

TENDÊNCIA DE PESQUISA SOBRE PROCESSOS AVANÇADOS OXIDATIVOS: FOTOCATÁLISE E FOTODEGRADAÇÃO COM GRAFENO

Maria Eliana Camargo Ferreira¹, Natália Ueda Yamaguchi², Gabriela Genta Fanhani³

¹Dicente do Programa de Mestrado de Tecnologias Limpas, Centro Universitário de Maringá – UNICESUMAR. camargo_ferreira@hotmail.com

²Docente do Programa de Mestrado em Tecnologias Limpas, ICETI, Centro de Universitário de Maringá – UNICESUMAR. natalia.yamaguchi@unicesumar.edu.br

³Dicente do Programa de Mestrado de Tecnologias Limpas, Centro Universitário de Maringá – UNICESUMAR. gabii_99@hotmail.com

RESUMO

A preocupação com o meio ambiente vem sendo cada vez maior no decorrer dos anos, sendo assim, há a necessidade de estudos de tratamentos alternativos de água. Dentro desse contexto destacam-se os processos oxidativos avançados (POAs), os quais englobam a fotocatálise e a fotodegradação. Sendo assim o presente estudo realizou uma análise cienciométrica de documentos sobre fotocatálise e fotodegradação em água, que contassem com o grafeno como catalisador. Os dados para esta análise foram coletados *on-line* do banco de dados da *Web of Science* Thomson Reuters da SCI-Expanded e organizados no programa *Excel*. Concluiu-se por fim, que o tema é relativamente recente na área científica, tendo em vista que as primeiras publicações deram-se em 2011. Em contrapartida, observou-se um grande crescimento na área e destacou-se a importância do grafeno para melhor eficiência fotocatalítica.

PALAVRAS-CHAVE: Cienciométrica; Fotocatalisador; Tratamento de água.

1 INTRODUÇÃO

Sabe-se que atualmente, as indústrias têm contribuído para o aumento da poluição dos recursos hídricos com o despejo de alguns compostos altamente perigosos (YAO, et al. 2014). Diante disso, surge a necessidade do estudo de meios alternativos para o tratamento de água, como os processos avançados oxidativos (POAs), que segundo Pereira et al. (2016) é eficiente na remoção de poluentes, independentemente da disponibilidade de oxigênio dissolvido e da natureza deste poluente.

Os POAs tem por objetivo degradar ou reduzir a resistência de compostos orgânicos, podendo até converte-los em substâncias biodegradáveis, por isso esses processos classificam-se como tecnologias limpas (ARAUJO et al. 2016; DEWIL et al. 2017; SANTANA et al. 2019).

Destes processos, pode-se destacar a fotocatálise, que é um processo que faz uso de irradiação para induzir reações de oxi-redução com a utilização de um fotocatalisador que absorvem a energia dos fótons emitidos pela radiação. Estes fotocatalisadores geram radicais hidroxilas (OH) durante o processo de fotocatálise, que são capazes de mineralizar matéria orgânica devido a sua alta reatividade (PASCOAL et al. 2007).

Devido as suas características, o grafeno vem sendo utilizado amplamente no âmbito da fotocatálise, pois além de melhorar a capacidade fotocatalítica dos semicondutores utilizados ele tem uma boa condutividade, boa capacidade de adsorção, estabilidade térmica e química e é um material com uma grande área superficial (ZHAO et al., 2012; VERMA et al., 2017; YANG et al., 2015).

A Cienciometria é um estudo quantitativo das produções científicas, que permite analisar origem e magnitude das pesquisas envolvendo diferentes áreas, países, autores e instituições (NORONHA et al. 2000). A partir disso é possível identificar tendências de pesquisa de determinado assunto (MACIAS-CHAPULA, 1998; STREHL; SANTOS, 2002). Segundo Ye et al. (2014) a base mais usada em inúmeras áreas é a do *Web of Science* (WoS), através do Índice de Citação de Ciências Expandidas (SCI-EXPANDED).

Diante das informações previamente abordadas, a presente pesquisa teve por objetivo realizar uma análise cinenciométrica da literatura presente no WoS sobre processos oxidativos avançados, envolvendo fotocatalise em água com a utilização do grafeno como catalisador.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Para execução do presente estudo, utilizou-se a versão *on-line* do banco de dados da *Web of Science* Thomson Reuters da SCI-Expanded, onde no dia 25 de julho de 2019 buscaram-se documentos para o levantamento cinenciométrico. Segundo Glanzel (2003), esta plataforma tornou-se fonte fundamental e base para pesquisas cinenciométricas. Isso deu-se pela grande confiabilidade e cobertura (QUEIROZ; MOURA, 2017), sendo assim muito utilizada neste tipo de estudo.

A fim de abranger todos os estudos relacionados a fotocatalise e fotodegradação que envolvesse o grafeno, mas também delimitar a análise cinenciométrica para meio aquosos utilizou-se as seguintes palavras-chave na busca avançada da base de dados do WoS: TÍTULO: (("photocataly*" or "photodegradation") and "graphene") e refinado por: TÓPICO: (water treatment). Tendo em vista que a primeira publicação se deu em 2011, consideraram-se publicações desse ano até o primeiro semestre de 2019.

Alguns critérios foram adotados para analisar a tendência de pesquisa e também selecionar os documentos mais relevantes. Primeiramente os dados foram organizados através no programa *Excel* e os analisou de acordo com o tipo de documentos, áreas de pesquisa, autores mais citados, ano de publicação e países.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Utilizando as palavras-chaves anteriormente citadas, obteve-se o resultado de 196 documentos, entretanto lista-se 201 quando os classifica por tipo de documento onde deste total, sua maioria são artigos sendo eles 185 (94,4%) do total.

Quanto a produção científica, tem-se que dos 185 artigos encontrados a sua maioria foi publicada nos últimos 5 ano, sendo 75,67% do total conforme demonstrado da Figura 1.

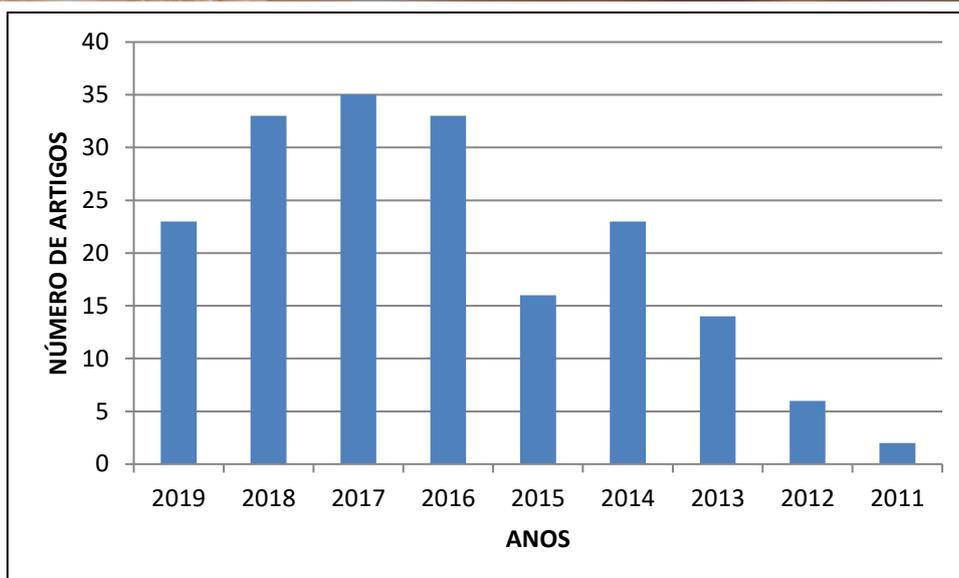


Figura 1 - Artigos publicados na base de dados WoS entre 2019-2011

Fonte: Os autores

Os resultados obtidos demonstram uma crescente nos últimos anos nas pesquisas referentes a esta área, observa-se que em 2019 no primeiro semestre, os números de publicações já ultrapassam a metade das publicações indexadas de 2018. Este aumento do interesse nesse tipo de tratamento pode ser atribuído, segundo Dutta et al. (2019), ao fato do tratamento fotocatalítico contar com a possibilidade de utilização de luz solar e também da sua eficiência quanto a desinfecção química.

Em 2011 foram publicados há apenas dois artigos sobre o assunto registrados no WoS, artigos esses que também estão como os artigos mais citados conforme demonstrado na Tabela 1.

Tabela 1- Artigos mais citados em pesquisas indexadas no Web of Science

Clas.	TC*	Título	Autor	Revista
1	1132	<i>Preparation and Enhanced Visible-Light Photocatalytic H₂-Production Activity of Graphene/C₃N₄ Composites</i>	XIANG; YU; JARONIEC, 2011	JOURNAL OF PHYSICAL CHEMISTRYC
2	538	<i>Enhanced photocatalytic H₂-production activity of graphene-modified titania nanosheets</i>	XIANG; YU; JARONIEC, 2011	NANOSCALE

3	251	<i>Hierarchical assembly of graphene-bridged Ag₃PO₄/Ag/BiVO₄ (040) Z-scheme photocatalyst: An efficient, sustainable and heterogeneous catalyst with enhanced visible-light photoactivity towards tetracycline degradation under visible light irradiation</i>	CHEN et al., 2017	APPLIED CATALYSIS B- ENVIRONMENTAL
4	156	<i>Enhanced photocatalytic activity and structural stability by hybridizing Ag₃PO₄ nanospheres with graphene oxide sheets</i>	LIANG et al., 2012	PHYSICAL CHEMISTRY CHEMICAL PHYSICS
5	150	<i>Synthesis of Uniform CdS Nanospheres/Graphene Hybrid Nanocomposites and Their Application as Visible Light Photocatalyst for Selective Reduction of Nitro Organics in Water</i>	CHEN et al., 2013	ACS APPLIED MATERIALS & INTERFACES

*TC: Total de citações

Fonte: Dados da pesquisa

Os artigos são de mesma autoria (XIAN. et al., 2011), e tratam basicamente de testes utilizando o grafeno como catalisador para o processo de fotocatalise, em ambos utiliza-se da produção do H₂ como parâmetro para avaliar a eficiência do poder fotocatalítico de compósitos de grafeno.

O primeiro artigo, com 1132 citações “*Preparation and Enhanced Visible-Light Photocatalytic H₂-Production Activity of Graphene/C₃N₄ Composites*” os autores utilizaram o grafeno como catalisador, e no segundo artigo (“*Enhanced photocatalytic H₂-production activity of graphene-modified titania nanosheets*”) utilizou-se o óxido de grafeno juntamente com nanopartículas de TiO₂ a fim de aprimorar a produção de H₂. Em ambos experimentos os pesquisadores obtiveram bons resultados, e descobriram que a utilização deste elemento pode ser muito vantajoso, não somente pela sua eficiência como fotocatalítico em luz visível, podendo até ser uma alternativa para tratamentos de água, mas também pela possibilidade de substituir metais nobres e de alto custo que são usados em processos de fotocatalíticos (XIANG; YU; JARONIEC, 2011).

Com 251 citações, o terceiro artigo mais citado, tem-se o artigo intitulado “*Hierarchical assembly of graphene-bridged Ag₃PO₄/Ag/BiVO₄ (040) Z-scheme photocatalyst: An efficient, sustainable and heterogeneous catalyst with enhanced visible-light photoactivity towards tetracycline degradation under visible light irradiation*” (CHEN et al., 2017). Neste artigo os autores realizaram experimentos combinando o grafeno com outros compósitos com o intuito de degradar tetraciclina (TC) em água a partir de irradiação de luz visível. Os resultados apresentaram uma boa eficiência demonstrando assim, que o

grafeno combinado com nanopartículas, podem contribuir e serem aplicados como fotocatalisadores no tratamento de água utilizando luz visível.

Nos últimos dois artigos citados na Tabela 1, tem-se em comum o grande interesse de buscar a diferentes formas de utilizar o grafeno para melhorar a atividade fotocatalítica em luz visível. Em ambos artigos os autores demonstraram resultados positivos, reforçando então que este compósito vem contribuindo positivamente para estudos nessa área e se demonstrando um bom fotocatalisador.

A Figura 2 demonstra os artigos publicados na base de dados WoS organizados conforme país.

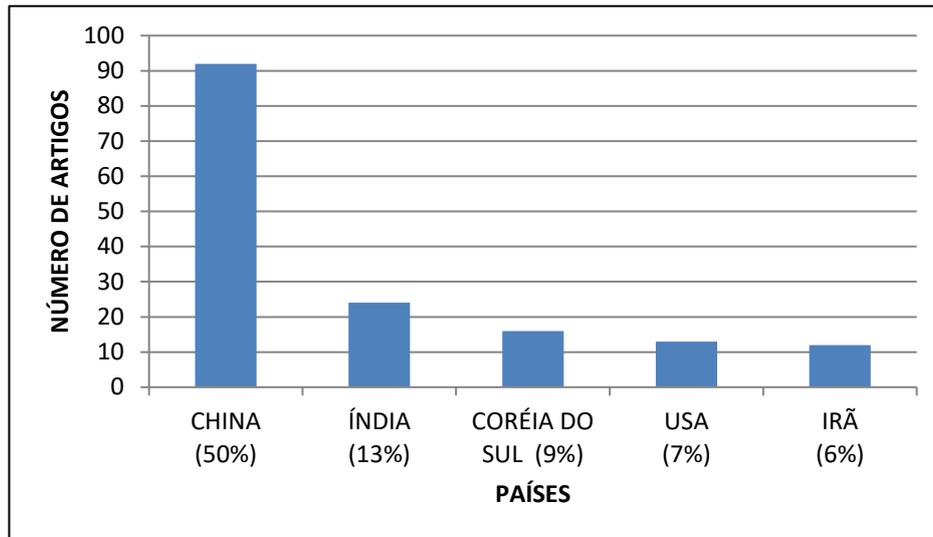


Figura 2- Artigos publicados na base de dados WoS conforme país

Fonte: Os autores

Ao analisar a Figura 2 pode-se perceber que a China tem um grande destaque quanto aos estudos publicados nessa área, com um total de 92 registros (50%), número este muito maior que a Índia com 24 publicações. Em terceira, quarta e quinta posições, respectivamente, encontram-se a Coreia do Sul com 16, Estados Unidos com 13 e Irã com 12.

A Figura 3 representa as áreas de pesquisa em que os artigos indexados na base de dados WoS se classificam.

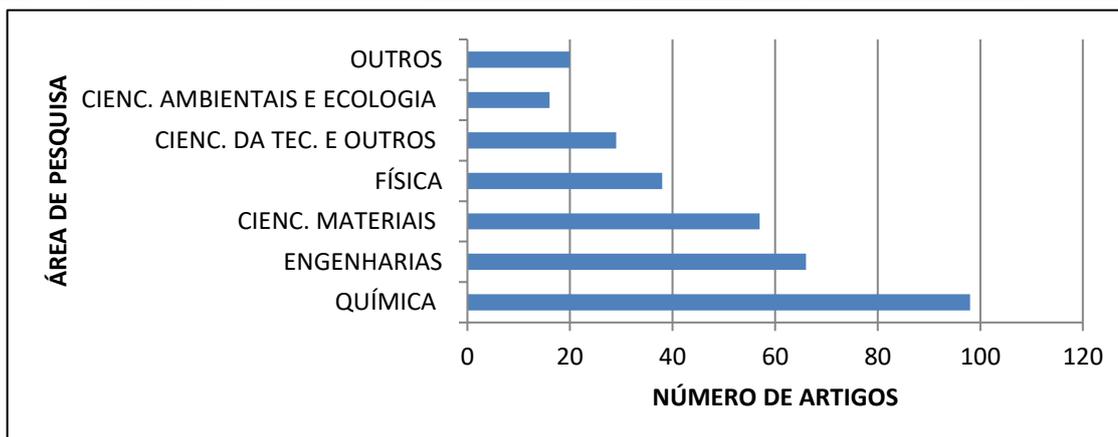


Figura 3 - Artigos publicados na base de dados WoS conforme área de pesquisa

Fonte: Os autores

Pode-se observar que a maioria dos documentos, cerca de 30%, estão classificados como sendo da área da química. A área da engenharia engloba 20%, seguido por ciências de materiais (18%), física (12%), ciência da tecnologia e outros (9%), ciências ambientais (5%) e outras categorias (6%).

4 CONCLUSÃO

A partir da análise bibliométrica realizada, pode-se constatar a grande crescente no âmbito científico quanto aos processos de fotocatalise e fotodegradação. Observa-se que nos principais estudos, os pesquisadores destacam a importância do grafeno para um melhor desempenho fotocatalítico, sendo assim, concluiu-se que o grafeno tem um importante papel no aprimoramento dos processos oxidativos avançados envolvendo fotocatalise, podendo assim ser um grande contribuinte em processos de tratamentos alternativos de água.

6 REFERÊNCIAS

ARAÚJO, K. S. D. et al. Processos oxidativos avançados: uma revisão de fundamentos e aplicações no tratamento de águas residuais urbanas e efluentes industriais. **Revista Ambiente & Água**, v. 11, p. 387-401, 2016. ISSN 1980-993X. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1980-993X2016000200387&nrm=iso>.

DEWIL, R. et al. New perspectives for Advanced Oxidation Processes. **Journal of Environmental Management**, v. 195, p. 93-99, 2017. ISSN 0301-4797. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479717303353>>.

DUTTA, V., SINGH, P., SHANDILYA, P., SHARMA, S., RAIZADA, P., SAINI, A. K., GUPTA, V. K., HOSSEINI-BANDEGHARAEI, A., AGARWAL, S. RAHMANI-SANI, A. Review on advances in photocatalytic water disinfection utilizing graphene and graphene derivatives-based nanocomposites, **Journal of**

Environmental Chemical Engineering, V. 7, N.3, 2019,. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jece.2019.103132>>.

GLÄNZEL, W. Bibliometrics as a research field: A course on theory and application of bibliometric indicators. **Course Handouts**, 01/01 2003.

MACIAS-CHAPULA, C.A. O papel da informetria e da cienciometria e sua perspectiva nacional e internacional. **Ci. Inf.**, Brasília, v. 27, n. 2, p. 134-140, 1998.

NORONHA, D.P. et al. Produção científica: análise cienciométrica das comunicações apresentadas nos SNBUs 1978-1998. In: **XI Seminário Nacional de Bibliotecas Universitárias**, Florianópolis, SC. Anais... Florianópolis: UFSC-BU, 2000. p. 1- 12, 2000.

PASCOAL, S. A. et al. Aplicação de radiação UV artificial e solar no tratamento fotocatalítico de efluente de curtume. **Química Nova**, vol.30, n. 5, 1082-1087, 2007.

PEREIRA, G. F., EL-GHENYMY, A., THIAM, A., CARLESI, C., EGUILUZ, K. I. B., SALAZAR-BANDA, G. R., & BRILLAS, E. Effective removal of Orange-G azo dye from water by electro-Fenton and photoelectro-Fenton processes using a boron-doped diamond anode. **Separation and Purification Technology**, v. 160, p.145–151, 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.seppur.2016.01.029>>.

QUEIROZ D. G. C., de MOURA, A.M.M. **Encontros Bibli: revista eletrônica de biblioteconomia e ciência da informação**, v. 22, n.49, p. 115-126, maio/ago., 2017.

SANTANA, R. M. D. R. et al. Degradation of Textile Dyes Employing Advanced Oxidative Processes: Kinetic, Equilibrium Modeling, and Toxicity Study of Seeds and Bacteria. **Water, Air, & Soil Pollution**, v. 230, n. 6, p. 136, June 06 2019. ISSN 1573-2932. Disponível em: < <https://doi.org/10.1007/s11270-019-4178-x> >.

STREHL, L.; SANTOS, C.A. Indicadores de qualidade da atividade científica. **Cienc. Hoje**, Rio de Janeiro, v. 31, n. 186, p. 34-39, 2002.

VERMA, R. et al. Nanostructured bi-phasic TiO₂ nanoparticles grown on reduced graphene oxide with high visible light photocatalytic detoxification. **Materials Chemistry and Physics**, v. 186, p. 202-211, 2017. ISSN 0254-0584. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0254058416307982> >.

YANG, D. et al. Photocatalyst Interface Engineering: Spatially Confined Growth of ZnFe₂O₄ within Graphene Networks as Excellent Visible-Light-Driven Photocatalysts. **Advanced Functional Materials**, v. 25, n. 45, p. 7080-7087, 2015. ISSN 1616-301X. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/adfm.201502970> >.

YE Z.; ZHANG B.; LIU Y.; ZHANG J.; WANG Z.; BI H. A bibliometric investigation of research trends on sulfate removal. **Desalination and Water Treatment**.; v. 52, n. 31-33, p. 6040-6049, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1080/19443994.2013.812991>>.

YUNJIN Y.; YUNMU C.; FANG L.; FENGYU W.; XIAOYAO W.; SHAOBIN W. Magnetic recoverable MnFe₂O₄ and MnFe₂O₄-graphene hybrid as heterogeneous catalysts of peroxymonosulfate activation for efficient degradation of aqueous organic pollutants, **Journal of Hazardous Materials**, V.270, p.61-70, 2014. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2014.01.027>>.

ZHAO, G. et al. Synthesis of graphene-based nanomaterials and their application in energy-related and environmental-related areas. **RSC Advances**, v.2, n.25, p.9286-9303, 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1039/C2RA20990J> >.