



**XVIII CONBRAVA - CONGRESSO BRASILEIRO DE REFRIGERAÇÃO, AR-CONDICIONADO, VENTILAÇÃO, AQUECIMENTO E TRATAMENTO DO AR**  
São Paulo Expo – 13 à 15 de setembro de 2023

## **ANÁLISE DO DESEMPENHO TÉRMICO DE NANOFUIDOS DE NANOTUBOS DE CARBONO DE PAREDE MÚLTIPLA (MWCNT) EM UM DIFUSOR CÔNICO**

### **PAPER 73**

#### **RESUMO**

*A crescente demanda por sistemas térmicos com maior potência e eficiência, despertou o interesse da indústria e de pesquisadores pela implementação de técnicas passivas e ativas para aprimorar o desempenho térmico de trocadores de calor. Além disso, os fluidos convencionais utilizados em trocadores de calor, como, água, etilenoglicol, etc., apresentam baixa condutividade térmica, reduzindo a transferência de calor. A combinação de difusores e nanofluidos nos sistemas térmicos, como coletores solares, radiadores automotivos, reatores nucleares, etc., pode incrementar o desempenho térmico desses sistemas, devido à elevada condutividade térmica dos nanofluidos e ao descolamento da camada limite gerado pelos difusores. Desta forma, este trabalho tem como objetivo, a análise numérica do desempenho térmico de nanofluidos de nanotubos de carbono de parede múltipla (MWCNT)/EG-água em um difusor cônico. Foram realizadas simulações para o número de Reynolds de 5000 - 70000 e concentrações de 0,026 - 0,107 vol.%, enquanto a temperatura da parede do difusor foi mantida constante. Os resultados do número de Nusselt apresentaram concordância com os resultados disponíveis na literatura. Além disso, observou-se a diminuição da temperatura de saída do difusor com o incremento da quantidade de nanopartículas. Ademais, ocorreu o aumento do número de Nusselt em até 26,76% para o nanofluido com a maior concentração de nanopartículas em relação ao fluido base. A partir dos resultados obtidos neste trabalho, pode-se concluir que os nanofluidos de MWCNT/EG-água em um difusor cônico apresentam resultados promissores para aplicação em sistemas de transferência de calor.*

**Palavras-chave:** Difusor cônico. MWCNT. CFD. Nanofluido.

#### **ABSTRACT**

The growing demand for thermal systems with greater power and efficiency, has aroused the interest of both industry and researcher in the implementing of passive and active techniques to improve the thermal performance of heat exchangers. Additionally, conventional fluids used in heat exchangers, such as water, ethylene glycol, etc., have low thermal conductivity, which reduces heat transfer. The combination of diffusers and nanofluids in systems such as solar collectors, automotive radiators, reactors, etc., can improve the thermal performance of these systems, due to the high thermal conductivity of the nanofluids and the detachment of the boundary layer generated by the diffusers. Therefore, the objective of this work aims is to numerically analyze of the thermal performance of multi-wall carbon nanotube (MWCNT)/EG-water nanofluids in a conical diffuser. Simulations were performed for Reynolds numbers ranging from 5000 to 70000 and concentrations from 0.026 to 0.107 vol.%, while keeping the diffuser wall temperature constant. The results of the Nusselt number agreed with the results available in the literature. Additionally, a decrease in the diffuser outlet temperature was observed with an increase in the amount of nanoparticles. Moreover, there was an increase in the convective heat transfer coefficient of up to 26.76% for the nanofluid with the highest concentration of nanoparticles in relation to the base fluid. Based on the results obtained in

this work, it can be concluded that MWCNT/EG-water nanofluids in a conical diffuser present promising results for applications in heat transfer systems.

**Keywords:** Conical diffuser. MWCNT. CFD. Nanofluid.

## 1 INTRODUÇÃO

A utilização de nanofluidos em trocadores de calor tem demonstrado ser uma solução promissora para o aprimoramento do desempenho térmico e a miniaturização dos sistemas térmicos. Este tipo de fluido consiste na suspensão coloidal de partículas nanométricas ( $\leq 100$  nm) em um fluido convencional, como, água, óleo, etilenoglicol, etc., que é denominado de fluido base. A dispersão dessas nanopartículas pode aprimorar as propriedades termofísicas do fluido, acarretando no aumento da eficiência do sistema térmico (ABBAS et al., 2020).

Os difusores são amplamente empregados em sistemas onde ocorre a dissipação de calor, como, coletores solares, radiadores automotivos, reatores, etc., porque esses dispositivos propiciam o aumento da pressão (proveniente da redução da velocidade do escoamento). Além disso, os difusores podem alterar o perfil de velocidade do escoamento, aumentando a transferência de calor (IACHACHENE et al., 2023).

Zahan et al. (2022) avaliaram numericamente o desempenho de nanofluidos híbridos de cobalto (Co), prata (Ag) e zinco (Zn) com concentrações volumétricas de 0,001 – 0,04% em um bocal convergente-divergente com diferentes concentrações da mistura de etilenoglicol e água destilada (100:0, 40:60, 50:50 e 0:100) como fluido base. Para todos os casos analisados, foi considerado o regime laminar ( $Re = 10 - 300$ ), no qual foi identificado que o nanofluido com etilenoglicol puro apresenta a maior taxa de transferência de calor, cujo maior aumento com o incremento do número Reynolds corresponde a 76,97%. O aumento do diâmetro médio das nanopartículas de 5 nm para 100 nm reduziu a taxa de transferência de calor em até 13,76%.

Iachachene et al. (2022) realizaram um estudo do escoamento turbulento de nanofluidos mono e híbridos de  $Al_2O_3$  e nanomaterial de mudança de fase encapsulado (NEPCM, do inglês Nano Encapsulated Phase Change Material). Foi observado que o nanofluido de NEPCM apresentou menor queda de pressão e maior incremento na transferência de calor do que os outros nanofluidos. Esse nanofluido obteve um incremento de 15% no número de Nusselt em relação ao fluido base, enquanto que o nanofluido de NEPCM- $Al_2O_3$  e o de  $Al_2O_3$  foram de 10% e 6%, respectivamente.

Iachachene et al. (2023) realizaram um estudo sobre o desempenho térmico e hidráulico de nanofluidos de  $TiO_2$  e  $SiO_2$  mono e híbridos para a faixa de números de Reynolds de 10000 a 70000 e concentrações volumétricas de nanopartículas de 0,5% a 1,5%. Os autores observaram uma redução na transferência de calor com o aumento da concentração de nanopartículas de  $TiO_2$  e de  $SiO_2$ , conquanto para o nanofluido híbrido com uma concentração volumétrica de 0,5%, identificou-se o maior aumento no número de Nusselt em comparação ao fluido base.

Conforme Huq et al. (2022), os três principais tipos de nanopartículas são, as metálicas, cerâmicas e à base de carbono. As nanopartículas cerâmicas, como óxidos ( $\text{CuO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ , etc.), possuem baixa condutividade térmica, sendo necessárias altas concentrações de nanopartículas para observar incrementos significativos na condutividade térmica no fluido base. As nanopartículas metálicas possuem propriedades térmicas superiores às dos óxidos, acarretando aumento da condutividade térmica do fluido refrigerante, mesmo em concentrações inferiores. As nanopartículas de carbono apresentam condutividade térmica superior às outras nanopartículas mencionadas, além de baixa densidade e grande área superficial. Segundo Ukueje, a família dos materiais baseados em carbono é a que possui a maior condutividade térmica em relação às outras nanopartículas comumente utilizadas em trocadores de calor.

Contreras e Bandarra Filho (2022) analisaram o desempenho térmico de nanofluidos de MWCNT/EG-água em um radiador automotivo, com concentrações volumétricas de nanopartículas variando de 0,026% – 0,107%. Os autores identificaram ganhos de até 4,6% na taxa de transferência de calor para o nanofluido com a maior concentração de nanopartículas. Além disso, os autores mediram a condutividade térmica e a viscosidade dinâmica dos fluidos refrigerantes, e foi possível observar um aumento de até 6,4%.

A partir da revisão realizada, verificou-se que há poucos estudos sobre a aplicação de nanofluidos em difusores. Além disso, identificou-se que não há trabalhos sobre a utilização de nanofluidos de nanotubos de carbono de parede múltipla neste tipo de dispositivo. Portanto, o objetivo deste trabalho é analisar o desempenho térmico dos nanofluidos de MWCNT/EG-água (0,026 - 0,107 vol.%) em um difusor cônico em regime turbulento por meio da dinâmica dos fluidos computacional.

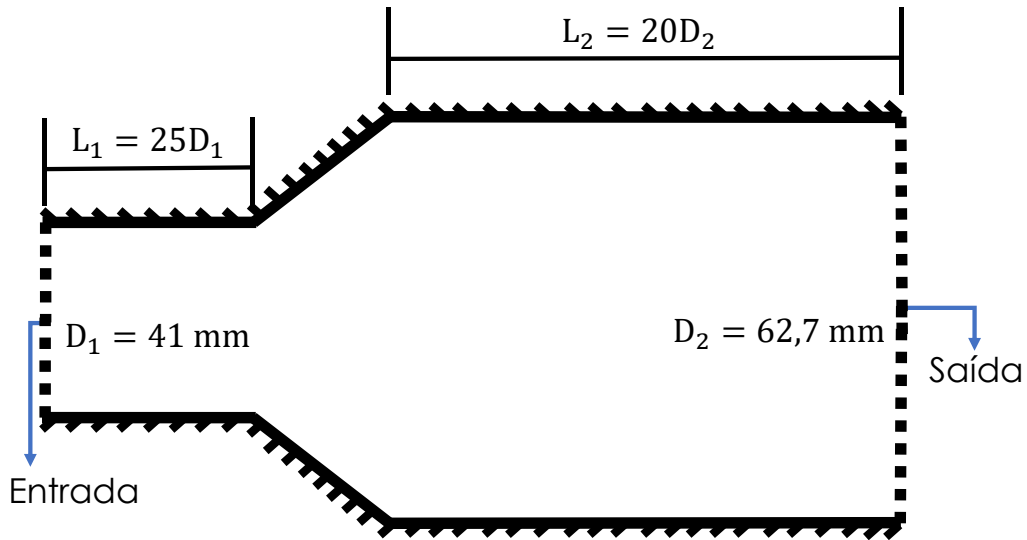
## **2 METODOLOGIA NUMÉRICA**

### **2.1 Modelo geométrico e condições de contorno**

Está ilustrado na Figura 1 o modelo esquemático da geometria do difusor cônico utilizado neste trabalho. As dimensões utilizadas são as mesmas adotadas por Iachachene et al. (2023), com a diferença de que, no presente trabalho, considerou-se o domínio completo para a simulação.

Na região de entrada, foi considerado o escoamento desenvolvido, através da criação de um tubo reto com o mesmo diâmetro de entrada do difusor (41 mm), cujo ângulo de abertura é de 8 graus. Na região de saída o diâmetro possui 62,7 mm, e foi configurada uma pressão estática nula e a consideração de um gradiente axial nulo para as outras variáveis. As regiões de parede foram configuradas com temperatura constante de 340 K e a condição de não deslizamento, ou seja, a velocidade do escoamento é zero.

Figura 1 - Domínio computacional e configuração geométrica



Fonte: Elaborado pelo autor.

## 2.2 Equações de balanço

Devido à baixa concentração volumétrica de nanopartículas, e considerando que as propriedades termofísicas das nanopartículas de MWCNT não apresentam mudanças significativas com a variação de temperatura, que as nanopartículas se movem na mesma velocidade que o fluido base, e assumindo o fluido como monofásico, newtoniano e incompressível, foram empregadas as equações monofásicas da conservação da massa (1), quantidade de movimento linear (2) e energia (3) para modelar o escoamento e a transferência de calor dos fluidos refrigerantes.

$$\frac{\partial(\rho u_i)}{\partial x_i} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i u_j) = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \mu \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} - \frac{2}{3} \delta_{ij} \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial x_j} (-\rho \overline{u'_i u'_j}) \quad (2)$$

$$\frac{\partial}{\partial x_i} [u_i (\rho E + p)] = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[ \left( k + \frac{C_p \mu_t}{Pr_t} \right) \frac{\partial T}{\partial x_j} + u_i (\tau_{ij})_{\text{eff}} \right] \quad (3)$$

Nas equações,  $\rho$  é a massa específica do fluido,  $u_i$  é a componente do vetor velocidade,  $x_j$  é o vetor de coordenadas cartesianas,  $p$  é a pressão do fluido,  $\mu$  é a viscosidade dinâmica,  $u'_i$  é a componente da flutuação instantânea da velocidade,  $k$  é a condutividade térmica,  $C_p$  refere-se ao calor específico,  $T$  é a temperatura, e  $\delta_{ij}$  é o delta de Kronecker.  $E = c_p T - (p/\rho) + (u^2/2)$  é a energia total e  $(\tau_{ij})_{\text{eff}} = \mu \left( \frac{\partial u_j}{\partial x_i} + \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right)$  é o tensor das tensões viscosas (EKICILER; ÇETINKAYA, 2021).

Por considerar o escoamento como turbulento, é necessário modelar as

flutuações instantâneas das variáveis que afetam as equações que modelam o problema. Assim como Iachachene et al. (2023), utilizou-se o modelo  $\kappa - \omega$  SST para modelar a turbulência. Essa abordagem se destaca pela ampla gama de aplicações, como turbinas hidráulicas, reatores nucleares, trocadores de calor, entre outras (MOUSAVIZADEH et al., 2015; KUMAR; SAHOO, 2019). Segundo Fluent (2013) esse modelo consiste na combinação dos modelos de turbulência  $\kappa - \omega$  e  $\kappa - \epsilon$ , e apresenta resultados mais precisos sobre a separação do escoamento, quando comparado aos outros modelos RANS (do inglês, Reynolds-Averaged Navier-Stokes).

No modelo  $\kappa - \omega$  SST, a taxa de energia cinética turbulenta e a taxa de dissipação específica são calculadas por meio das equações (4) e (5), respectivamente. Para mais detalhes sobre esse modelo de turbulência, pode-se consultar o trabalho de Wilcox (1993).

$$\frac{\partial}{\partial x_i} (\rho \kappa u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \Gamma_\kappa \frac{\partial \kappa}{\partial x_j} \right) + \tilde{G}_\kappa - Y_\kappa + S_\kappa \quad (4)$$

$$\frac{\partial}{\partial x_i} (\rho \omega u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \Gamma_\omega \frac{\partial \omega}{\partial x_j} \right) + G_\omega - Y_\omega + D_\omega + S_\omega \quad (5)$$

### 2.3 Propriedades termofísicas

Para avaliar o desempenho térmico dos nanofluidos de MWCNT/EG-água, é necessário obter os valores de suas propriedades termofísicas, cuja previsão correta é fundamental para avaliar os parâmetros térmicos, como temperatura, coeficiente convectivo de transferência de calor, número de Nusselt, etc. (VANAKI et al., 2016).

As propriedades de condutividade térmica e viscosidade dinâmica do fluido base e dos nanofluidos foram retiradas do trabalho de Contreras e Bandarra Filho (2022). O calor específico e a massa específica do fluido base foram obtidos pela Ashrae (2013), e dos nanofluidos foram calculados através das equações (6) e (7), respectivamente (PAK e CHO, 1988; XUAN e ROTZEL, 2000).

$$\rho_{nf} = (1 - \phi) \rho_{bf} + \phi \rho_{np} \quad (6)$$

$$(\rho C_p)_{nf} = (1 - \phi) (\rho C_p)_{bf} + \phi (\rho C_p)_{np} \quad (7)$$

Todas as propriedades dos fluidos refrigerantes foram consideradas dependentes da temperatura local do escoamento por meio de funções definidas pelo usuário e implementadas no software Ansys Fluent.

### 2.4 Parâmetros termohidráulicos

O coeficiente convectivo de transferência de calor local e médio, foram calculados através das equações (8) e (9), respectivamente.

$$h_z = \frac{q''}{(T_w - T_f)_z} \quad (8)$$

$$h_{avg} = \frac{1}{L} \int_0^L h_z dz \quad (9)$$

O número de Nusselt foi obtido através da equação (10).

$$Nu_{avg} = \frac{h_{avg} \cdot D_h}{k_{nf}} \quad (10)$$

O desempenho termohidráulico representa a razão dos ganhos térmicos e hidráulicos em relação ao fluido base, conforme a equação (11)

$$\eta = \frac{Nu_{nf}/Nu_{bf}}{\Delta p_{nf}/\Delta p_{bf}} \quad (11)$$

## 2.5 Simulação CFD

Nas simulações realizadas neste trabalho, foi empregado o método dos volumes finitos implementado no software Ansys Fluent para discretizar as equações de balanço descritas na subseção 2.2, utilizando o esquema de acoplamento pressão-velocidade SIMPLE (do inglês, Semi-Implicit Method for Pressure Linked Equations), assim como foi realizado por Iachachene et al. (2023). Os termos difusivos e convectivos são discretizados usando o método upwind de segunda ordem. O método SIMPLE e o upwind de segunda ordem são amplamente empregados em problemas de transferência de calor e são robustos na resolução do problema. Mais informações sobre a metodologia usada pelo software podem ser obtidas em Fluent (2013).

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 3.1 Estudo de independência de malha e validação

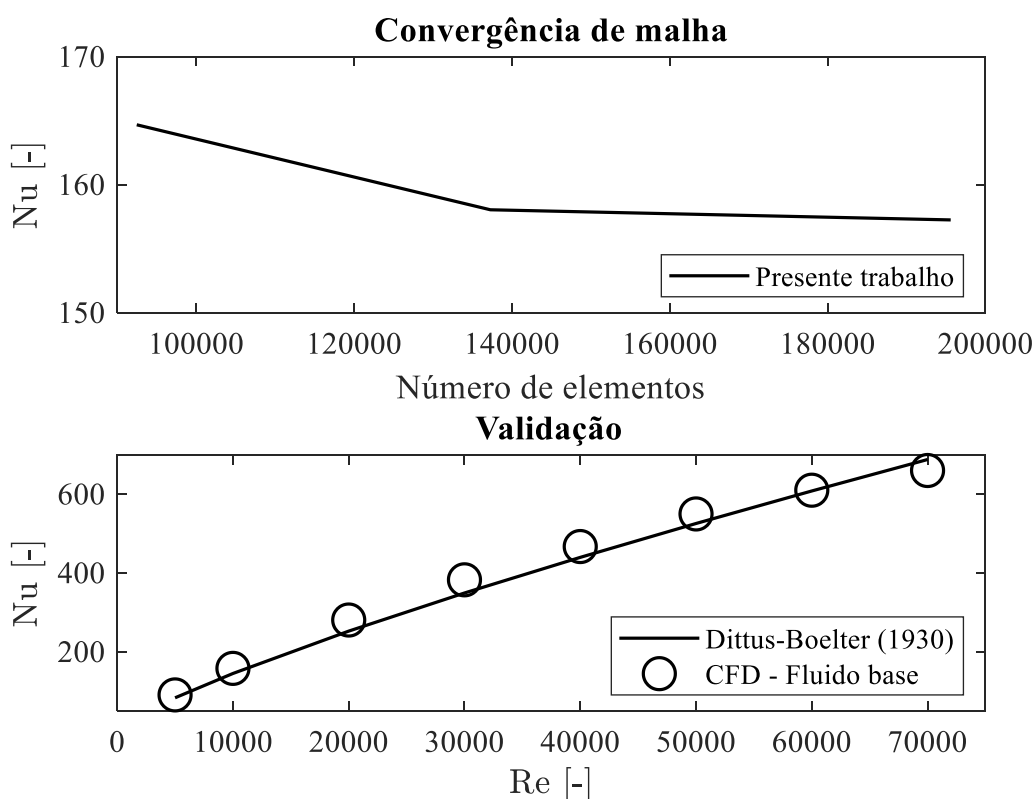
Para avaliar a relação da precisão dos resultados com o aumento do refinamento da malha computacional, foi realizado o estudo de independência de malha, para definir a malha mais adequada. Para este procedimento foram utilizados três diferentes tamanhos de malha (92480, 137280 e 195600) para comparação sob as mesmas condições de contorno.

A malha computacional apresenta estrutura retangular e foi configurada para capturar os fenômenos da turbulência próxima à parede, com o bias factor ajustado em 25, assim como realizado por Iachachene et al. (2023). O teste de convergência de malha foi realizado para verificar a independência do número de Nusselt com a quantidade de elementos, conforme está ilustrado na Figura 2. Foi identificado que a malha com 137280 elementos apresenta resultado similar à malha com 195600 elementos (diferença de 0,5%), mas, com menor custo computacional. Desta forma, os resultados apresentados

neste trabalho referem-se à malha com 137280 elementos, cuja quantidade é semelhante à da malha utilizada por Iachachene et al. (2023).

Além disso, na Figura 2 está ilustrada a comparação dos resultados da simulação para o fluido base com a correlação de Dittus-Boelter (1930) para a faixa de número de Reynolds de 10000 – 70000, cuja concordância foi considerada satisfatória. Destaca-se que para o número de Reynolds de 20000 – 50000, o número de Nusselt obtido numericamente é superior ao obtido através da correlação, cujo comportamento é semelhante ao obtido por Iachachene et al. (2023).

Figura 2 – Convergência de malha e validação



Fonte: Elaborado pelo autor.

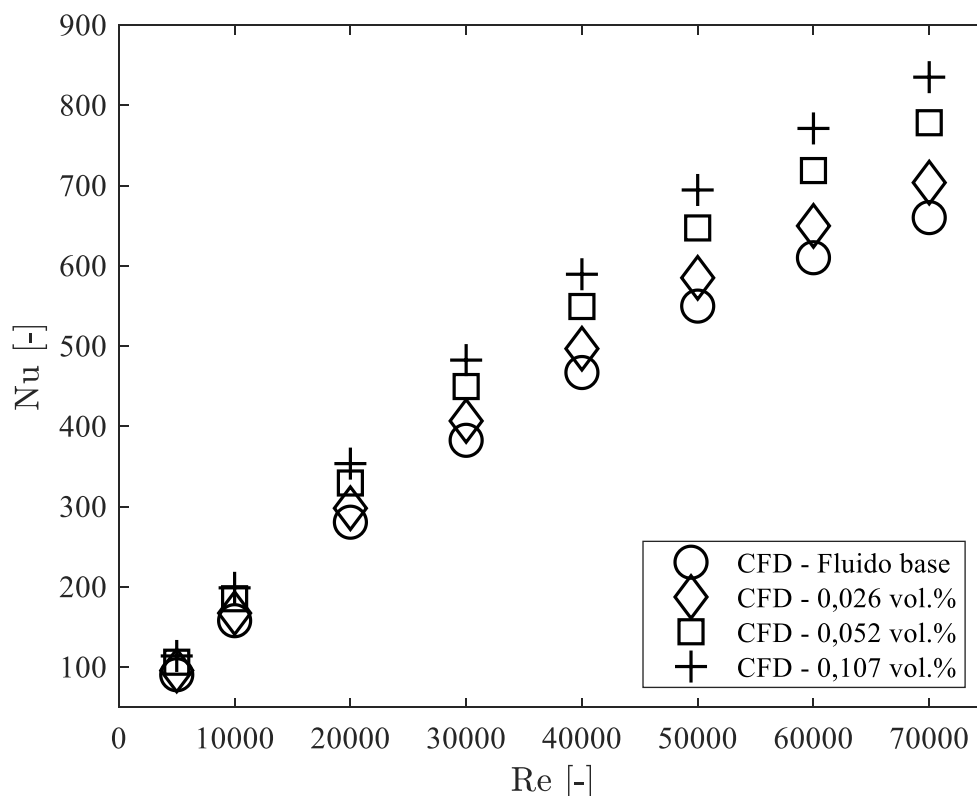
### 3.2 Número de Nusselt

Conforme pode ser observado na Figura 3, o número de Nusselt apresentou um incremento com o aumento do número de Reynolds e da concentração volumétrica de nanopartículas de MWCNT. O aumento máximo observado com o incremento do número de Reynolds e da concentração volumétrica de nanopartículas foi de 86,36% e 26,76%, respectivamente.

Além disso, na Figura 3 foi identificado o aumento de até 6,61%, 17,90% e 26,76% no número de Nusselt para as concentrações volumétricas de 0,026, 0,052 e 0,107 vol.%. Jadar et al. (2017) encontraram ganhos de até 45% no número de Nusselt com nanofluidos de MWCNT com concentração

volumétrica de 0,1% em um tubo reto. Além do aumento do número de Nusselt, o incremento do número de Reynolds tende a acarretar em discretos incrementos nos ganhos térmicos. O aumento do número de Nusselt para os nanofluidos também se deve a uma redução menor da velocidade no centro do escoamento (gerada pela geometria do difusor) quando comparada ao fluido base.

Figura 3 – Influência do número de Nusselt com a variação do número de Reynolds e da concentração volumétrica de nanopartículas



Fonte: Elaborado pelo autor.

Ao comparar os ganhos obtidos neste trabalho com os de Iachachene et al. (2023) para nanofluidos de  $TiO_2$ ,  $SiO_2$  e  $TiO_2-SiO_2$ , foi identificado um desempenho térmico superior. Esse comportamento pode ser explicado pela alta condutividade térmica dos nanotubos de carbono de parede múltiplas quando comparadas as nanopartículas de  $TiO_2$  e  $SiO_2$ .

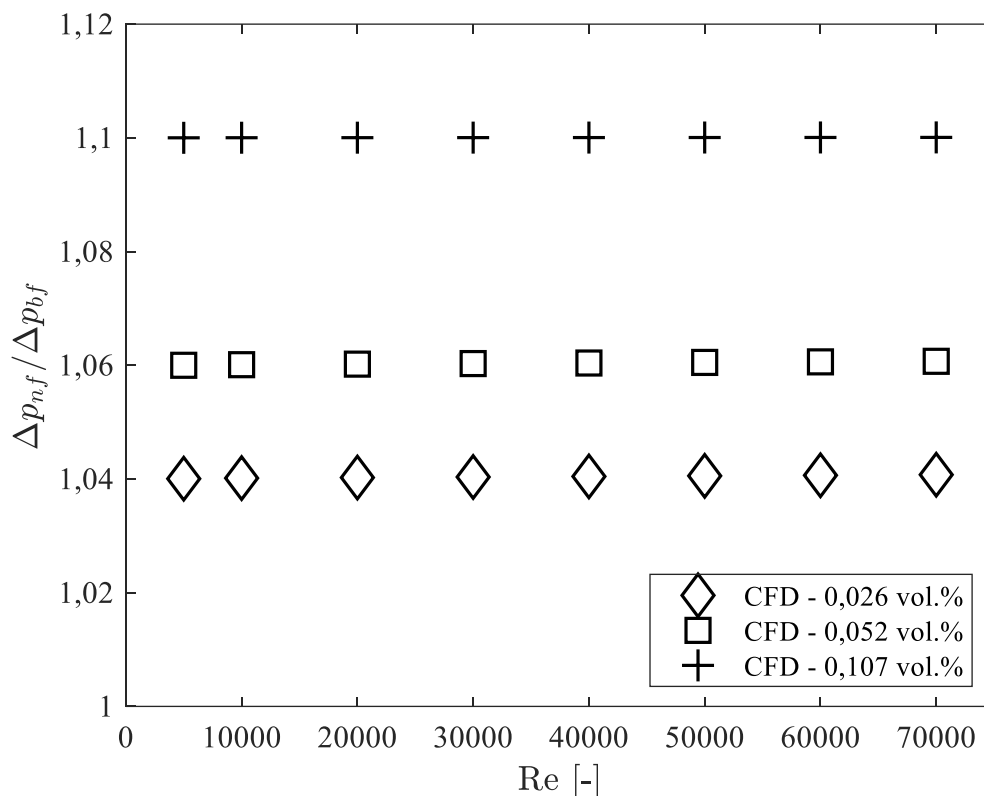
### 3.3 Queda de pressão

A adição de nanopartículas tende a aumentar a viscosidade dinâmica dos fluidos refrigerantes, o que acarreta no incremento da queda de pressão. Os nanofluidos apresentaram aumentos na queda de pressão de até 4,08%, 6,07% e 10,01% para as concentrações volumétricas de 0,026, 0,052 e 0,107



vol.%. O aumento da queda de pressão apresenta comportamento praticamente constante com o incremento do número de Reynolds.

Figura 4- Influência da adição de nanopartículas na queda de pressão



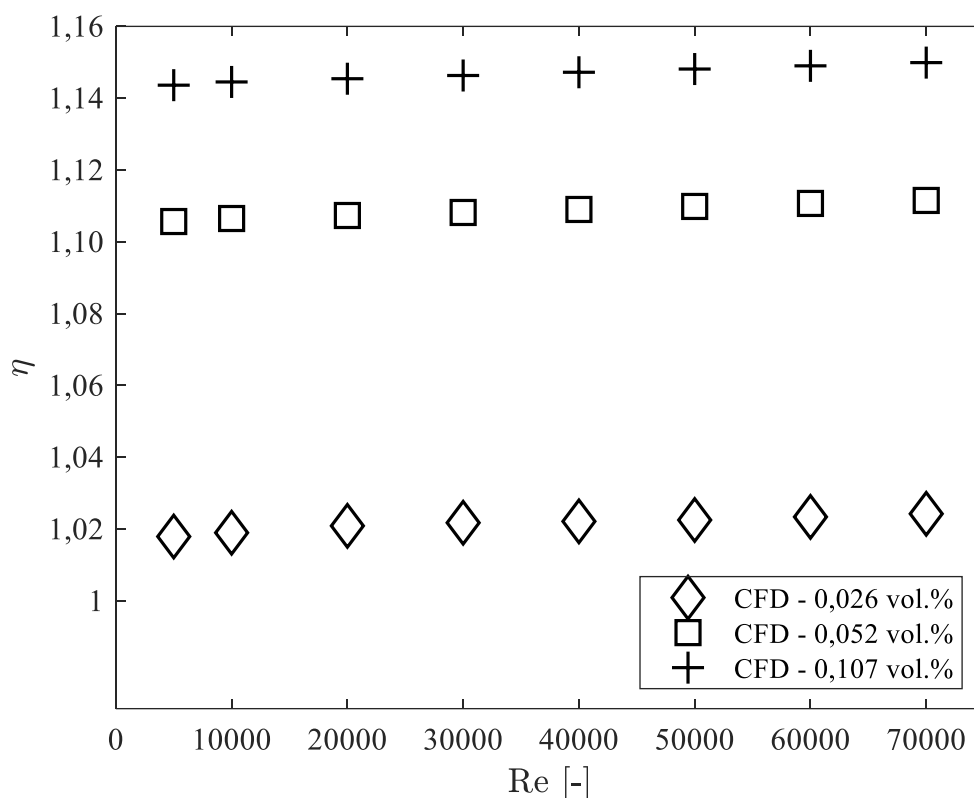
Fonte: Elaborado pelo autor.

### 3.4 Desempenho termohidráulico

A aplicabilidade de nanofluidos em coletores solares, radiadores automotivos, reatores nucleares, etc., depende de seu desempenho termohidráulico (razão entre os ganhos térmico com os hidráulicos) desses nanofluidos. Quando os nanofluidos apresentam valores acima de 1, isso indica que os ganhos térmicos são superiores ao aumento na queda de pressão.

Conforme pode ser observado na Figura 5, todos os nanofluidos analisados neste trabalho possuem desempenho termohidráulico ( $\eta$ ) superior a 1, cujo valor máximo foi de 1,15 para o nanofluido com concentração volumétrica de 0,107% de nanopartículas de MWCNT e número de Reynolds de 70000. Além disso, foi identificado que o aumento do número de Reynolds tende a aumentar o  $\eta$ , indicando que o aumento da velocidade do escoamento melhora o desempenho dos nanofluidos.

Figura 5 – Desempenho termohidráulico dos nanofluidos



Fonte: Elaborado pelo autor.

#### 4 CONCLUSÕES

Neste trabalho, foi apresentado o desempenho térmico e hidráulico de nanofluidos de MWCNT/EG-água em um difusor cônico avaliado numericamente. Os efeitos do aumento do número de Reynolds e da concentração volumétrica das nanopartículas foram avaliados. As principais conclusões que podem ser destacadas são:

- O número de Nusselt aumenta com o incremento do número de Reynolds e da concentração volumétrica de nanopartículas;
- Os incrementos no número de Nusselt tendem a serem maiores com o aumento do número de Reynolds;
- A queda de pressão aumenta consideravelmente com a adição de nanopartículas, cujo ganho máximo foi de 10,01%;
- O coeficiente de desempenho termohidráulico dos nanofluidos é superior ao do fluido base para todos os casos analisados. Além disso, o aumento do número de Reynolds tende a aumentar o  $\eta$ .

Portanto, conclui-se que os nanofluidos de MWCNT/EG-água apresentam resultados promissores para aplicação em trocadores de calor (coletores solares, radiadores automotivos, reatores, etc.) com difusores cônicos.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro fornecido para esta pesquisa pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG).

## REFERÊNCIAS

ABBAS, F.; ALI, H.M.; SHAH, T.R.; BABAR, H.; JANJUA, M.M.; SAJJAD, U.; AMER, M. Nanofluid: potential evaluation in automotive radiator. **Journal of Molecular Liquids**, v. 297, p. 112014-112039, jan. 2020.

ASHRAE, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Handbook Fundamentals, 2013.

CONTRERAS, E.M.C.; BANDARRA FILHO, E.P. Heat transfer performance of an automotive radiator with MWCNT nanofluid cooling in a high operating temperature range. **Applied Thermal Engineering**, v. 207, p. 118149, maio 2022.

DITTUS, F.W.; BOELTER, L.M.K. **Heat Transfer in Automobile Radiators of the Tubular Type**. University of California Press, Berkeley, University of California Publications in Engineering, v. 2, 443-461, 1930.

EKICILER, R.; ÇETINKAYA, M.S.A. A comparative heat transfer study between monotype and hybrid nanofluid in a duct with various shapes of ribs. **Thermal Science and Engineering Progress**, v. 23, p. 100913, jun. 2021.

FLUENT, A. User's Guide. **Ansys Fluent Theory Guide**. ANSYS Inc., USA, v. 15317, p. 724-46, 2013.

HUQ, T.; ONG, H.C.; CHEW, B.T.; LEONG, K.Y.; KAZI, S.N. Review on aqueous graphene nanoplatelet Nanofluids: preparation, stability, thermophysical properties, and applications in heat exchangers and solar thermal collectors. **Applied Thermal Engineering**, v. 210, p. 118342, jun. 2022.

IACHACHENE, F.; HADDAD, Z.; ARĐCĐ, M.; JAMEI, M.; MATAOUI, A. Turbulent forced convective flow in a conical diffuser: hybrid and single nanofluids. **Engineering Analysis With Boundary Elements**, v. 148, p. 205-219, mar. 2023.

IACHACHENE, F.; HADDAD, Z.; ARĐCĐ, M.; ABU-NADA, E.; SHEREMET, M.A. The effect of nano encapsulated phase change materials and nanoparticles on turbulent heat transport: a conical diffuser scenario. **Journal of Energy Storage**, v. 52, p. 104703, ago. 2022.

JADAR, R.; SHASHISHEKAR, K.S.; MANOHARA, S.R. F- MWCNT Nanomaterial Integrated Automobile Radiator. **Materials Today: Proceedings**, v. 4, n. 10, p. 11028-11033, 2017.

CONBRAVA 2023 – São Paulo Expo, 13 à 15 de setembro de 2023 - São Paulo, Brasil

KUMAR, V.; SAHOO, R.R. Exergy and energy analysis of a wavy fin radiator with variously shaped nanofluids as coolants. **Heat Transfer-Asian Research**, v. 48, n. 6, p. 2174-2192, 18 jun. 2019.

MOUSAVIZADEH, S.M.; ANSARIFAR, G.R.; TALEBI, M. Assessment of the TiO<sub>2</sub>/water nanofluid effects on heat transfer characteristics in VVER-1000 nuclear reactor using CFD modeling. **Nuclear Engineering and Technology**, v. 47, n. 7, p. 814-826, dez. 2015.

PAK, B.C.; CHO, Y. I. Hydrodynamic and heat transfer study of dispersed fluids with submicron metallic oxide particles. **Experimental Heat Transfer**, v. 11, n. 2, p. 151-170, abr. 1998.

UKUEJE, W.E.; ABAM, F.I.; OBI, A. A Perspective Review on Thermal Conductivity of Hybrid Nanofluids and Their Application in Automobile Radiator Cooling. **Journal of Nanotechnology**, v. 2022, p. 1-51, 30 maio 2022.

VANAKI, S.M.; GANESAN, P.; MOHAMMED, H.A. Numerical study of convective heat transfer of nanofluids: a review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 54, p. 1212-1239, fev. 2016.

WILCOX, D.C. **Turbulence Modeling for CFD**. DCW Industries Inc., La Canada Flintridge. 1993.

XUAN, Y.; ROETZEL, W. Conceptions for heat transfer correlation of nanofluids. **International Journal of Heat and Mass Transfer**, v. 43, n. 19, p. 3701-3707, out. 2000.

ZAHAN, I.; NASRIN, R.; KHATUN, S. Thermal performance of ternary-hybrid nanofluids through a convergent-divergent nozzle using distilled water - ethylene glycol mixtures. **International Communications in Heat and Mass Transfer**, v. 137, p. 106254, out. 2022.