



UTILIZAÇÃO DA FOTOCATÁLISE HETEROGÊNEA COMO TECNOLOGIA DE TRATAMENTO DE EFLUENTES RICOS EM POLUENTES EMERGENTES

RENATO PEREIRA MURBACK FILHO; KLEPER DE OLIVEIRA ROCHA.

RESUMO

A poluição de corpos hídricos tem sido um dos principais problemas enfrentados pela sociedade moderna e, com a produção de novos tipos de produtos químicos ou evidências de que antigos produtos vêm causando impactos ambientais, o impacto no ecossistema acaba intensificando mais ainda o problema. Estes contaminantes são chamados contaminantes emergentes e podem ser definidos como compostos químicos que têm potencial de causar danos ao meio ambiente e ao homem. A utilização de processos de tratamento de esgoto usuais não é eficiente para tratar este tipo de resíduo, portanto, novos processos precisam ser empregados para descontaminação de esgoto e para um descarte correto do efluente tratado no meio ambiente. O caráter hidrofóbico de alguns contaminantes favorecem técnicas de separação mecânica, como adsorção, e, os Processos Oxidativos Avançados têm se destacado como processos de tratamento deste tipo de contaminante pela sua capacidade de degradação e mineralização da espécie. Dentro desses processos, a fotocatálise tem sido estudada como possível processo de tratamento tem se mostrado como um importante processo de tratamento de efluentes ricos em contaminantes emergentes.

Palavras-chave: Degradação; tratamento; meio ambiente; contaminantes emergentes.

1 INTRODUÇÃO

A poluição do meio ecológico, ou seja, das águas, do solo, da vida num ambiente é, hoje, um dos principais problemas enfrentados pela sociedade moderna. Novos produtos químicos, novos medicamentos e novos produtos de beleza geram um novo tipo de contaminantes que, mesmo em baixas concentrações, podem causar sérios danos à biótica aquática; estes contaminantes são conhecidos como emergentes (CARTAXO, 2019). Poluentes emergentes (PE) podem ser definidos como compostos químicos que têm potencial de causar danos ao meio ambiente e ao homem, e que muitas vezes não são devidamente monitorados (GEISSEN, 2015). Além disso, “eles não estão incluídos nos programas de monitoramento de rotina, ou seja, não são legislados” (MONTAGNER, 2017).

Dentre os diversos materiais que se enquadram nessa categoria, podemos elencar como principais: pesticidas, fármacos, produtos de beleza, fragrâncias, plastificantes, hormônios, nanopartículas e toxinas de algas (JESUS, 2020). Assim, PE não são necessariamente novos compostos químicos, mas sim, aqueles que por muito tempo tem sido lançados no meio ambiente e que somente nos dias atuais (em virtude de novas tecnologias de quantificação ou devido à bioacumulação) puderam ser categorizados como poluentes.

O grupo NORMAN Network classificou mais de 106.874 substâncias como PE (NORMAM, 2022), e só nos corpos hídricos europeus, há, atualmente, mais de 700 tipos de

PEs (GEISSEN, 2015). No Brasil, a preocupação a respeito dos contaminantes emergentes também é presente (FARTO, 2021). Uma ampla área territorial, grandes conflitos socioeconômicos e ambientais, e falta de investimentos em saneamento básico são pontos que inflamam o tema. Segundo o relatório do Instituto Trata Brasil (ITB), aproximadamente 100 milhões de brasileiros não dispõem de rede de coleta de esgoto, ao mesmo tempo em que a economia do Brasil se encontra entre o top 10 do mundo, o que indica alto nível de produção de lixo.

Porém há poucos estudos a respeito do impacto ambiental gerado pelos contaminantes emergentes e, os que se dedicam ao assunto, o fazem utilizando poluentes e seres vivos específicos. Alguns reviews sobre o assunto (STEFANAKIS, 2016; PETRIE, 2015, TIJANI, 2016; BILAL, 2019), norteiam sobre os impactos dos PE.

Consequentemente se tem poucos tipos de métodos de tratamento de efluentes contaminados com PE que são utilizados em grande escala. Até pouco tempo, a preocupação com a qualidade da água era referente à sua cor, odor, turbidez e presença de microrganismos. Hoje a preocupação se trata de contaminantes que mesmo em baixa concentração, podem causar sérios danos ao ecossistema (MONTAGNET, 2014). Além do que, cada tipo de contaminante pode agir de uma forma diferente no ecossistema ao qual ele foi descartado, como, por exemplo, nos lençóis freáticos, no equilíbrio químico do solo, sobre a biótica terrestre e marinha, e sobre a saúde humana (JESUS, 2020; BERNSTEIN, 2021).

O tratamento convencional de esgoto não se mostra eficiente quando o efluente a ser tratado é rico em contaminantes emergentes (MONTAGNER, 2014), o que traz a necessidade de tratamentos complementares, pesquisa em novas tecnologias de tratamento de efluentes e formas de remoção do contaminante. Neste sentido, o caráter hidrofóbico de alguns contaminantes favorecem técnicas de separação mecânica, como adsorção, assim como, utilizar os Processo Oxidativos Avançado (POA) no tratamento deste tipo de efluente, como a fotocatalise, se destaca por se mostrar efetivos e economicamente viáveis (SANTOS, 2017). Estudos vêm mostrando que o processo de fotocatalise tem se mostrado como uma boa via alternativa de tratamento de efluentes ricos em diversos tipos de contaminantes residuais.

Este trabalho tem por objetivo fazer uma revisão de artigos que dizem respeito a utilização do processo de fotocatalise na degradação de diferentes tipos de contaminantes emergentes.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Trata-se de um estudo de revisão bibliográfica realizada em outubro de 2022 sobre o tema “Utilização da fotocatalise heterogênea como tecnologia de tratamento de efluentes ricos em contaminantes emergentes” de artigos publicados nos últimos 10 anos.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O processo de fotocatalise pode ser utilizado como uma via alternativa no tratamento de efluentes ricos em diferentes tipos de resíduos, por exemplo, como meio de catalisar moléculas de corantes. Existem dois tipos fotocatalise:

(i) Na fotocatalise homogênea o catalisador se encontra diluído na solução formando uma única fase. Esses catalisadores são agentes oxidantes como o Ozônio (O₃) ou o peróxido de hidrogênio (H₂O₂), que na presença de luz ultravioleta (UV), formam radicais hidroxilas (OH) reativas que geram o processo de fotodragadação.

(ii) Já na fotocatalise heterogênea, utiliza-se catalisadores no estado sólido que normalmente são semicondutores, que na presença de radiação com energia

superior ao seu *Band gap* geram um par elétron/buraco na estrutura eletrônica do material, formando assim sítios oxidantes e redutores em sua superfície. Esses sítios interagem com o meio gerando produtores extremamente reativos, como os radicais hidroxilas. A vantagem deste processo é que os POAs podem mineralizam os poluentes e, geralmente não é necessário um tratamento posterior. Na quantidade correta, não formam subprodutos indesejáveis, como é o caso da cloração.

Cassol (2021), por exemplo, utilizaram a fotocatalise na eliminação da dipirona sódica em meio aquoso. Os testes foram feitos com TiO₂ como o semicondutor catalizador e tiveram como resultado uma clivagem das ligações químicas e, portanto, na degradação do fármaco. Os resultados obtidos mostram, também, que foi possível remover mais de 50% do fármaco utilizando quantidade menores de TiO₂, reduzindo o custo do processo. Porém a análise de carbono orgânico total (COT) mostrou que aproximadamente 30% do fármaco foi mineralizado, supondo a geração de subprodutos.

Santos (2017), utilizou a fotocatalise heterogênea para a degradação do Cloridrato de Norfloxacino, que é um antibiótico da classe fluoroquinolonas, um medicamento amplamente consumido na medicina humana e veterinária. A autora diz também que o uso descontrolado deste medicamento tem levado a grande contaminação de corpos hídricos, que gera a formação de cepas bacterianas resistentes a este medicamento, o que pode levar ao abandono terapêutico deste fármaco. Os resultados deste trabalho indicam que a fotocatalise foi capaz de degradar o fármaco e o produto degradado apresentou baixo grau de toxicidade, como também baixo valor de DQO, indicando a mineralização parcial da molécula. Ela conclui que o processo de fotocatalise influencia positivamente como ferramenta de auxílio para descontaminação de corpos d'água.

Embora a concentração de catalizador limite a taxa de reação devido à fraca absorção de fótons (PRIETO-RODRIGUEZ, 2012), uma maior extensão de degradação de contaminantes emergentes (>85%) é possível sob luz solar natural quando os reatores CPC de diâmetros maiores são utilizados. O trabalho conclui que a utilização de baixas concentrações de TiO₂ pode ser uma alternativa econômica e simples para o tratamento terciário de estações de tratamento de águas residuais e para a remoção de PEs persistentes que não são degradadas por técnicas convencionais.

Tão importante quanto à pesquisa de materiais a serem utilizados na fotocatalise é o entendimento dos mecanismos de degradação que levam a mineralização do contaminante, pois, corre-se o risco de produzir subprodutos ainda mais tóxicos que a molécula original. Kar e autores (2021) apresentam um review crítico sobre a desintoxicação de sistemas aquáticos contaminados com poluentes farmacêuticos, apresentando diversos contaminantes e os catalisadores utilizados para degradá-los. Em específico, é interessante notar que os nanomateriais possuem um boa capacidade de fotodegradação associado à mecanismos de armazenamento de elétrons ou associação da adsorção com fotocatalise. Todavia, há ainda a necessidade emergente de desenvolvimento de materiais que utilizem todo o espectro da luz solar durante o processo.

Zango e autores (ZANGO, 202) analisaram do papel das estruturas metal-orgânicas (MOFs) e seus compósitos como materiais potenciais para aplicações na adsorção e fotocatalise, já que estes materiais têm mostrado resultados muito animadores não apenas como superadsorventes, mas também como superfotocatalisadores tendo em vista a extrema porosidade, a grande área de superfície interior e porosos com distribuição uniforme. Ao contrário dos adsorventes convencionais que dependem em grande parte da força inespecífica de van der Waals, o uso simultâneo de várias interações, como catiônica, empilhamento π - π , ligações de hidrogênio e interações de Van der Waals, tem sido associada à adsorção de

MOFs. Os MOFs também podem oferecer mais seletividade aos poluentes orgânicos do que outros adsorventes convencionais devido à orientação de suas estruturas.

4 CONCLUSÃO

A fotocatálise tem se mostrado como um importante processo de tratamento de efluentes ricos em contaminantes emergentes. Sua capacidade de mineralização da espécie contaminante é a principal vantagem do processo, já que além de degradar o contaminante, não se forma subprodutos tóxicos da reação. A quantidade de materiais que podem realizar a fotocatálise ou adsorção/fotocatálise é vasta, todavia, ainda carece de compostos que utilizem maior porcentagem do espectro solar. Ainda sim, é evidente que o assunto tem tomado cada vez mais notoriedade já que os poluentes emergentes, mesmo em quantidades mínimas, podem causar diversas alterações no meio ambiente. Este ponto tem levado as pesquisas em fotocatálise ao entendimento aprofundado dos mecanismos de degradação e assim ao desenvolvimento de materiais ainda mais efetivos.

5 AGRADECIMENTOS

À FAPES pela concessão da bolsa de IC nos processos 2020/08282-9 e 2022/01415-9.

REFERÊNCIAS

BERNSTEIN, A. Contaminantes emergentes na água. **Revista Educação Pública**, 2021. Disponível em: <https://educacaopublica.cecierj.edu.br/artigos/22/34/contaminantes-emergentes-na-agua#:~:text=Apesar%20de%20n%C3%A3o%20aparentarem%20toxicidade,no%20crescimento%20dos%20seres%20vivos.>

BILAL, M.; ADEEL, M.; RASHEED, T.; ZHAO, Y.; IQBAL, H. M.N.. Emerging contaminants of high concern and their enzyme-assisted biodegradation – A review. **Environment International**, v. 124, p. 336-353, 2019. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envint.2019.01.011>

CARTAXO, A. S B, et al. Tecnologias de tratamento para remoção de contaminantes emergentes presentes em águas destinadas ao consumo humano. **Anais Congresso Nacional de Pesquisa e Ensino em Ciências - IV CONAPESC**. Campina Grande: Realize Editora, 2019. Disponível em: <https://editorarealize.com.br/artigo/visualizar/57251>
Acesso em: 19/10/2022.

CASSOL, G. P. Tratamento de água com contaminantes emergentes por fotocatálise: uma revisão. **Seminário de Iniciação Científica da Universidade de Santa Catarina – 31º SIC UDESC**. Disponível em: https://www.udesc.br/arquivos/udesc/id_cpmenu/14605/46_16341509168498_14605.pdf

FARTO, C. D., ATHAYDE JÚNIOR, G. B., SENA, R. F., ROSENHAIM, R. (2021). Contaminantes de preocupação emergente no Brasil na década 2010-2019 – Parte I: ocorrência em diversos ambientes aquáticos. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, v. 18, e6. <https://doi.org/10.21168/reg.v18e6>

GEISSEN, V. Emerging pollutants in the environment: A challenge for water resource management. **International Soil and Water Conservation Research**, v. 3, n. 1, p. 57-65, 2015. Disponível em <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2095633915000039>

JESUS, T.. **Poluentes Emergentes**. UFU Sustentável, 2020. Disponível em: <http://www.sustentavel.ufu.br/node/483#:~:text=Tamb%C3%A9m%20chamados%20de%20%22Contaminantes%20Emergentes,sa%C3%BAde%20dos%20seres%20humanos...>

KAR, P.; SHUKLA, K.; JAIN, P.; SATHIYAN, G.; GUPTA, R. K. Semiconductor based photocatalysts for detoxification of emerging pharmaceutical pollutants from aquatic systems: a critical review. **Nano Materials Science**, , v. 3, n. 1, p. 25-46, 2021. <http://dx.doi.org/10.1016/j.nanoms.2020.11.001>.

MONTAGNER, C. C. Contaminantes emergentes em matrizes aquáticas do Brasil: cenário atual e aspectos analíticos, ecotoxicológicos e regulatórios. **Química Nova**, v. 40, n. 9, p. 1094-1110, 2017. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/NJr4QLWkxCKJXd6gHvdwtNk/?format=pdf&lang=pt>

MONTAGNER, C.C.; VIDAL, C ; ACAYABA, RAPHAEL, D.; JARDIM, W; JARDIM. Trace analysis of pesticides and an assessment of their occurrence in Brazilian surface and drinking waters. **Analytical Methods (Print)**, v. 6, p. 6668-6677, 2014.

NORMAN, Grupo de rede. <http://www.norman-network.net/?q=node/19>. Acessado em 28 de outubro de 2022.

PETRIE, B.; BARDEN, R.; KASPRZYK-HORDERN, B.. A review on emerging contaminants in wastewaters and the environment: current knowledge, understudied areas and recommendations for future monitoring. **Water Research**, v. 72, p. 3-27, 2015. <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2014.08.053>.

PRIETO-RODRIGUEZ, L.; MIRALLES-CUEVAS, S.; OLLER, I.; AGUERA, A.; PUMA, G. L.; MALTO, S. Treatment of emerging contaminants in wastewater treatment plants (WWTP) effluents by solar photocatalysis using low TiO₂ concentrations. **Journal of Hazardous Materials**, v. 211–212, p. 131-137, 2012. ISSN 0304-3894, <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2011.09.008>.

SANTOS, M. C.. Utilização de fotocatalise heterogênea para a degradação de contaminantes emergentes: cloridrato de norfloxacino. **Artigo técnico**, 2017. Disponível em: <https://www.abq.org.br/rqi/2014/758/RQI-758-pagina25-Artigo-Tecnico.pdf>

STEFANAKIS, A. I.; BECKER, J. A. A Review of Emerging Contaminants in **Water: Classification, Sources, and Potential Risks**. In A. McKeown, & G. Bugyi (Ed.), *Impact of Water Pollution on Human Health and Environmental Sustainability* (pp. 55-80), 2016. IGI Global. <https://doi.org/10.4018/978-1-4666-9559-7.ch003>

TIJANI, J.O., FATOBA, O.O., BABAJIDE, O.O. et al. Pharmaceuticals, endocrine disruptors, personal care products, nanomaterials and perfluorinated pollutants: a review.

Environ Chem Lett, V. 14, 2P. 7–49, 2016. <https://doi.org/10.1007/s10311-015-0537-z>

ZANGO, Z.U.; JUMBRI, K.; SAMBUDI, N.S.; RAMLI, A.; ABU BAKAR, N.H.H.; SAAD, B.; ROZAINI, M.N.H.; ISIYAKA, H.A.; JAGABA, A.H.; ALDAGHRI, O.; SULIEMAN, A. A Critical Review on Metal-Organic Frameworks and Their Composites as Advanced Materials for Adsorption and Photocatalytic Degradation of Emerging Organic Pollutants from Wastewater. **Polymer**, v. 12, n. 11, p 2648, 2020.
<https://doi.org/10.3390/polym12112648>