

## Medidas de transferência de calor com nanofluidos de óxido de grafeno como líquido de arrefecimento

### Heat transfer measures with graphene oxide nanofluids as cooling liquid

#### RESUMO

Humberto Ianczkovski  
[humberto@alunos.utfpr.edu.br](mailto:humberto@alunos.utfpr.edu.br)  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, Paraná, Brasil

Vinicius Mariani Lenart  
[vmilenart@gmail.com](mailto:vmilenart@gmail.com)  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, Paraná, Brasil

Rozane de Fatima Turchiello Gomez  
[turchiel@utfpr.edu.br](mailto:turchiel@utfpr.edu.br)  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, Paraná, Brasil

Os nanofluidos despontam como uma alternativa para a melhoria da eficiência energética nos campos das engenharias. A literatura demonstra um incremento significativo nas propriedades térmicas desses fluidos em comparação a fluidos monofásicos. O presente estudo busca evidenciar a eficácia do nanofluido de óxido de grafeno, sintetizado através do método de Hummers modificado, como líquido de arrefecimento em um trocador de calor do tipo casco e tubo helicoidal (TCCTH). Devido a possibilidade de interferência do material que constitui o trocador de calor na transferência de calor entre os fluidos, fez-se a instalação de quatro termopares no casco do trocador de calor, buscando obter a temperatura de equilíbrio, a partir da qual, não haverá a influência do material sob as temperaturas dos fluidos. Para a caracterização do nanofluido, utilizou-se a técnica de UV-Vis, comprovando que o mesmo é de óxido de grafeno.

**PALAVRAS-CHAVE:** Trocador de calor. Transferência de calor. Óxido de grafeno.

#### ABSTRACT

Nanofluids emerge as an alternative to improve energy efficiency in the fields of engineering. The literature shows a significant increase in the thermal properties of these fluids compared to single-phase fluids. The present study seeks to demonstrate the effectiveness of the graphene oxide nanofluid, synthesized through the modified Hummers method, as a coolant liquid in a shell and tube heat exchanger helical. Due to the possibility of interference of the material that constitutes the heat exchanger in the heat transfer between the fluids, four thermocouples were installed in the hull of the heat exchanger, seeking to obtain the equilibrium temperature, from that, there will be not influence of material on fluids temperatures. For the characterization of the nanofluid, the UV-Vis technique was used, proving that it is graphene oxide.

**KEYWORDS:** Heat exchanger. Heat transfer. Graphene oxide.

**Recebido:** 19 ago. 2020.

**Aprovado:** 01 out. 2020.

**Direito autoral:** Este trabalho está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.



## INTRODUÇÃO

Atualmente, os gastos com energia exigem medidas das indústrias que visem a melhoria da eficiência energética em suas instalações (Nazarzade et al., 2019). Uma alternativa é a utilização de nanofluidos, que são formados pela dispersão de partículas nanométricas em fluidos base. Estudos experimentais demonstram uma melhora significativa na condutividade térmica e no coeficiente de transferência térmica convectiva dos nanofluidos em comparação a um fluido monofásico, tornando-os potenciais para aplicações que envolvem transferência de calor (Vishnuprasad et al., 2019; Ghozatloo et al., 2014).

O presente trabalho tem como objetivo avaliar, utilizando-se de um trocador de calor do tipo casco e tubo helicoidal (TCCTH), a eficácia da utilização de nanofluido à base de óxido de grafeno como líquido de arrefecimento em um sistema, tendo como parâmetro de comparação um fluido convencional (água).

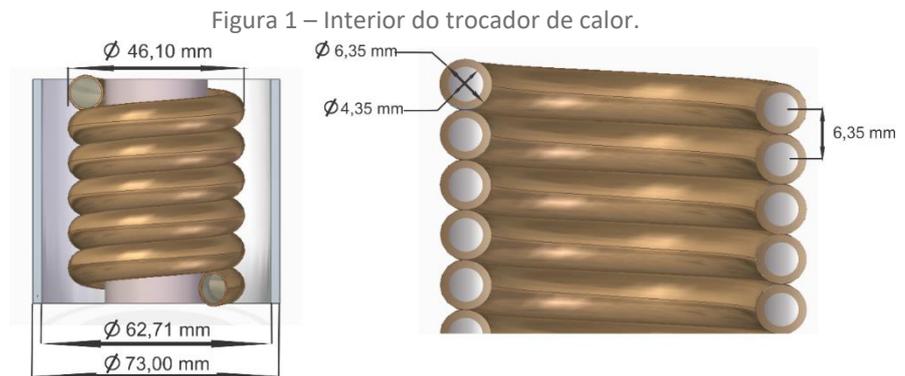
Define-se o óxido de grafeno (GO) como uma das formas quimicamente modificadas do grafeno, através de esfoliação e oxidação. A presença de grupos funcionais torna o óxido de grafeno hidrofílico para dispersões em meio aquoso. O óxido de grafeno atrai contínuos interesses tendo em vista sua estabilidade mecânica, área de superfície, além de recursos ópticos e elétricos controláveis (Bahiraei; Heshmatian, 2019).

## MATERIAIS E MÉTODOS

O óxido de grafeno foi sintetizado através do método de Hummers (Hummers; Offeman, 1958), a partir de grafite em pó, com uma modificação na reação, retirando o nitrato de sódio ( $\text{NaNO}_3$ ), a chamada síntese *eco-friendly* ou método de Hummers modificado (Chen et al., 2013).

Empregou-se a técnica de UV-Vis com o intuito de caracterizar o nanofluido de óxido de grafeno. O nanofluido foi disperso em água; utilizou-se e uma cubeta de quartzo, e o experimento foi realizado em um espectrofotômetro UV-Vis (FEMTO, modelo: 800XI), com varredura na faixa de 200 a 800 nm.

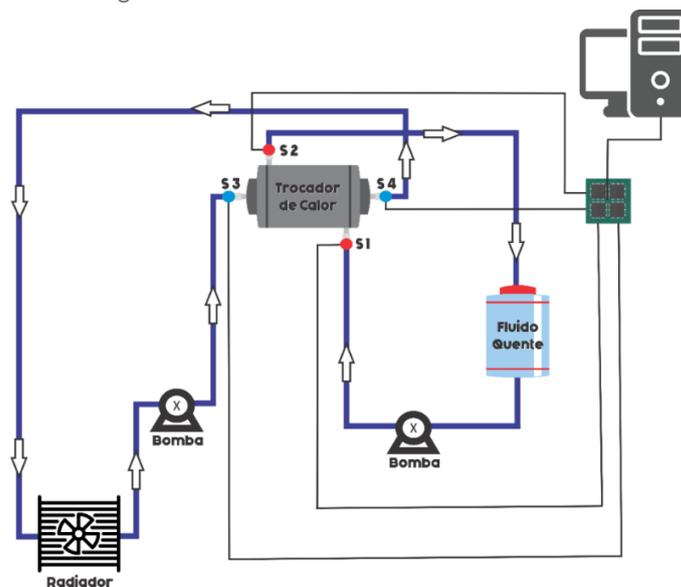
No presente trabalho, utilizou-se o trocador de calor do tipo casco e tubo helicoidal (TCCTH). Este modelo tem uma grande representatividade em diversos setores industriais, tendo em vista a maior eficiência em comparação a um trocador de calor do tipo tubo reto (Barzegari et al., 2019). Na Figura 1, está representada a parte interna do trocador de calor, demonstrando as dimensões e características construtivas.



Fonte: Autoria Própria.

O sistema do trocador de calor é automatizado a partir de um Arduino, dessa forma, torna-se possível a obtenção de dados, como temperaturas e as vazões dos fluidos. A Figura 2 corresponde ao sistema completo, além dos trajetos descritos pelos fluidos.

Figura 2 – Estrutura do trocador de calor.

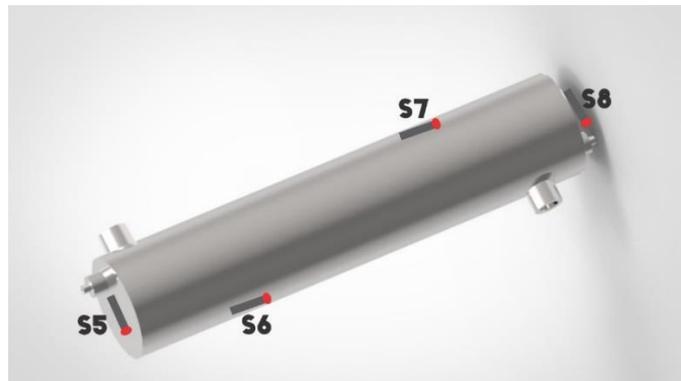


Fonte: Autoria Própria.

O fluido quente percorre o espaço entre a serpentina e o casco, enquanto, o fluido frio move-se na parte interna da serpentina. Tais fluidos encontram-se em contra fluxo. Essa forma de escoamento é apresentada por Incropera et al. (2017), como sendo a mais eficiente para transferência de calor. Fez-se uso de termopares do tipo K, localizados nas entradas e saídas de fluidos do trocador de calor.

Conforme a Figura 3, fez-se a instalação de quatro termopares adicionais no casco do trocador de calor. Essa técnica tem como objetivo principal possibilitar o conhecimento de uma temperatura de equilíbrio do casco, a partir de uma média simples entre as quatro leituras dos termopares, tendo como hipótese que após o trocador entrar nessa temperatura não haverá mais interferência do material na troca de calor entre os fluidos. Tornando-se assim uma abordagem mais próxima de um regime permanente, o qual é adotado nos modelos matemáticos.

Figura 3 – Representação dos sensores no casco do trocador de calor.



Fonte: Autoria Própria.

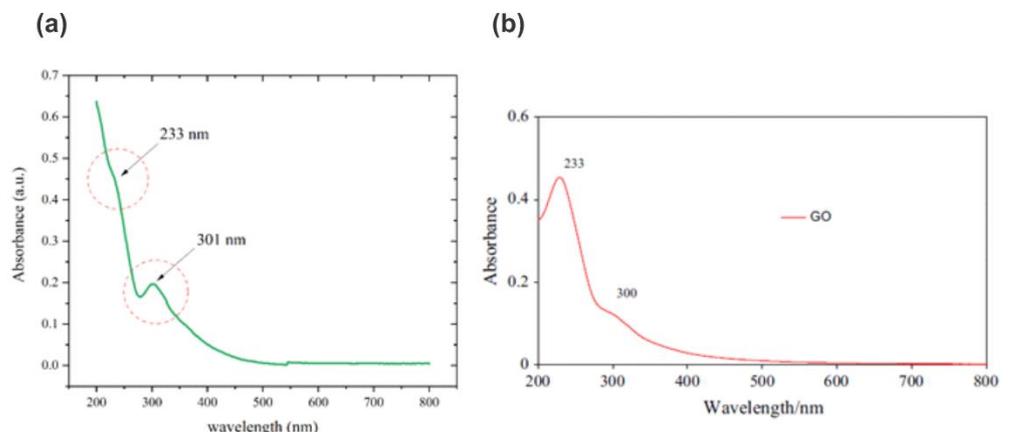
Com o objetivo de comprovar a maior eficiência do nanofluido de óxido de grafeno comparado à água, como líquido de arrefecimento, o planejamento previa a realização de medidas de transferência de calor no trocador de calor do tipo casco e tudo helicoidal descrito acima, variando parâmetros como: concentração de nanopartículas; vazão de ambos os fluidos; e, temperatura de entrada do fluido quente.

A partir do instante inicial até o equilíbrio do casco, utilizando-se das variações de temperatura dos fluidos, seria realizado cálculo do coeficiente global de transferência de calor (U). Os dados do sistema em equilíbrio possibilitariam a obtenção do coeficiente convectivo de transferência de calor (h). Viabilizando a comparação entre os dois fluidos utilizados como líquido de arrefecimento.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Realizou-se a análise por espectroscopia UV-Vis para identificar o nanofluido utilizado nas medidas de transferência de calor, os espectros analisados são demonstrados na Figura 4a, e a Figura 4b apresenta os espectros do nanofluido de óxido de grafeno.

Figura 4 – a) Espectros do nanofluido analisado. b) Espectros do nanofluido de óxido de grafeno.



Fonte: a) Autoria Própria. b) Cakmak (2020).

Cakmak (2020), descreve que os picos a 233 nm correspondem a transição  $\pi-\pi^*$  das ligações C=C, e o pico observado próximo a 300 nm ocorre devido a transição  $n-\pi^*$  das ligações C=O. A partir da comparação entre os espectros na Figura 4, torna-se possível verificar que o nanofluido utilizado no presente estudo é óxido de grafeno.

Em decorrência da pandemia mundial de Covid-19 não foi possível a realização das medidas experimentais de transferência de calor. Dessa forma, os itens referentes a realização das medições e a comparação da eficácia do nanofluido de óxido de grafeno em relação a água, não puderam ser executados.

## CONCLUSÃO

Com base no resultado do UV-Vis, pode-se afirmar que o nanofluido, sintetizado através do método de Hummers modificado, é de óxido de grafeno.

Em virtude da inviabilidade da realização das medidas experimentais de transferência de calor, torna-se impraticável qualquer tipo de conclusão sobre a eficiência do nanofluido de óxido de grafeno nos testes que seriam realizados no trocador de calor, como descritos no presente estudo. Para trabalhos posteriores ficam ressaltadas as excelentes características térmicas do nanofluido de óxido de grafeno, apontadas pela literatura.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço:

À Fundação Araucária pelo apoio financeiro. Ao Pós-doc Vinícius M. Lenart pelo desenvolvimento do sistema de aquisição de dados. À professora Dra. Rozane de Fatima Turchiello Gomez pela orientação durante esse ano. À minha família e minha namorada pelo apoio durante o desenvolvimento do projeto. A Deus por tudo.

## REFERÊNCIAS

Bahiraei, M.; Heshmatian, S., Graphene family nanofluids: A critical review and future research directions. **Energy Conversion and Management**, 2019, v. 196, p. 1222-1256.

Barzegari, H.; Tavakoli, A.; et al., Experimental study of heat transfer enhancement in a helical tube heat exchanger by alumina nanofluid as current flow. **Heat and Mass Transfer**, 2019, v. 55, p. 2679-2688.

Cakmak, N. K., The impact of surfactants on the stability and thermal conductivity of graphene oxide de-ionized water nanofluids. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, 2020, v. 139, p. 1895-1902.

Chen, J.; Yao, B.; et al., An improved Hummers method for eco-friendly synthesis of graphene oxide. **Carbon**, 2013, v. 64, p. 225-229.

Ghozatloo, A.; Rashidi, A.; Shariaty-Niassar, M., Convective heat transfer enhancement of graphene nanofluids in shell and tube heat exchanger. **Experimental Thermal and Fluid Science**, 2014, v. 53, p. 136-141.

Hummers, W. S.; Offeman, R. E., Preparation of Graphitic Oxide. **Journal of the American Chemical Society**, 1958, v. 80, p. 1339.

Incropera, F. P.; Dewitt, D. P.; et al., **Fundamentos de Transferência de Calor e de Massa**. 7. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2017.

Nazarzade, S.; Ghorbani, H. R.; Jafarpourgolroudbary, H., Synthesis, preparation and the experimental study of silver/water nanofluid to optimize convective heat transfer in a shell and tube heat exchanger. **Inorganic and Nano-Metal Chemistry**, 2019, v. 49, p. 173-176.

Vishnuprasad, S.; Haribabu, K.; Perarasu, V. T., Experimental study on the convective heat transfer performance and pressure drop of functionalized graphene nanofluids in electronics cooling system. **Heat and Mass Transfer**, 2019, v. 55, p. 2221-2234.