

Nanofluidos à base de grafeno: uma prospecção tecnológica em bases de patentes.

Frederico Duarte de Menezes – fredquim@gmail.com

Laboratório de Eletroquímica e Materiais Nanoestruturados – Instituto Federal de Pernambuco

Márcio Vilar França Lima – marciovilar@recife.ifpe.edu.br

Laboratório de Eletroquímica e Materiais Nanoestruturados – Instituto Federal de Pernambuco

Rodrigo Nogueira Albert Loureiro – rodrigo.albert@reitoria.ifpe.edu.br

Laboratório de Eletroquímica e Materiais Nanoestruturados – Instituto Federal de Pernambuco

João Vitor Pereira Alves – joaojoao.vitor3615@gmail.com

Laboratório de Eletroquímica e Materiais Nanoestruturados – Instituto Federal de Pernambuco

José Ângelo Peixoto da Costa – angelocosta@recife.ifpe.edu.br

Laboratório de Eletroquímica e Materiais Nanoestruturados – Instituto Federal de Pernambuco

Juliana de Lima Wanderley – julianawanderley_9@hotmail.com

Laboratório de Eletroquímica e Materiais Nanoestruturados – Instituto Federal de Pernambuco

Resumo—Nanofluidos podem ser definidos como estruturas nanométricas, com dimensões entre 1 e 100 nm, dispersas em fluidos convencionalmente utilizados em sistemas trocadores de calor. Neste caso, os materiais nanométricos devem possuir uma condutividade térmica superior aos fluidos trocadores de calor convencionais. Atualmente, várias formulações de nanofluidos são conhecidas, contudo, os baseados em grafeno e seus derivados encontram-se em destaque, devido as excelentes propriedades térmicas do grafeno e seus derivados. Este trabalho tem como objetivo principal realizar uma prospecção tecnológica sobre nanofluidos a base de grafeno dos depósitos de patentes em bases de dados públicas internacionais e no INPI. Na pesquisa, foram encontradas apenas 4 patentes sobre o tema no INPI, contra 5832 patentes em âmbito internacional, demonstrando que tal área tecnológica encontra-se ainda em estágio embrionário no Brasil.

Keywords— *Grafeno, Nanofluido.*

Abstract—Nanofluids can be defined as nanometric structures, with dimensions between 1 and 100 nm, dispersed in fluids conventionally used in heat exchanger systems. In this case, nanometric materials should have a higher thermal conductivity than conventional heat exchanger fluids. Currently, several nanofluid formulations are known, however, those based on graphene and its derivatives are highlighted due to the excellent thermal properties of graphene and its derivatives. The main objective of this work is to carry out a technological prospection on graphene-based nanofluids of patent deposits in international public databases and INPI. In the research, only 4 patents on the subject were found at the INPI, against 5832 international patents, demonstrating that such technological area is still in the early stage in Brazil.

Keywords— *Graphene, Nanofluid.*

I. INTRODUÇÃO

A humanidade vive atualmente em uma arena de tecnologias avançadas, apresentando nas últimas décadas um crescimento exponencial em vários campos tais como eletrônica e geração de energia, onde a transferência de calor é uma parte integrante. Este crescimento sem precedentes exige a miniaturização, a melhoria operacional e capacidades de armazenamento dos dispositivos, que por sua vez procura de uma nova revolução em tecnologias de refrigeração. Neste cenário, métodos de resfriamento inovadores e avançados são

necessários. Várias técnicas de melhoramento de transferência de calor tradicionais, como superfícies estendidas e mini canais retrocederam um passo no seu desenvolvimento, levando-as ao limite de eficiência nas taxas de transferência de calor (RANGA BABU et al, 2017).

Fluidos de diferentes tipos são geralmente utilizados em aplicações de transferência de calor. Dentre as aplicações em que os fluidos de transferência de calor (*HTF*) têm um papel importante destacam-se a troca de calor em sistemas de centrais elétricas, os sistemas de arrefecimento e de aquecimento em edifícios, veículos e de refrigeração da maior parte das plantas de processamento. Em todas as aplicações acima mencionadas, a condutividade térmica do fluido tem uma forte influência na eficiência do processo de transferência de calor e com isso a eficiência global do sistema. Por tal motivo, os investigadores têm trabalhado continuamente no desenvolvimento de *HTF* avançados que têm condutividades térmicas significativamente mais altas do que os fluidos utilizados convencionalmente (ALI et al, 2018). Neste contexto, o desenvolvimento e aplicação de nanofluidos vem ganhando destaque devido a versatilidade de fabricação e elevada eficiência nos processos de transferência de calor.

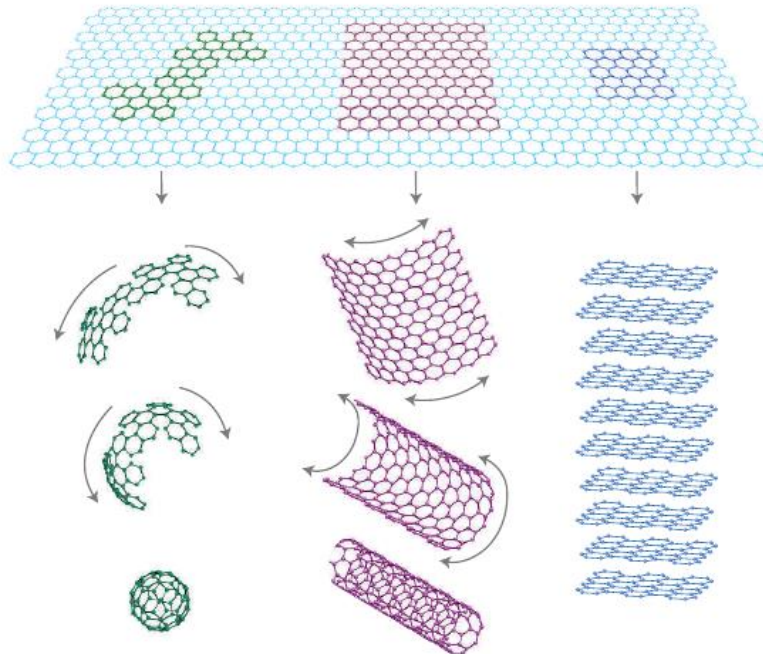
Nanofluidos podem ser definidos como estruturas nanométricas, com dimensões entre 1 e 100 nm, dispersas em fluidos convencionalmente utilizados em sistemas trocadores de calor (DAS et al, 2007). Neste caso, os materiais nanométricos devem possuir uma condutividade térmica superior aos fluidos trocadores de calor convencionais (tais como água, etileno glicol e óleos em geral) de tal forma que a adição destes nanomateriais aos fluidos citados aumentam em algumas ordens de grandeza a condutividade térmica do sistema, aumentando a eficiência de troca térmica e favorecendo a redução do consumo de energia, seja para gera ou retirar calor do sistema. Atualmente, várias formulações de nanofluidos são conhecidas. Contudo, os baseados em grafeno e seus derivados encontram-se em destaque, devido as excelentes propriedades térmicas deste material.

O grafeno (GF) é definido como um material ordenado bidimensional, constituído exclusivamente de átomos de carbono com hibridização sp^2 , resultando em uma camada estruturada com morfologia do tipo “favo de mel” (*honeycomb*), com espessura limitada as dimensões do átomo de carbono, sendo por isso classificado como um material 2D (Figura 1) (HIRSCH, 2010, NOVOSELOV, 2007).

Devido a sua estrutura singular, o GF apresenta propriedades físicas e químicas que justificam o número crescente de publicações relacionadas a aplicações diversas com este material. Dentre as várias propriedades, podemos destacar (NOBELPRIZE.ORG, 2019):

- Condutividade elétrica: o GF é considerado como um semicondutor “zero-gap”, onde a mobilidade eletrônica pode exceder $15.000 \text{ cm}^2 \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$, apresentando uma resistividade da ordem de 10^{-6} ohm.cm , para uma folha única de GF;
- Propriedades mecânicas: o GF possui uma força de ruptura de sua estrutura da ordem de $42 \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}$. Para efeito comparativo, se produzíssemos um filme de aço de mesma espessura do GF, este filme teria uma força de ruptura da ordem de $0,084\text{-}0,40 \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}$, o que mostra que o GF possui 100 vezes mais resistência a ruptura do que o aço;
- Condutividade térmica: o GF apresenta uma condutividade térmica da ordem de $5000 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$, valor 10 vezes superior ao cobre, um dos materiais mais utilizados em sistemas de transferência de calor, cuja condutividade térmica é de aproximadamente $401 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.

Figura 1. Diferentes estruturas derivadas do grafite, incluindo nanotubos de carbono e grafeno.



Fonte: Novoselov, (2007).

No âmbito da obtenção do grafeno e derivados, como o óxido de grafeno, vários métodos têm sido exploradas para sua fabricação, incluindo esfoliação mecânica, deposição de vapor químico, esfoliação eletroquímica ou química, ou ainda a redução térmica do óxido de grafite e esfoliação em fase líquida através de ultrassonicação (LEE et al., 2019).

Este trabalho tem como objetivo principal realizar uma prospecção tecnológica sobre nanofluidos a base de grafeno dos depósitos de patentes em bases de dados públicas internacionais, através do uso da plataforma LENS (LENS.ORG,2019), além da busca na base de dados do do Instituto Nacional de Propriedade Industrial do Brasil (INPI)(INPI, 2019).

II. METODOLOGIA

A prospecção foi realizada com base nos pedidos de patentes depositadas na *World Intellectual Property Organization* (WIPO), no *European Patent Office* (EPO), no *United States Patent and Trademark Office* (USPTO) e no banco de dados do Instituto Nacional de Propriedade Industrial do Brasil (INPI). A pesquisa nas bases internacionais foi realizada através do uso da plataforma online LENS.ORG e diretamente nas ferramentas de busca do INPI.

Os parâmetros de busca utilizados foram:

- termos de busca: “nanofluid+[s]”, “nanofluid+[s] AND graphene” e “nanofluido*”, sendo os termos em inglês utilizados no LENS.ORG e o termo em português utilizado no INPI, respectivamente;
- intervalo temporal da busca: foram pesquisados pedidos de patentes entre as datas 01/01/1990 e

10/08/2019;

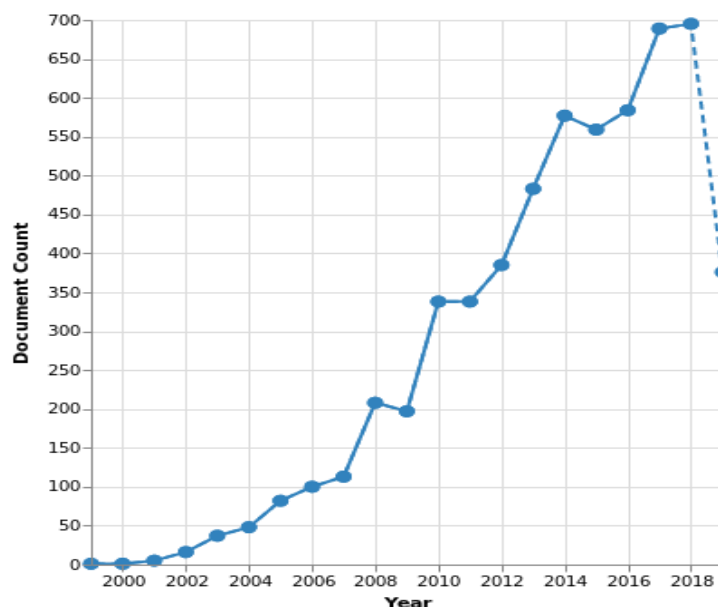
- Foram analisados todos os pedidos de patentes cujas termos de busca se apresentassem no título e/ou resumo dos pedidos.

III. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A busca realizada através do termo “nanofluid+[s]” resultou em 5832 patentes depositadas internacionalmente, reduzindo-se este número para 598 pedidos de patentes quando utilizou-se o termo “nanofluid+[s] AND graphene”. Em uma primeira análise, embora haja um volume considerável de pedidos de patentes referentes a nanofluidos, pouco mais de 10% destas patentes envolvem de alguma forma a utilização do grafeno, o que indica que esta área tecnológica ainda é pouco explorada, do ponto de vista de geração de propriedade industrial. Este panorama torna-se ainda mais crítico quando olhamos para pedidos nacionais, uma vez que a busca no INPI resultou em apenas um pedido de patente relacionada a termo de busca “nanofluido*”, cujo código é *BR112014 000605 9*. Como tentativa de identificar mais patentes nacionais relacionadas a temática pesquisada, realizou-se uma nova busca no INPI utilizando-se a termo “nano fluido*”, sendo o resultado da busca apenas três depósitos realizados, cujos códigos foram: *PI 0111789-0* , *PI 0921499- e BR 10 2016 018648 0*.

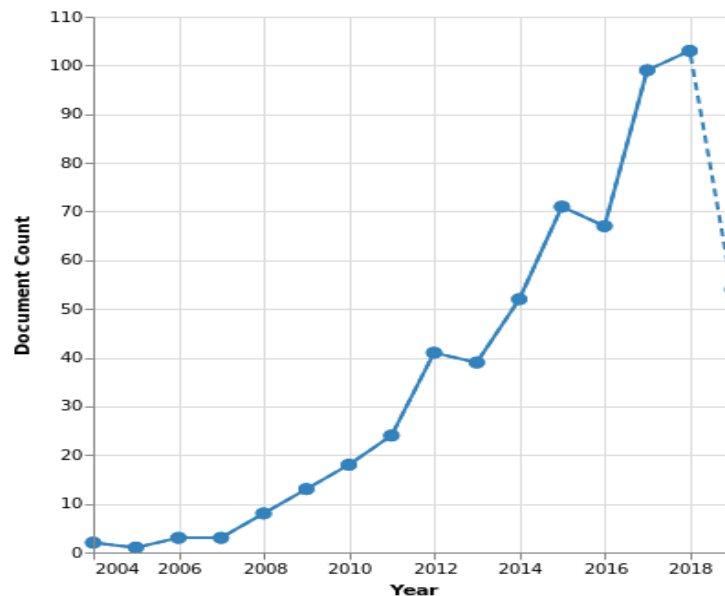
Voltando-se a prospecção para os resultados internacionais, baseando-se no volume de resultados obtidos, realizou-se uma primeira análise quanto a evolução histórica dos pedidos de patentes, no intervalo de tempo pesquisado: 01/01/1990 e 10/08/2019. As Figuras 2 e 3 apresentam as séries históricas para as pesquisas realizadas com as termos “nanofluid+[s]” e “nanofluid+[s] AND graphene”, respectivamente.

Figura 2. Série histórica de depósitos de patentes referentes ao termo “nanofluid+[s]”



Fonte: Autoria própria, (2019).

Figura 3. Série histórica de depósitos de patentes referentes ao termo “nanofluid+[s] AND graphene”



Fonte: Autoria própria, (2019).

Como pode ser observado em ambas as séries históricas, a temática de nanofluidos apresenta uma tendência crescente de depósitos de patentes até os dias atuais, indicando que esta tecnologia encontra-se ainda em fase de desenvolvimento com grande potencial de geração de novas patentes, além de oportunidades em processos de transferência de tecnologia, uma vez que o perfil crescente dos gráficos indica que os nanofluidos, do ponto de vista de patentes, ainda não chegaram em um estágio de estado da técnica, caracterizado por séries históricas com perfis de platôs horizontais ou ainda por curvas decrescentes.

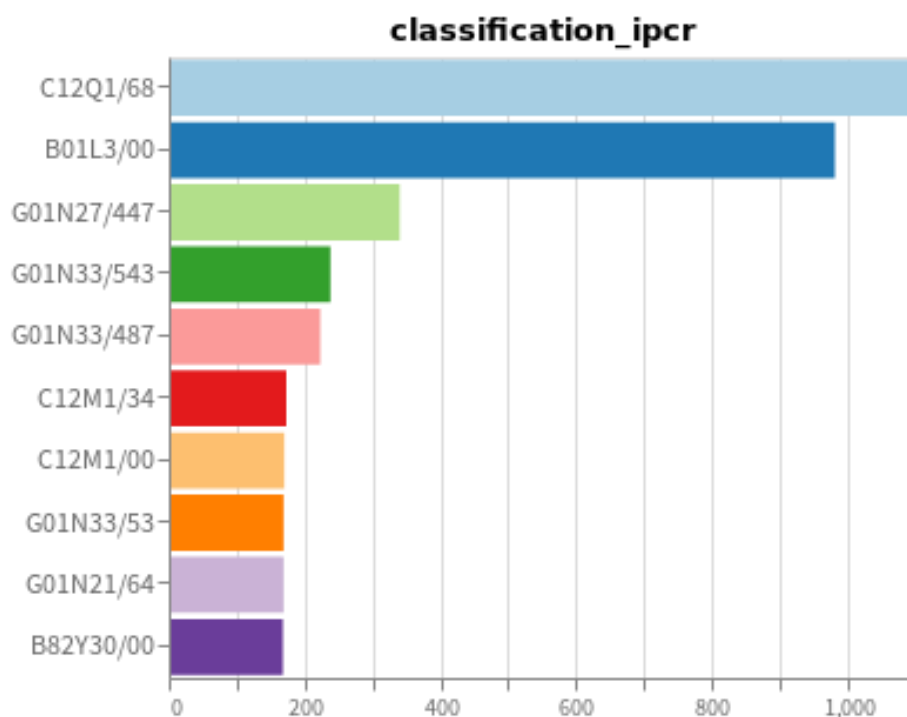
Do ponto de vista da distribuição de pedidos de patentes entre as bases de dados analisadas, das 5832 patentes relacionadas ao termo “nanofluid+[s]”, 4329 dos pedidos de patentes (74% do total) estão concentrados no *USPTO*, 1298 pedidos na base da *WIPO* (22% do total) e 205 pedidos na base europeia do *EPO* (4%). Quando analisamos os pedidos referentes ao termo “nanofluid+[s] AND graphene”, dos 598 pedidos localizados na busca, 441 estão concentrados no *USPTO* (74% do total), 143 na base da *WIPO* (24%) e 14 pedidos na base do *EPO* (2%).

Na análise sobre as instituições que mais depositaram patentes sobre os temas estudados, *IBM* (210 depósitos), *Universidade da Califórnia* (156 depósitos), *Instituto de Tecnologia de Massachusetts (MIT)* (151 depósitos), *Universidade de Illinois* (81 depósitos) e a *Agilent Technologies Incorporation* (80 depósitos) lideram o ranking das instituições que mais depositaram patentes relacionadas ao termo “nanofluid+[s]”. Em relação a busca envolvendo os nanofluidos e grafeno, a *IBM* continua liderando o ranking das instituições depositantes (35 depósitos), seguida pela *Universidade de Ramot*, de Tel Aviv/Israel, (27 depósitos), *Baker Hughes Incorporation* e a *Universidade de Illinois* (ambas com 19 depósitos de patentes cada) e a *Nabsys Incorporation* (com 17 depósitos). No primeiro panorama, do total de depósitos de patentes depositadas, a maior parte (57,22%) são advindos de universidades e institutos de tecnologia. Entretanto, no panorama dos nanofluidos envolvendo grafeno, das cinco instituições que mais depositaram patentes, 60,6% dos pedidos estão concentrados em empresas de tecnologias.

Sobre a classificação das patentes analisadas, segundo a classificação do *International Patent Classification (IPC)*, as Figuras 4 e 5 apresentam o *ranking* das classificações mais relacionadas as patentes obtidas referentes aos termos “nanofluid+[s]” e “nanofluid+[s] AND graphene”, respectivamente.

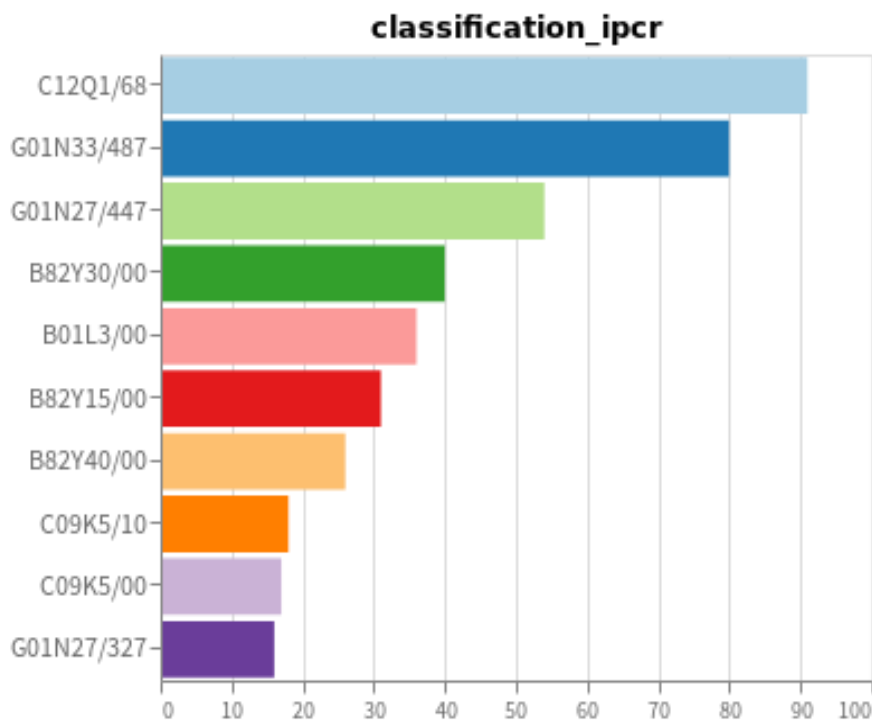
Analisando-se as Figuras 4 e 5 e após uma pesquisa do significado de cada classificação apresentada, constata-se que das classificações mais frequentes, apenas os códigos B82Y30/00, B82Y40/00, C09K5/00 e C09K5/10 relacionam-se diretamente a aplicação de nanofluidos para sistemas térmicos ou a preparação de nanomateriais. Desta forma, constata-se que a prospecção realizada apenas com os termos utilizados neste trabalho apresenta-se muito abrangente, sendo necessário um maior refinamento para direcionar a prospecção para a aplicação desejada de nanofluidos em sistemas de transferência de calor. A Tabela I apresenta a descrição das classificações citadas previamente.

Figura 4. Ranking dos códigos IPC mais frequentes, para as patentes referentes ao termo “nanofluid+[s]”



Fonte: Autoria própria, (2019).

Figura 5. Ranking dos códigos IPC mais frequentes , para as patentes referentes ao termo “nanofluid+[s] AND graphene”



Fonte: Autoria própria, (2019).

TABELA I

Códigos IPC relacionados à aplicação de nanomateriais em sistemas de troca de calor.

CÓDIGO IPC	DESCRIÇÃO
B82Y30/00	Nanotechnology for materials or surface science, e.g. nanocomposites
B82Y40/00	Manufacture or treatment of nanostructures
C09K5/00	Heat-transfer, heat-exchange or heat-storage materials, e.g. refrigerants Materials for the production of heat or cold by chemical reactions other than by combustion
C09K5/10	Liquid materials

Fonte: Autoria própria, (2019).

IV. CONCLUSÃO

Após a pesquisa realizada, constata-se que o desenvolvimento de nanofluidos ainda se apresenta como uma área em expansão, seja em âmbito internacional e extremamente embrionário em âmbito nacional. Do ponto de vista das instituições depositantes internacionais, universidades e institutos tecnológicos se

sobrepõem às empresas no volume total de patentes depositadas. Por fim, acredita-se que o baixíssimo índice de depósitos de patentes nesta temática no Brasil pode estar relacionado a combinação de baixo investimento estratégico aliado ao interesse reduzido de grupos de pesquisa em desenvolver novas soluções para sistemas térmicos utilizando nanofluidos, embora do ponto de vista de publicações científicas, vários pesquisadores brasileiros produzem publicações de excelente qualidade, e em grande volume, na temática de produção e aplicação de materiais baseados em grafeno.

V. REFERÊNCIAS

ALI, N., TEIXEIRA, J. A., ADDALI, A. A Review on Nanofluids: Fabrication, Stability, and Thermophysical Properties. **Journal of Nanomaterials**, 2018.

CLASS FOR PHYSICS OF THE ROYAL SWEDISH ACADEMY OF SCIENCES. "Scientific Background on the Nobel Prize in Physics 2010: GRAPHENE". *Nobelprize.org*. Disponível em: <<https://www.nobelprize.org/uploads/2018/06/advanced-physicsprize2010.pdf>>. Acessado em 10/08/2019.

DAS, S. K., et. al. **Nanofluids: Science and Technology**. Wiley, 2007.

HIRSCH, A. **Nature Materials**, vol. 9, 868, 2010.

INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL. Disponível em: <<http://www.inpi.gov.br>>, Acessado em 10/08/2019.

LEE, X. J., HIEW, B. Y. Z., et. al. Review on graphene and its derivatives: Synthesis methods and potential industrial implementation. **Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers**, vol. 98, 163, 2019.

LENS.ORG. Disponível em: <<http://www.lens.org>>, Acessado em 10/08/2019.

NOVOSELOV, K. S., GEIM, A. K. **Nature Materials**, vol. 6 , 183, 2007.

RANGA BABU, J. A., KIRAN KUMAR, K., SIRINIVASA RAO, S. State-of-art review on hybrid nanofluids. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, vol. 77, 551, 2017.