Dynamics, 54, pp. 333 – 339.
- Souza, S. I. S., Martins, H. A. and Goulart, J. N. V., 2014, "Numerical Investigation of Heat Transfer in a Turbulent Flow in Channels with Gap," Thermal Engineering (RETERM), 13 (2), pp. 96 – 103.

8. RESPONSABILIDADE AUTORAL

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

NUMERICAL DETERMINATION OF THE PRESSURE DROP AND FRICTION FACTOR ON COMPOUND CHANNELS

Jalusa Maria da Silva Ferrari, jalusaferrari@gmail.com¹
Herbert Antônio Moreira Severino, herbert.ams@gmail.com¹
Jhon Nero Vaz Goulart, jvaz@unb.br¹

¹Universidade de Brasília – UnB – Grupo de Mecânica Experimental e Computacional – GMEC, Área Especial de Indústria 1, C.E.P. 72444-240, Gama - DF

Abstract. *Compound channels presents the need of determination of characteristics of the flow due to proportional ratio at calculation of the necessary force to pumping systems that use this type of channel. The present work simulate numerically the pressure drop and the mean friction factor in compound channels. It was studied 3 different sections. The sections are composed by a main rectangular channel of height H and width W – and a subchannel of depth P and width D in one of the walls. The flow is laminar and incompressible and covers Reynolds from 200 to 1200. The Reynolds number is based on the hydraulic diameter, D_H , the bulk velocity, U_m , and the kinematic viscosity of the flow, ν . The results presents an approximation for the mean friction factor, f , showing that it can be nicely calculated by an exponential function like $f = C Re^m$, where m is close to -1. However, when the square root of the channel's cross section was used as length scale at the Reynolds number and f , the numerical data were approached by an exponent $m = -1$. This solution agrees with the Moody diagram for laminar flow. Transient simulations were made to observe the generation of coherent structures. Coherent structures were observed only for the higher Reynolds and at the channel with major gap width, D .*

Keywords: *pressure drop, friction factor, compound channels, laminar instabilities*