



Análise dos parâmetros globais do escoamento a baixo número de Reynolds para difusores radiais modificados

Analysis of global flow parameters at low Reynolds number for modified radial diffusers

Gabriel Campoi Karashima¹, Adailton Silva Borges², Adriano Silva Borges³,
Ricardo Lopes Ferreira⁴

RESUMO

Com sua alta empregabilidade em sistemas de refrigeração e considerável influência na eficiência do ciclo, as válvulas tipo palheta são comumente simplificadas para difusores radiais em simulações numéricas. Neste trabalho, os parâmetros globais do escoamento foram obtidos através do modelo físico de um difusor radial modificado com chanfro de 23° para diferentes afastamentos entre discos. O método de volumes finitos foi empregado para a discretização das equações governantes do escoamento com a aplicação do modelo de turbulência $\kappa - \epsilon$ RNG. Com as modificações, a área efetiva de força diminuiu para os casos avaliados e uma ligeira melhora do coeficiente de descarga foi notada.

PALAVRAS-CHAVE: difusor radial; OpenFOAM; parâmetro global de escoamento; simulação numérica; válvula palheta.

ABSTRACT

With their high applicability in refrigeration systems and considerable influence on cycle efficiency, reed type valves are commonly simplified for radial diffusers in numerical simulations. In this work, the global flow parameters were obtained through the physical model of a modified radial diffuser with a chamfer of 23° for different displacement between discs. The finite volume method was used to discretize the governing flow equations by applying the RNG $\kappa - \epsilon$ turbulence model. With the modifications implemented, the effective force area decreased for the evaluated cases and a slight improvement in the discharge coefficient was noted.

KEYWORDS: radial diffuser; OpenFOAM; global flow parameters; numerical simulation; reed valve.

INTRODUÇÃO

Os compressores alternativos são os mais utilizados devido a sua ampla faixa de condições de operação, tamanhos, durabilidade e por serem economicamente viáveis (CASANOVA, 2001), sendo as válvulas do tipo palheta (Figura 1a) amplamente aplicadas nos compressores alternativos utilizados em sistemas de refrigeração. Esta exerce grande influência nas perdas devido aos efeitos viscosos do escoamento durante os processos de sucção e descarga do compressor (FERREIRA; GASCHÉ, 2019).

¹ Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cornélio Procópio, Paraná, Brasil. E-mail: karashima@alunos.utfpr.edu.br. ID Lattes: 4429123872562960.

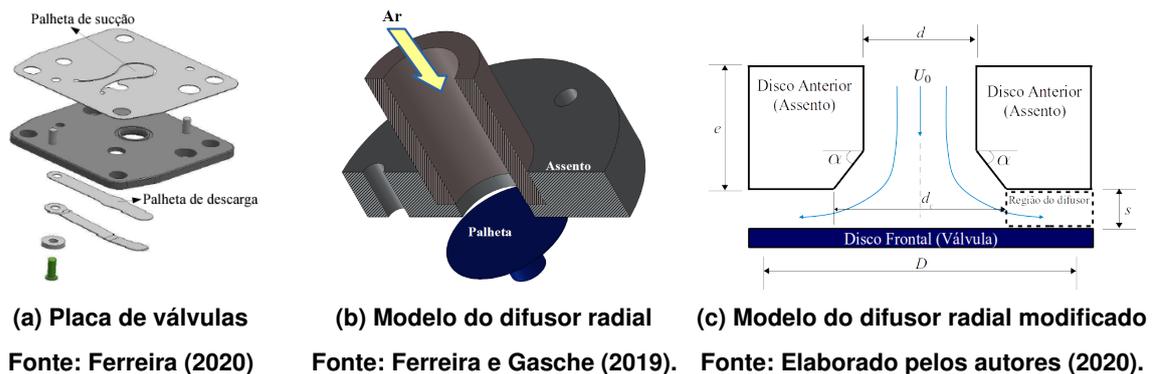
² Docente no Curso de Engenharia Mecânica/Departamento de Engenharia Mecânica. Universidade Tecnológica do Paraná, Cornélio Procópio, PR, Brasil. E-mail: adailton@utfpr.edu.br. ID Lattes: 1976568434573411.

³ Docente no Curso de Engenharia Mecânica/Departamento de Engenharia Mecânica. Universidade Tecnológica do Paraná, Cornélio Procópio, PR, Brasil. E-mail: adrianoborges@utfpr.edu.br. ID Lattes: 2015647660010183.

⁴ Docente no Curso de Engenharia Mecânica/Departamento de Engenharia Mecânica. Universidade Tecnológica do Paraná, Cornélio Procópio, PR, Brasil. E-mail: ricardoferreira@utfpr.edu.br. ID Lattes: 3138126883628773.

Dado o exposto, o aprofundamento das investigações na dinâmica do sistema de válvulas é essencial para conhecer os motivos das perdas e possibilidades de aumento da eficiência do mesmo. A ferramenta numérica desempenha um papel fundamental nestas investigações, pois tais sistemas possuem tamanhos reduzidos, dificultando a realização de experimentos. Entretanto, a realização da simulação numérica é complexa, englobando todos os fenômenos físicos simultaneamente, principalmente da interação fluido-estrutura (FERREIRA; GASCHE, 2019). Segundo Ferreira e Gasche (2019), este método produz resultados bem precisos quando metodologicamente validados, mas demandam um alto custo computacional e tempo para a convergência do problema. Em contrapartida, é possível realizar uma simulação quase-estacionária, onde a dinâmica do escoamento é desacoplada da dinâmica da válvula, a qual é simplificada na sua forma geométrica complexa (Fig. 1a) utilizando o modelo físico do difusor radial (Fig. 1b). Estas simplificações propiciam menores tempo para análise (PARK et al., 2023) e demanda computacional (CASANOVA, 2001). Ademais, sua precisão atinge níveis satisfatórios dependendo dos propósitos requeridos (FERREIRA; GASCHE, 2019).

Figura 1 – Sistema de válvulas palheta e respectivas simplificações



Um dos modelos físicos do difusor radial (Figura 1b) é de alimentação axial composto por dois discos concêntricos e paralelos. O fluido provém do orifício de alimentação de diâmetro d presente no disco anterior (assento da válvula). É encaminhado para o disco frontal (válvula tipo palheta) de diâmetro D , onde será desviado e transformado em um escoamento radial na abertura entre os discos de altura s , formando a região do difusor (Figura 1c).

O modelo físico do difusor radial padrão, sem modificações, é bastante empregado para simulação do escoamento em válvulas de compressores, conforme é apresentado na revisão da literatura feita por Ferreira (2020). Por outro lado, trabalhos avaliando parâmetros do escoamento em difusores radiais modificados são bem menores, não abrangendo a vasta e ampla condições de operação quando aplica estas análises para compressores alternativos. Exemplo de trabalhos com difusores radiais modificados são o da Mariani, Prata e Deschamps (2010) e, recentemente, de Rigola et al. (2015). O primeiro lida com um difusor com razão de diâmetros ($D/d = 3$) muito elevada para aplicações em compressores de refrigeração. Rigola et al. (2015), por sua vez, avalia a área efetiva de força e de escoamento para apenas um afastamento adimensional $s/d = 0,11$ para escoamento com Reynolds igual a 422.000.

O presente trabalho apresenta uma proposta para ampliar o estudo dos parâmetros globais



para diferentes configurações geométricas do difusor e do escoamento. Conforme mostrado na Fig. 1c, as simulações foram realizadas para um difusor radial modificado com $\alpha = 23^\circ$, variando o s/d de 0,2 até 0,6 para um escoamento com o número de Reynolds baixo igual a 3.000.

METODOLOGIA DE SOLUÇÃO

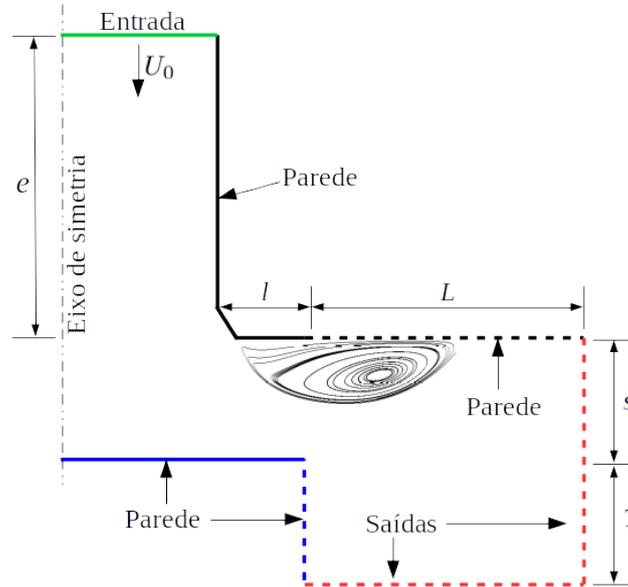
O campo bidimensional de escoamento de ar (com viscosidade cinemática igual a $1,5 \times 10^{-5}$ m²/s) foi simulado em regime permanente e adotado um modelo axissimétrico, com equações governantes discretizadas pelo método dos volumes finitos, conforme apresentado em Ferreira (2020). Esta tarefa foi realizada por meio de um software gratuito e de código aberto denominado OpenFOAM®. As simulações foram realizadas para diferentes afastamentos adimensionais entre os discos do difusor (0,2 até 0,6) para um ângulo de chanfro fixo $\alpha = 23^\circ$, uma razão de diâmetros $D/d = 1,15$, com $d = 34,83$ mm e uma razão de diâmetro associado ao chanfro com o diâmetro do orifício de alimentação $d_c/d = 1,05$, implicando em $d_c = 36,57$ mm. O comprimento do orifício de alimentação foi definido como $e = 25d$ para que o escoamento se desenvolva completamente mesmo com a imposição de um perfil uniforme na entrada do domínio, conforme mostrado na Fig. 2.

As condições de contornos empregadas são: condição de axissimetria no eixo central do difusor radial; condição de parede impermeável e de não deslizamento em todas as regiões definidas como parede na Fig. 2; condição de derivada nula nas regiões de saída. Dependendo da velocidade imposta na entrada e do afastamento entre os discos (s) forma-se uma bolha de recirculação, conforme mostrado na Fig. 2 sem escala, meramente com o propósito ilustrativo. Dependendo das configurações geométricas e do escoamento, a bolha de recirculação cresce pra fora da região do difusor, obrigando o analista numérico fazer um alongamento do domínio computacional na direção radial (L) e na direção axial (T). Para garantir a consistência física da condição de contorno imposta na região de saída, o recurso do domínio computacional prolongado foi usado para todas as configurações da seguinte forma: $s/d = 0,2$, $L = 2d$ e $T = 2d$; $s/d = 0,4$, $L = 2d$ e $T = d$; $s/d = 0,6$, $L = 3d$ e $T = d$.

As equações governantes deste escoamento, conservação da massa e do balanço da quantidade de movimento foram discretizadas utilizando o método de volumes finitos explanadas por Ferreira (2020). A discretização do domínio computacional foi realizada por uma ferramenta interna (blockMesh) do OpenFOAM® para construção de malhas estruturadas. O algoritmo de acoplamento pressão-velocidade SIMPLEC foi utilizado para a solução deste escoamento. As demais informações de solução, tais como esquemas de interpolação de segunda ordem, algoritmos de solução do sistema linear e modelos de turbulência são detalhados por Ferreira (2020).

A validação deste modelo numérico foi realizado por Ferreira (2020) visando: o delineamento correto do domínio computacional, uso adequado da discretização espacial do domínio, realizando testes de refinamento de malha e melhor escolha de modelos de turbulência para cada configuração do difusor e do escoamento. Todos os requisitos para o uso correto do modelo numérico definido por Ferreira (2020) foram adotados para os casos simulados, para os quais, empregou-se o modelo de turbulência $\kappa - \epsilon$ RNG nas equações RANS (Reynolds Averaged Navier-Stokes ou Navier-Stokes com Médias de Reynolds).

Figura 2 – Domínio computacional e as condições de contornos empregadas



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

As equações para o cálculo da área efetiva de força adimensional e do coeficiente de descarga são apresentadas a seguir. A força F foi obtida por meio de uma integração do perfil de pressão sobre o disco frontal. A variação de pressão na válvula (Δp) foi adotada como sendo a pressão no centro do disco frontal. A_t é a área do orifício de alimentação do difusor, \dot{m}_v é o fluxo de massa na válvula, k é a razão de calores específicos, r é a razão de pressão na escala absoluta e tanto p_u como T_u representam a pressão e a temperatura à montante, respectivamente.

$$A_{ef}^* = \frac{F}{\Delta p A_t} \quad (1)$$

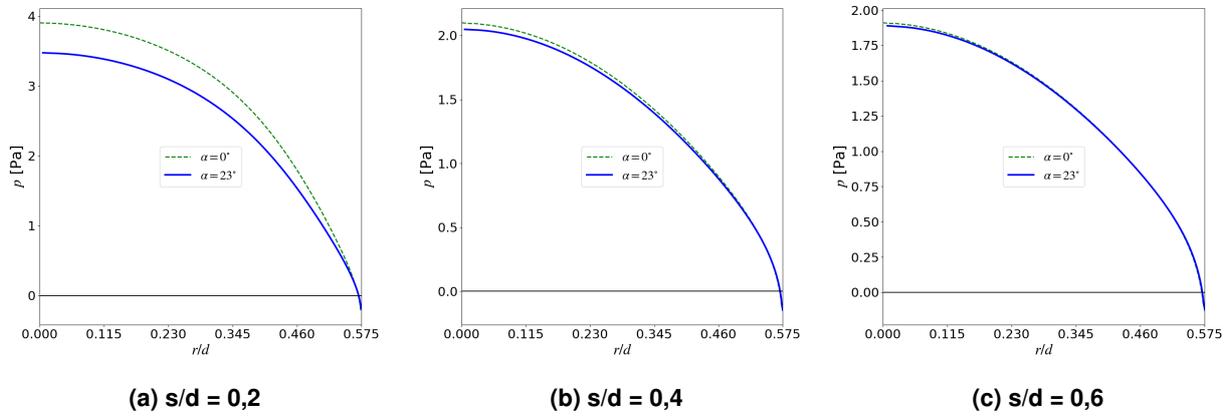
$$C_d = \frac{\dot{m}_v}{A_t p_u \sqrt{\frac{2k}{(k-1)RT_u} \left(r^{\frac{2}{k}} - r^{\frac{k+1}{k}} \right)}} \quad (2)$$

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Figura 3 apresenta as distribuições da pressão na superfície do disco frontal nos respectivos afastamentos estudados para ambos os modelos de difusores. Note que, para ambos os casos e todos os afastamentos, a pressão decresce na forma de uma curva parabólica. Neste tipo de escoamento, ocorre no difusor, a formação de uma bolha de recirculação que estrangula o escoamento, aumentando a velocidade, justificando a queda de pressão para valores negativos próximo à região de descarga do difusor.



Figura 3 – Comparação da distribuição de pressão na superfície do disco frontal

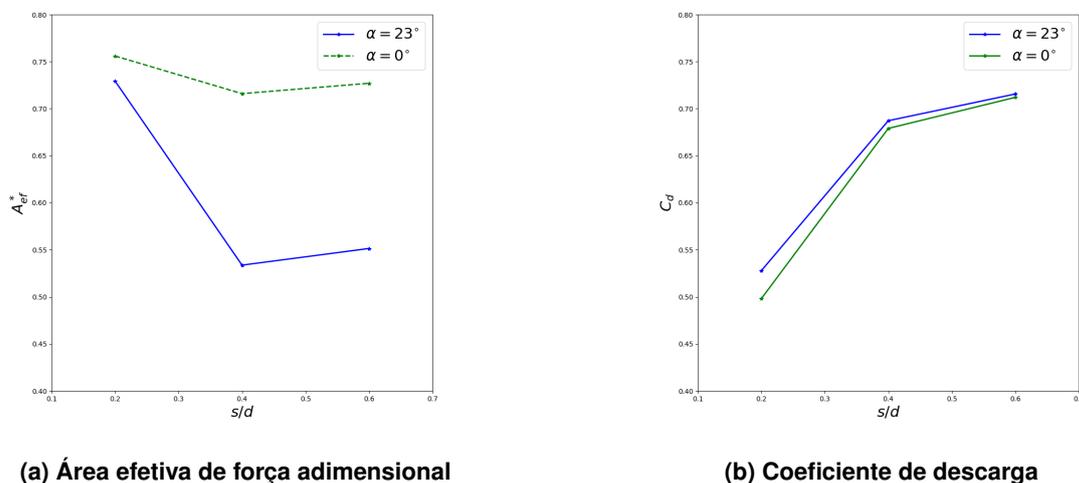


Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

As Figs. 4a e 4b mostram o comportamento, respectivamente, da área efetiva de força adimensional e do coeficiente de descarga em função do afastamento adimensional dos discos. Os valores da área efetiva para o escoamento através do difusor com modificações diminui devido à implementação da modificação no difusor, pois o tamanho da bolha é menor do que aquela formada com o difusor radial sem modificações, a qual restringe menos a passagem do escoamento na região do difusor. Portanto, como pode ser notado nas Figs. 3a a 3c, os valores de pressão no centro do disco é sempre menor para o difusor radial com a implementação do chanfro.

Por outro lado, o coeficiente de descarga (Fig. 4b), como esperado, é ligeiramente maior para o difusor radial modificado principalmente para o afastamentos menores. Quando aumenta o afastamento, o coeficiente de descarga tende a unificar para os diferente tipos de difusores, pois os efeitos viscosos do escoamento provocados pelo disco frontal deixa de influenciar conforme o disco frontal se afasta do disco anterior, tendendo a uma condição idealizada de escoamento invíscido na região do difusor radial.

Figura 4 – Comparação dos parâmetros globais do escoamento para os casos analisados



(a) Área efetiva de força adimensional

(b) Coeficiente de descarga

Fonte: Elaborado pelos autores (2023).



CONCLUSÕES

A modificação implementada no difusor radial diminuiu os valores da área efetiva de força na faixa avaliada de espaçamento entre os discos. Por outro lado, diminui a queda de pressão no sistema de modo a propiciar maiores valores de coeficientes de descarga. Assim, de modo geral, a implementação otimiza o sistema, garantindo um maior fluxo de massa se aplicadas em válvulas de compressores alternativos. Entretanto, para maiores afastamentos, como analisado neste trabalho, este efeito deixa de ser significativo.

Agradecimentos

À UTFPR, campus de Cornélio Procópio, pelo apoio ao desenvolvimento deste trabalho.

Conflito de interesse

Não há conflito de interesse.

REFERÊNCIAS

- CASANOVA, Daniel A. S. **Análise Numérica do Escoamento Turbulento em Válvulas Automáticas de Compressores**. 2001. 284 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, fev. 2001. Disponível em: [🔗](#). Acesso em: 7 ago. 2023.
- FERREIRA, Ricardo L. **Área Efetiva de Força e Coeficiente de Descarga para Escoamentos em Difusores Radiais: um conjunto amplo de dados de soluções numéricas para aplicação em válvulas de compressores de refrigeração**. 2020. 125 f. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, SP, dez. 2020. Disponível em: [🔗](#). Acesso em: 7 ago. 2023.
- FERREIRA, Ricardo L.; GASCHÉ, José L. Effective force area and discharge coefficient for reed type valves: A comprehensive data set from a numerical study. **International Journal of Refrigeration**, Elsevier, v. 103, p. 287–300, jul. 2019. ISSN 0140-7007. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2019.04.017>.
- MARIANI, Viviana C.; PRATA, Alvaro T.; DESCHAMPS, Cesar J. Numerical analysis of fluid flow through radial diffusers in the presence of a chamfer in the feeding orifice with a mixed Eulerian–Lagrangian method. **Computers & Fluids**, Elsevier, v. 39, n. 9, p. 1672–1684, out. 2010. ISSN 0045-7930. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compfluid.2010.06.003>.
- PARK, Jeong D. et al. Determination of Effective Flow and Force Areas for Reed Type Compressor Valve Systems: Part 1—Model Derivation Using CFD Analysis Results. **Energies**, MDPI, v. 16, n. 7, mar. 2023. ISSN 0894-1777. DOI: <https://doi.org/10.3390/en16072951>.
- RIGOLA, J. et al. Numerical analysis of the turbulent fluid flow through valves. Geometrical aspects influence at different positions. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**, IOP Publishing, v. 90, set. 2015. DOI: [10.1088/1757-899X/90/1/012026](https://doi.org/10.1088/1757-899X/90/1/012026).