



## ESTRUTURAS RAMIFICADAS OBSTRUÍDAS: UMA ABORDAGEM CONSTRUTAL NA INVESTIGAÇÃO DE ESCOAMENTO DE FLUIDOS

**Vinicius da Rosa Pepe**<sup>1</sup> – viniciuspepe@gmail.com

**António Ferreira Miguel**<sup>2</sup> – afm@uevora.pt

**Flávia Schwarz Franceschini Zinani**<sup>3</sup> – fzinani@unisinós.br

**Luiz Alberto Oliveira Rocha**<sup>1,4</sup> – luizrocha@mecanica.ufrgs.br, luizrocha@furg.br

<sup>1</sup> Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) – Porto Alegre, RS, Brasil

<sup>2</sup> Institute of Earth Sciences (ICT), pole of Evora & Department of Physics, School of Science and Technology, University of Evora - Evora, Portugal

<sup>3</sup> Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS) – São Leopoldo, RS, Brasil

<sup>4</sup> Universidade Federal do Rio Grande (FURG) – Rio Grande, RS, Brasil

**Resumo.** *Estruturas complexas em forma de árvore são comuns nos sistemas naturais. A organização da hierarquia do escoamento passa pela a evolução dimensional da forma, bem como a evolução da funcionalidade. Sendo assim, o objetivo de comparar estruturas de tubos bifurcados obtidos pelo método Design Construtal, onde parte da estrutura é obstruída, visa entender quais são os efeitos sobre o escoamento de fluidos e a predição dos desvios evolutivos da forma. Usando uma estrutura de tubos dendríticos 3D, este estudo compara projetos com vários fatores de redução de homotetidade para diâmetros e comprimentos de tubos com a implementação de uma obstrução total que altera sensivelmente a dinâmica de fluidos no interior da estrutura. A restrição geométrica aplicada a essas redes é o volume igual do tubo em cada nível de ramificação. A avaliação é baseada na resistência ao escoamento das redes calculada com base nos resultados da Dinâmica de Fluidos Computacional (CFD). Este estudo mostra, entre outras coisas, que o desempenho dos projetos dendríticos é altamente dependente das características geométricas e os efeitos e descobertas apresentados devem ser consideradas ao projetar redes para sistemas de engenharia.*

**Palavras chave:** Constructal design, Estrutura em forma de árvore, obstrução.

### 1. INTRODUÇÃO

Os estudos de escoamentos em estruturas em forma de árvore apresentam amplas e variadas aplicações de engenharia como a distribuição de água nas cidades, ventilação, refrigeração e aquecimento de edifícios, tubulações industriais, entre outros, além de aplicações na área médica biológica, que também têm relevância na verificação do calibre de veias, artérias e na distribuição de ar para os pulmões (Miguel & Rocha, 2018).

Estes sistemas estão sujeitos a falhas ou interações humanas que alteram as configurações geométricas do escoamento ao longo do sistema. Desta forma a ocorrência de uma obstrução total de um ou mais tubos em estruturas ramificadas é um importante parâmetro na evolução dos sistemas. Estas obstruções podem ocorrer nas estruturas de escoamento em forma de árvore, através de um evento natural, como por exemplo, a quebra ou seção de um galho pela incidência do vento ou raios, fechamento vias respiratórias ou vasos sanguíneos devido a doenças, bem como pela interação do homem com estes sistemas, por exemplo, nas práticas de manejo através das podas para estímulo do desenvolvimento vegetal ou a abertura e fechamento de registros nas redes de distribuição de água nas cidades, entre outros.

Permitir que os sistemas evoluam através da modificação da forma, buscando melhor cumprir o seu propósito ou finalidade é uma idéia associada a Lei Construtal (Bejan, 2000). Esta lei baseia-se na premissa de que os sistemas onde há escoamento têm um propósito (o objetivo final é persistir) e são livres para se transformar no tempo (evoluir) sob restrições globais. A forma (estrutura) é o caminho construtal para transportar fluido, calor, massa, entre outros, para atingir sua finalidade (Bejan, 2000) e (Bejan, 2017).

O método *Design Construtal* é baseado na Teoria Construtal, que afirma que a geometria dos sistemas de escoamento segue um princípio físico, que é a Lei Construtal (Bejan & Lorente, 2008). Para obter a melhor distribuição do escoamento conforme a evolução da estrutura geométrica. Nesse sentido, o método *Design Construtal* pode ser empregado no estudo de geometrias, em diversos equipamentos de engenharia, como equipamentos térmicos, dispositivos aeroespaciais, bioengenharia e será empregado neste trabalho.

Tendo em vista o que foi exposto, o presente estudo tem como propósito investigar numericamente, aplicando os conceitos da teoria Construtal, o comportamento do escoamento interno em uma estrutura fluídica dicotômica, em forma de árvore, com três níveis de ramificação com seção circular, onde são aplicadas obstruções totais em tubos nos diferentes níveis de ramificação.

## 2. MÉTODOS

A Figura 1 apresenta o sistema de escoamento a ser estudado que é uma estrutura em forma de árvore com com três níveis de ramificação, ou seja oito saídas, formadas por tubos cilíndricos com e sem oclusões, por onde escoa um fluido newtoniano.

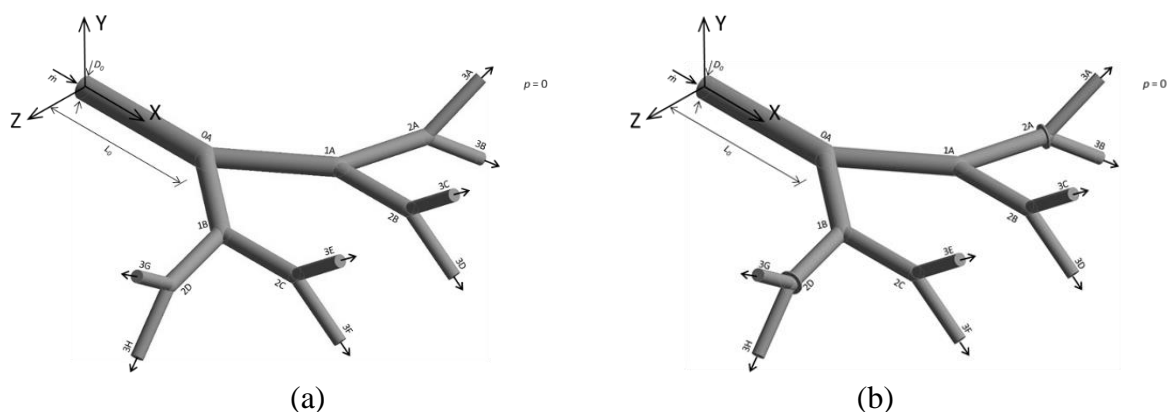


Figura 1- Estrutura em forma de árvore com três níveis de ramificação (a) sem obstrução, (b) com obstrução nos tubos 2A e 2D.

Conforme os aspectos do método do *design constructal*, restrições, graus de liberdade e propósito devem ser claramente determinados. O sistema possui a constante geométrica global, que é definida pelo volume dos dutos em cada nível do ramal ( $V_i$ ), que é mantida fixa

para os diferentes casos estudados. O grau de liberdade do sistema é definido pela razão entre o diâmetro dos dutos filho e pai ( $a_{Di}$ ). Assim, as estruturas fluídicas ramificadas em forma de árvore são determinadas pelas Eqs.(1) a (4):

$$V = V_i = \frac{\pi}{4} 2^i (D_i^2 L_i) = \text{constante} \quad (1)$$

$$V_T = \sum_{i=0}^3 V_i = 4V \quad (2)$$

$$a_D = D_{i+1}/D_i \quad (3)$$

$$\theta = 75^\circ \quad (4)$$

onde  $D$  é o diâmetro,  $L$  é o comprimento,  $a_D$  a razão entre os diâmetros e os índices  $i$  e  $i+1$  significam o duto pai e filhos respectivamente. O índice  $i$  pode variar de 0 a 3 e informa o nível da ramificação. Os índices maiores significam que a rede está mais ramificada.

O ângulo entre tubos filhos de  $75^\circ$  é adotado, pois proporciona menor queda de pressão nas bifurcações em regime laminar (Murray, 1926). A relação  $L_0 / D_0$  de 6,77 foi adotada levando em consideração que em sistemas naturais essa relação varia entre 6,3 e 7,0 (Miguel & Rocha, 2018).

É importante evidenciar, que os tubos nos níveis 0 a 2 estão contidos no mesmo plano, a exceção está nos tubos do nível 3, onde é implementada uma rotação de  $90^\circ$  em relação aos tubos de níveis inferiores. Esta se faz necessária devido à sobreposição de tubos que ocorrem quando  $a_D < 0,7$ . Os tubos no nível 3 continuam simétricos, ou seja, possuem mesmos diâmetros e comprimentos, apenas o plano que os contém foi alterado. Explicações adicionais podem ser verificados em Pepe *et al.* (2022).

O escoamento de fluido através dos tubos é assumido em regime laminar, ou seja, número de Reynolds ( $Re_D$ ) inferior a 2.200. O comprimento característico adotado é o diâmetro de entrada do sistema ( $D_0$ ).

As equações de Navier-Stokes para o escoamento tridimensional estacionário de um fluido newtoniano isotérmico e incompressível são expressas em coordenadas cartesianas como

$$\nabla \mathbf{u} = 0 \quad (5)$$

$$\rho \mathbf{u}(\nabla \mathbf{u}) = -\nabla p + \mu \nabla^2 \mathbf{u} \quad (6)$$

onde  $\mathbf{u}$  é o vetor velocidade,  $\rho$  é a massa específica,  $\mu$  é a viscosidade dinâmica e  $p$  é a pressão.

As condições de contorno para a estrutura de escoamento dendrítico, conforme mostrada na Fig. 1, são as seguintes: na entrada do tubo, é prescrita uma vazão mássica ( $\dot{m}$ ), adotando o ar como fluido de trabalho ( $\rho = 1,225 \text{ kg/m}^3$  e  $\mu = 1,789 \times 10^{-5} \text{ Pa}\cdot\text{s}$ ), determina-se as vazões mássicas  $2,11 \times 10^{-5} \text{ kg/s}$  e  $2,11 \times 10^{-4} \text{ kg/s}$ , respectivamente para  $Re_D = 10^2$  e  $10^3$ . A pressão atmosférica foi especificada na saída do modelo. A condição de contorno não deslizamento e não penetração é aplicada nas paredes dos tubos.

A solução das equações para a conservação da massa e da quantidade de movimento será desenvolvida através do *software* ANSYS FLUENT. A parametrização do modelo é feita com a seleção da solução acoplada, juntamente com a formulação *Pressure-Based* a qual é aplicada para escoamentos de fluidos incompressíveis de baixa velocidade e o modelo de viscosidade laminar.

O acoplamento pressão-velocidade utiliza o algoritmo SIMPLE (Semi Implicit Linked Equations) com os fatores de sub-relaxamento, parametrizados em 0,3 para a pressão, 1,0 para a massa específica, 1,0 para as forças de campo e 0,7 para a quantidade de movimento.

Na discretização espacial das equações de transporte, o método *Green Gauss Node Based* é adotado para a discretização dos gradientes, o esquema *Second Order* foi utilizado, para a discretização da pressão e o esquema *Second Order Upwind* para a discretização dos termos advectivos. Detalhes adicionais sobre a parametrização do modelo podem ser verificadas em Pepe *et al.* (2017), Pepe *et al.* (2019) e Pepe *et al.* (2022).

As soluções numéricas foram consideradas convergidas quando os resíduos para a equação da conservação de massa e quantidade de movimento nas direções x, y e z foram inferiores a  $10^{-6}$  para todas as equações.

A malha foi parametrizada para manter a proporcionalidade entre os tamanhos das células e os diâmetros dos tubos. A configuração tem um total aproximado de 2.788.063 a 5.526.358 células hexaédricas e com 10 camadas de células hexaédricas na parede do tubo que são necessárias para a exatidão do domínio computacional. O método *Grid Convergence Index (GCI)*, de Roache (1997) e Celik *et al.* (2008), foi aplicado para verificar a incerteza da malha.

É importante observar que, com base na experiência e não na derivação formal, um valor máximo de *GCI* de 5% é considerado aceitável para este método. Sendo assim o resultado para a geometria com menor razão de diâmetro e maior  $Re_D$  é o principal marcador de qualidade para o estudo do índice de convergência de malha (*GCI*), pois requer células suficientemente pequenas e bem distribuídas para a convergência do modelo numérico, aqui obtemos um índice *GCI* igual a 1,22 % para a estrutura com  $a_D = 0,6$  e  $Re_D = 10^3$ .

A verificação e validação do modelo matemático e numérico proposto ocorreram por comparação com Zhang *et al.* (2002) e Liu *et al.* (2002). Estes possuem estruturas com 2 níveis de ramificação, ou seja, 4 saídas, desta forma foi necessário realizar uma adaptação geométrica do modelo atual para obter a maior equivalência possível com os modelos de verificação, suprimido o terceiro nível de ramificação sem alterar as dimensões do modelo ou parametrização da malha. Levando em consideração o marcador de desempenho proposto,  $\Delta P^* = \Delta P \cdot \rho \cdot u^2$ , o erro relativo calculado foi de 9% e 3%, respectivamente a Zhang *et al.* (2002) e Liu *et al.* (2002). Assim entende-se que o modelo é válido.

Na Figura 2, é possível visualizar a obstrução total a qual é implementada através de um disco com diâmetro  $1,25 D_i$  e espessura  $0,05 D_i$ , em tubos de diferentes níveis de ramificação selecionados. A influência da posição da implementação do disco obstrutor foi investigada explorando três posições distintas ao longo do tubo,  $0,25 L_i$ ,  $0,50 L_i$  e  $1,00 L_i$ . Os resultados deste teste demonstraram que a posição no tubo é insignificante, sendo assim, por facilidade de execução, adotou-se que as obstruções ocorrem no local geométrico mais distante da entrada do fluido no tubo, ou seja  $1,00 L_i$ .

Para a avaliação das obstruções oito casos são propostos. O1 onde nenhum tubo está obstruído, ou seja, um sistema com escoamento em todos os tubos. Nos casos com obstruções as mesmas foram aplicadas nos tubos 1A, 2B, 3C, 2A e 2B, 2A e 2C, 2A e 2D, 2B e 2C.

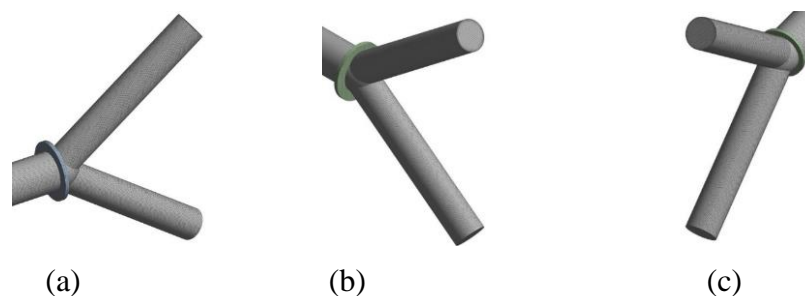


Figura 2- Detalhe da obstrução: (a) tubo 2A; (b) tubo 2B ou tubo 2C. (c) tubo 2D

Para uma melhor compreensão global e facilidade na comparação dos resultados é conveniente determinar marcadores de desempenho para avaliar os efeitos entre as distintas estruturas. A avaliação numérica será realizada através das Eqs.(7) a (10).

$$R_T = \frac{\Delta p}{\dot{m}} \quad (7)$$

$$HMR = \frac{R_T}{R_{HM}} \quad (8)$$

$$\Delta \tilde{p} = \frac{\rho A_{tubo} \Delta p}{\dot{m}} \quad (9)$$

$$OSR = \frac{R_{obstruída}}{R_{sem obstrução}} \quad (10)$$

onde,  $R_T$  é resistência total ao escoamento,  $\Delta p$  a queda de pressão global do sistema e  $\dot{m}$  a vazão mássica na entrada do sistema,  $HMR$  é a razão de resistências calculada conforme a lei de Hess-Murray (Hess, 1917) e (Murray, 1926a),  $R_{HM}$  a resistência da estrutura em forma de árvore simulada numericamente e projetada conforme as relações geométricas  $a_D = 2^{-1/3}$ ,  $\Delta \tilde{p}$  é a perda de carga adimensional, ou seja o número de Euler,  $A_{tubo}$  é a área da seção transversal do tubo de entrada.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os campos de velocidade e pressão foram simulados com o objetivo de determinar como ocorre a interação entre as obstruções e o escoamento na estrutura em forma de árvore. Desta forma, o intervalo da razão de diâmetros  $0,6 \leq a_D \leq 1$  foi estudado. Para todas as configurações geométricas foram simulados diferentes valores de vazão mássica, os quais são determinados pelo número de Reynolds no intervalo  $10^2 \leq Re_D \leq 10^3$ .

A Figura 3 apresenta a distribuição da pressão estática ao longo da estrutura em forma de árvore com três níveis de ramificação e obstrução total em níveis de ramificação distintos. Com o intuito de facilitar a comparação dos campos e pressão estática, adotaram-se escalas iguais para todas as estruturas com o mesmo número de Reynolds. O critério foi adotar a máxima pressão que ocorre na superfície de entrada do modelo, para uma estrutura com obstrução do tubo 1A.

Analizando os gradientes de pressão estática, observa-se que em uma estrutura obstruída a resistência ao escoamento distingue-se conforme a aplicação do elemento de obstrução ao longo dos níveis de ramificação. Quando uma obstrução total é imposta ao sistema, ocorre um incremento da pressão necessária para superar as resistências ao escoamento. Comparando em relação a estrutura sem obstruções, e com obstrução no tubo 1A ou obstrução nos tubos 2A e 2B, os quais são semelhantes, pois o sistema se reduz a 4 saídas, ocorre um incremento da pressão estática na ordem de 1,95 e 3,32 vezes, para o escoamento parametrizado com  $Re_D = 10^2$  e  $10^3$ . Quando as obstruções ocorrem como em 1A e o par 2A e 2B estas apresentam o máximo de incremento de pressão estática em comparação a uma estrutura sem obstrução.

A Figura 4 compara as resistências das estruturas em forma de árvore com a aplicação dos elementos e obstrução são calculadas e comparadas com a resistência de uma rede projetada usando a lei de Hess-Murray. Os resultados são apresentados em função da razão de diâmetros e número de Reynolds.

É possível observar na Fig. 4 a mesma tendência apresentada na Fig. 3, ou seja, um incremento da resistência ao escoamento para as obstruções que ocorrem em níveis de ramificação menores.

O ponto de mínimo ocorre em  $a_D = 1$ . Observa-se de forma geral que para valores de  $a_D < 2^{-1/3}$  obtém-se resultados de  $HMR > 1$  e para valores de  $a_D > 2^{-1/3}$  obtém-se resultados de  $HMR < 1$ .

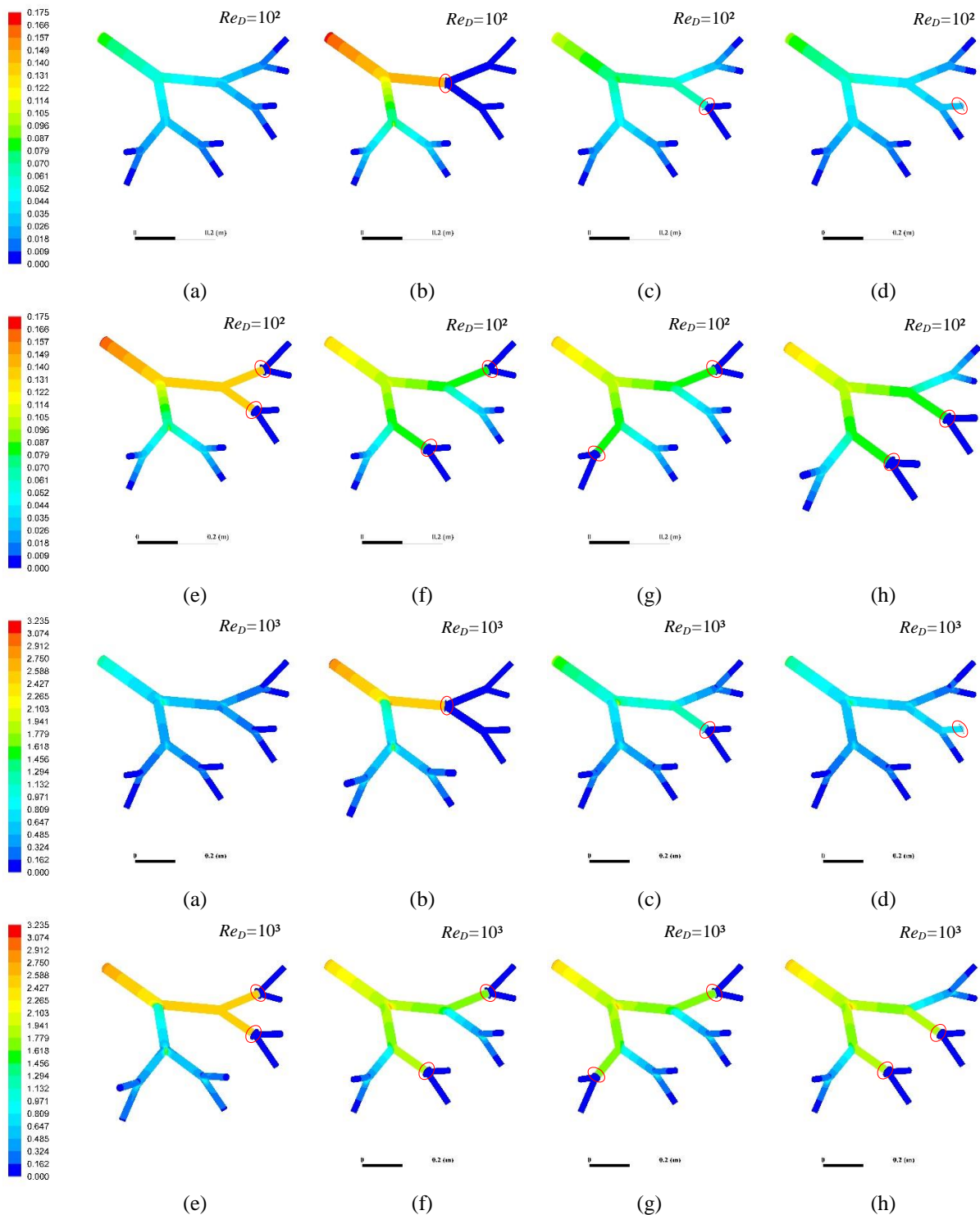


Figura 3 - Campo de pressão estática em função do local da obstrução e número de Reynolds,  $a_D = 0,80$ , escoamento de fluido newtoniano: obstruções nos tubos (a) sem obstrução, (b) 1A, (c) 2B, (d) 3C, (e) 2A e 2B, (f) 2A e 2C, (g) 2A e 2D e (h) 2B e 2C.

Desviam-se da tendência geral as obstruções que ocorrem no nível 1, ou obstruções duplas no nível 2, para o maior número de Reynolds, onde os valores calculados de  $HMR > 1$ . Associa-se a este desvio uma maior resistência distribuída, imposta no tubo do nível 1 que

desenvolve o escoamento ao longo do sistema. Pode-se associar esta configuração de obstrução com um incremento de esbeltez da estrutura em forma de árvore, pois praticamente o tubo do nível 0 e do nível 1 tornam-se único e não ocorre divisão do escoamento.

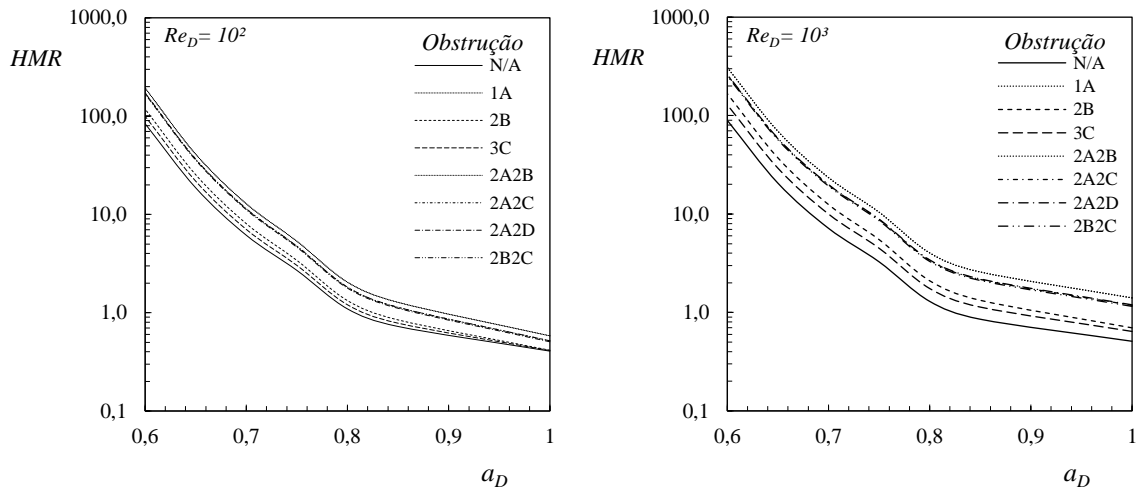


Figura 4 - Razão de resistências Eq. (8) em função da razão de diâmetros e número de Reynolds

A Figura 5 apresenta as razões das resistências da estrutura obstruída, Eq. (10), que são calculadas e comparadas em função da razão de diâmetros e número de Reynolds. É possível observar qualitativamente que, conforme ocorre o incremento do índice de esbeltez ou a redução da razão de diâmetros, ocorre o incremento da *OSR*. Esta mesma observação também é percebida com incremento do número de Reynolds.

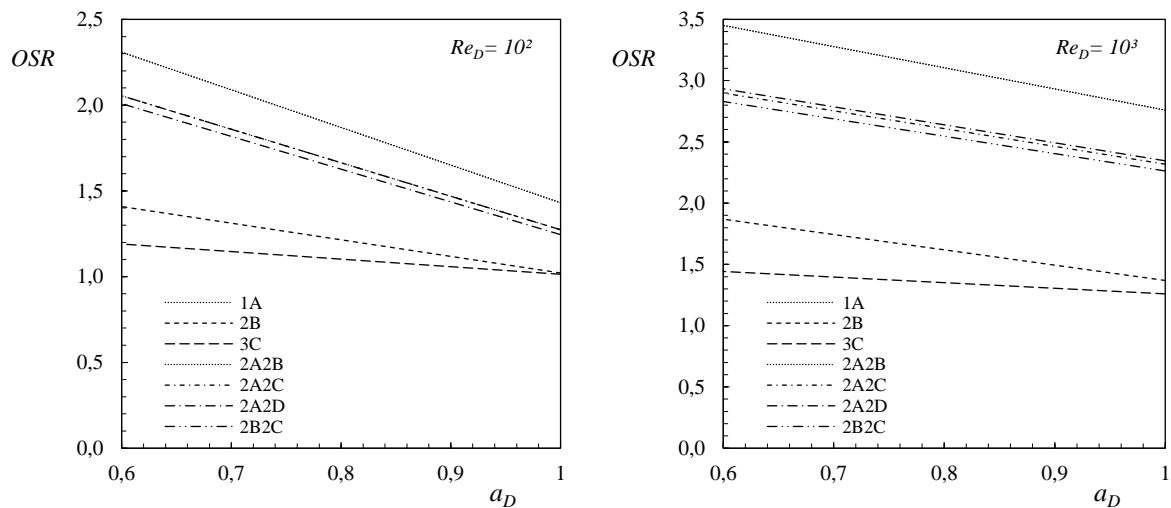


Figura 5 - Razão global da estrutura obstruída, Eq. (10), em função da razão de diâmetros e número de Reynolds

Comparando as curvas, destaca-se que a obstrução no nível 1 possui a maior *OSR* para todas as relações de diâmetros, enquanto a obstrução no nível 3 possui a menor *OSR*.

Em um extremo, a obstrução ocorrendo no nível 1, a resistência ao escoamento é incrementada entre 1,45 a 2,43 vezes para  $Re_D = 10^2$  e 2,41 a 3,00 vezes para  $Re_D = 10^3$ . No outro extremo, para a obstrução no nível 3, a resistência é incrementada entre 1,08 a 1,30 vezes e 1,28 a 1,37 vezes, respectivamente para o menor e maior número de Reynolds.

Os valores de  $OSR$  para obstruções no nível 2 são intermediários entre o nível 1 e o nível 3. Porém, observa-se que quando dois tubos são obstruídos no nível 2, o valor de  $OSR$  é superior, quando comparado a um único tubo obstruído no mesmo nível de ramificação.

Desta forma, com a análise dos resultados da Fig. 5, a razão global da estrutura obstruída demonstra a proporcionalidade entre a quantidade de tubos obstruídos e a resistência global ao escoamento. Estes resultados complementam as avaliações elencadas para a Fig. 3.

A Figura 6 compara as perdas de carga adimensional, para as estruturas com obstruções, que são obtidas por meio do número de Euler Eq. (9) em função da razão de diâmetros e número de Reynolds.

É possível observar, na Fig. 6, a tendência do número de Euler aumentar conforme o número de Reynolds diminui, além de diminuir conforme aumenta a razão de diâmetros ou redução do índice de esbeltez.

Seguindo o pensamento da representação física do número de Euler, ou seja, a razão das forças de pressão para as forças de inércia, quando uma obstrução ocorre em níveis de ramificação menos elevados, significa um incremento expressivo nas forças de inércia (em relação às forças de pressão) ocorrendo à medida que reduz a razão de diâmetros ou aumenta o índice de esbeltez. Por outro lado, este incremento não é tão expressivo para quando as obstruções ocorrem em níveis de ramificação mais elevados.

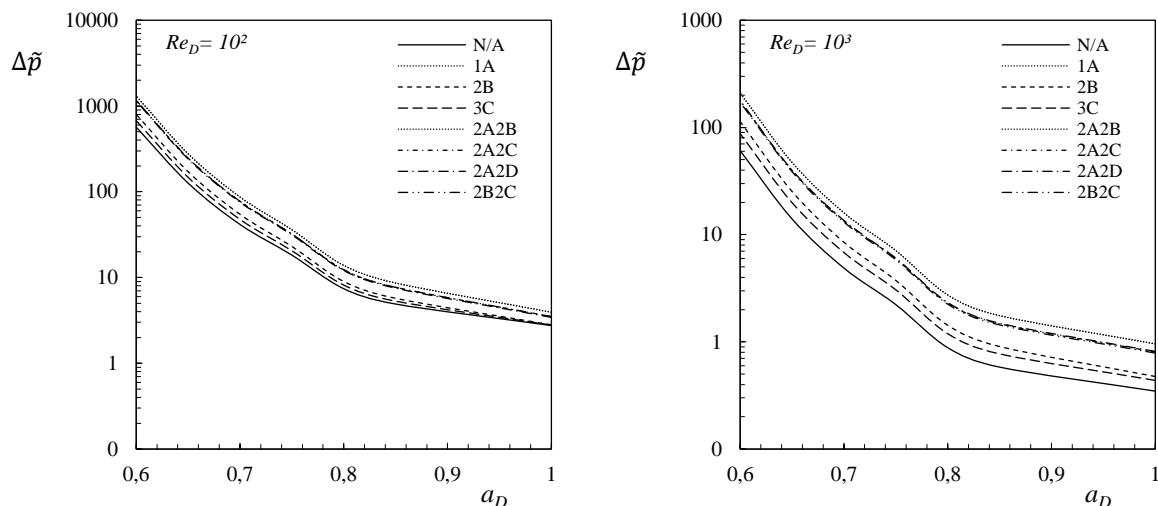


Figura 6 - Número de Euler Eq. (10) em função da razão de diâmetros e número de Reynolds

#### 4. CONCLUSÕES

Estruturas em forma de árvore com obstruções em seus tubos foram estudadas sob escoamento laminar. Supõe-se que a rede de tubos bifurcados simétricos tenha um volume constante em cada nível de ramificação. A seguir estão os principais resultados deste trabalho.

Ao aplicar obstruções totais em ramos da estrutura em forma de árvore, obteve-se a resposta fluidodinâmica. Logo, uma conclusão óbvia é que a estrutura que possui uma obstrução terá um desempenho inferior a uma estrutura sem obstrução e toda a obstrução gera um desequilíbrio na distribuição do escoamento, em maior ou menor intensidade, dependendo do local e das relações geométricas da estrutura.

O local de aplicação da obstrução é importante porque, quanto mais tubos livres na saída do sistema, melhor será o desempenho da estrutura em forma de árvore. Assim, as obstruções nos níveis mais próximos da entrada do sistema são mais significativas para a redução do

desempenho que as obstruções nos últimos níveis de ramificação, ou seja, mais próximos da saída do sistema.

O princípio geral, ao aplicar um elemento de obstrução em um certo nível de ramificação  $i$ , a relação  $R_i / RT$  deste nível aumenta, diminui para os níveis menores que  $i$  e aumenta para os níveis maiores que  $i$ .

As conclusões deste estudo mostram que permitir que os sistemas de escoamento alterem o seu design permite-lhes melhorar o seu desempenho global. Isto significa que será capaz de melhorar a conectividade dos caminhos de fluxo e maximizar o acesso ao escoamento. Assim, a lei construtal pode ser utilizada neste campo de projeto evolutivo de redes de distribuição de fluido.

### **Agradecimentos**

Este estudo foi financiado em parte pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código Financeiro 001. F. Zinani é bolsista PQ CNPq (Proc. No. 311444/2021-0) e possui financiamento da FAPERGS PqG (Proc. No. 21/2551-0002169-1). L. Rocha é bolsista PQ CNPq (307791/2019-0). A.F. Miguel foi apoiado por financiamento português atribuído pela FCT - Fundação para a Ciência e a Tecnologia, I.P., projetos UIDB/04683/2020 e UIDP/04683/2020.

### **REFERENCES**

- Bejan, A. (2000), “*Shape And Structure, From Engineering To Nature*”, Cambridge University Press, Cambridge.
- Bejan, A. (2017), “*A. Evolution in thermodynamics*”, Applied Physics Reviews 4.
- Bejan, A., Lorente, S. (2008), “*Design With Constructal Theory*”, John Wiley & Sons, Hoboken.
- Celik, I. B., Ghia, U., e Roache, P. J. (2008) Procedure for estimation and reporting of uncertainty due to discretization in CFD applications. Journal of Fluids Engineering. 130, 1-4.
- Liu, Y., So, R.M.C., Zhang, C. H. (2002), Modeling the bifurcating flow in a human lung airway. Journal of Biomechanics, 35, 465-47.
- Hess, W. R. (1917) Über die periphere Regulierung der Blutzirkulation. Pflüger's Archiv für die gesamte Physiologie des Menschen und der Tiere. 168, 439-490.
- Miguel, A. F., Rocha, L. A. O. (2018), “*Tree-shaped flow networks fundamentals, in Tree-Shaped Fluid Flow and Heat Transfer*”, Springer, New York.
- Murray, C. D. (1926), The physiological principle of minimum work applied to the angle of branching of arteries. J. Gen. Physiol, 9, 835-841.
- Murray, C. D. (1926a), The physiological principle of minimum work. I. The vascular system and the cost of blood volume. Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A, 12, 207-2141.
- Pepe, V. R., Rocha, L. A. O. Miguel, A. F. (2017), Optimal branching structure of fluidic networks with permeable walls. BioMed Research International, 2017, 1-12.
- Pepe, V. R., Rocha, L. A. O. Zinani, F. S. F., Miguel, A. F. (2019), Numerical Study of Newtonian Fluid Flows in T-Shaped Structures with Impermeable Walls. Defect and Diffusion Forum, 396, 177-186.
- Pepe, V. R., Miguel, A. F., Zinani, F. S. F., Rocha, L. A. O. (2022), New insights into creeping fluid flow through dendritic networks: A constructal view. International Communications in Heat and Mass Transfer, 139, 1-12.
- Roache, P. J. (1997) Quantification of uncertainty in computational fluid dynamics. Annual Review of Fluid Mechanics. 29, 123-160.
- Zhang, C. H., Liu, Y., So, R.M.C., Phan-Thien, N. (2002), The influence of inlet velocity profile on three-dimensional three-generation bifurcating flows. Computational Mechanics, 29, 422-429.

## **OBSTRUCTED BRANCHED STRUCTURES: A CONSTRUCTAL APPROACH IN FLUID FLOW RESEARCH**

**Abstract.** *Tree flow network structures are common in natural systems. The organization of the flow hierarchy passes through the dimensional evolution of the form and the evolution of functionality. Thus, the objective of comparing bifurcated tube structures obtained by the Construal Design method, where part of the structure is obstructed, aims to understand the effects on fluid flow and the prediction of evolutionary deviations in shape. This study compares designs with various homothety reduction factors for diameters and lengths with the implementation of a total obstruction that significantly alters the fluid dynamics using 3D tube structures. The geometric constraint applied to these networks is equal pipe volume at each branch level. The evaluation is based on the flow resistance of the networks calculated based on Computational Fluid Dynamics (CFD) results. This study shows, among other things, that the performance of dendritic designs is highly dependent on geometric characteristics and branching level where the obstructions are applied. It is recommended that the effects and results presented be considered when designing networks for engineering systems.*

**Keywords:** *Constructal design; Tree network flow; Obstructed.*