



AVALIAÇÃO COMPARATIVA DOS CATALISADORES: TiO_2 , ZnO , CeO_2 E Nb_2O_5 , NA FOTODEGRADAÇÃO HETEROGÊNEA DO ACESSULFAME-K

Gabriel Emiliano Motta¹, Lucas Ávila do Nascimento¹, Ana Paula Spezia Darif¹, Jociane Fernanda Bohn Dos Santos¹, Luiz Heveline Henzweiler^{1,2}, Luiz Jardel Visioli^{1,2}

¹Universidade do Estado de Santa Catarina, Departamento de Engenharia de Alimentos e Engenharia Química, BR-282 km 574, 89870-000, Pinhalzinho-SC, Brasil.

²Universidade do Estado de Santa Catarina, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, BR-282, km 574, 89870-000, Pinhalzinho-SC, Brasil.
(heveline.enzweiler@udesc.br)

Resumo: A presença de contaminantes em ambientes aquáticos é uma preocupação ambiental, especialmente devido à persistência de compostos como o acessulfame-K (ACE-K), adoçante artificial. Este trabalho avaliou a eficiência fotocatalítica na degradação do ACE-K. Foram investigados: TiO_2 , ZnO , CeO_2 e Nb_2O_5 . Os resultados demonstraram que TiO_2 e ZnO apresentaram elevada atividade fotocatalítica, atingindo remoções de 90%, enquanto CeO_2 e Nb_2O_5 exibiram desempenho limitado nas condições avaliadas.

Palavras-chave: Fotodegradação; Tratamento de resíduos; Catalizadores; Edulcorantes

INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, o avanço da industrialização, o crescimento populacional e as mudanças nos hábitos alimentares têm resultado em um aumento expressivo da presença de contaminantes emergentes em águas superficiais e subterrâneas. Esses compostos englobam uma ampla gama de substâncias químicas, como fármacos, cosméticos, pesticidas e adoçantes artificiais, cuja detecção frequente em efluentes domésticos e ambientais desperta preocupação devido à sua persistência e ao potencial risco ecotoxicológico (Kumar et al., 2023).

A fotocatalise heterogênea baseia-se na excitação de um semicondutor fotossensível por radiação luminosa de energia igual ou superior à sua banda proibida (bandgap), promovendo elétrons da banda de valência para a banda de condução. Essa separação gera pares elétron lacuna (e^-/h^+) que participam de reações de oxidação e redução, formando espécies altamente reativas como os radicais hidroxila ($\bullet\text{OH}$), responsáveis pela degradação de contaminantes (Li et al., 2016).

Entre os fotocatalisadores mais investigados estão os óxidos metálicos TiO_2 , ZnO , CeO_2 e Nb_2O_5 . O dióxido de titânio (TiO_2) é amplamente reconhecido como material de referência em fotocatalise devido à sua estabilidade, não toxicidade e forte atividade sob radiação UV. O óxido de zinco (ZnO) apresenta propriedades semelhantes, enquanto o óxido de cério (CeO_2) e o pentóxido de nióbio (Nb_2O_5) vêm sendo explorados por suas características eletrônicas

específicas (Kumar et al., 2023; Zhang et al., 2022). Neste contexto, o presente trabalho tem como objetivo avaliar a eficiência fotocatalítica dos óxidos TiO_2 , ZnO , CeO_2 e Nb_2O_5 na degradação do acessulfame-K.

MATERIAL E MÉTODOS

Para avaliar os catalizadores foram testadas soluções com concentração inicial de 15 mg L^{-1} de Acessulfame-k conforme demonstrado por Morales Mejía et al. (2021). Os catalisadores utilizados nos ensaios foram o dióxido de titânio IV (P.A. NEON CAS 13463-67-7), óxido de zinco (P.A. DINAMICA, CAS 1314-13-2), óxido de cério (ÊXODO CIENTÍFICA) e pentóxido de nióbio (CBMM). As reações foram realizadas individualmente com 0,5 g de TiO_2 , ZnO , CeO_2 ou Nb_2O_5 . O catalisador foi adicionado diretamente ao meio reacional (600 mL da solução de ACE-K para cada ensaio), permanecendo disperso sob agitação magnética, num reator do tipo batelada, operado sob agitação magnética, com controle de temperatura ($\sim 25^\circ\text{C}$) e equipado com lâmpada de vapor de mercúrio utilizada como fonte de radiação para o processo fotocatalítico (Figura 1).

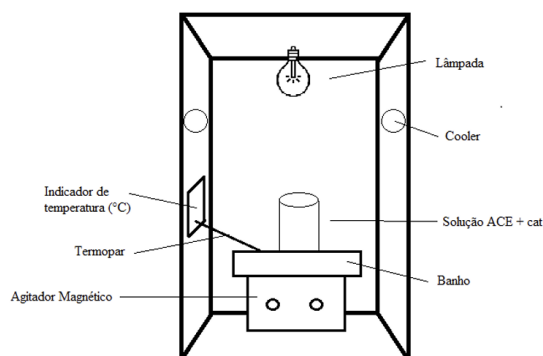


Figura 1. Aparato experimental para a fotocatalise.

Durante as reações, alíquotas de foram coletadas em intervalos de 30 min ao longo de 8 h. Cada amostra foi centrifugada (4500 rpm por 15 min) e filtrada em membranas hidrofílica PES de 0,22 µm. Seguidas para análise em espectrofotômetro (KASVI: k37-UVVIS) na absorbância de 226 nm. Todas as análises foram feitas em duplicata.

O percentual de remoção foi determinado empregando a Equação 1, considerando-se C_0 como a concentração inicial do composto após o período de equilíbrio no escuro e C_t como a concentração medida em cada tempo t durante o experimento.

$$\text{Remoção (\%)} = \left(1 - \frac{C_t}{C_0}\right) \quad (1)$$

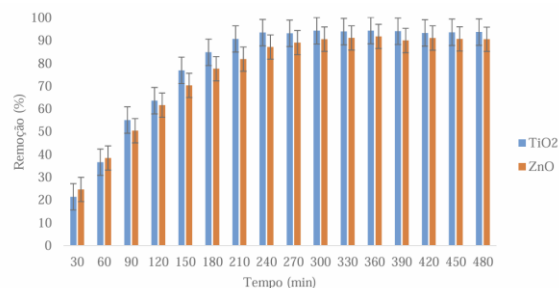
Embora as concentrações ambientais de Acessulfame-K geralmente estejam na faixa de ng L⁻¹ a µg L⁻¹, o emprego de valores mais elevados em experimentos de bancada é justificado pela necessidade de gerar uma resposta analítica sensível e comparável entre diferentes condições experimentais.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As reações de fotocatalise utilizando CeO₂ e Nb₂O₅ não apresentaram degradação significativa do ACE-K nas condições avaliadas, indo ao encontro de alguns materiais da literatura que reportam que existem limitações desses óxidos quando empregados de forma pura e dispersa, especialmente devido ao elevado bandgap e à rápida recombinação de cargas (Kusmierek et al., 2020).

Por outro lado, o TiO₂ e o ZnO apresentaram comportamentos similares durante o período de avaliação proposto, com estabilização de ambas as curvas no tempo de 240 min, indicando que o sistema alcançou um potencial de remoção tal que variações adicionais não geram grandes influencias ao sistema. Nesse ponto, tanto o TiO₂ quanto o ZnO alcançaram

por volta de 90% de remoção do acessulfame-K e mantêm esse desempenho até o final das 8 h avaliadas, evidenciando que a eficiência observada é consistente e sustentada ao longo da reação (Figura 2).

Figura 2. Fotodegradação do ACE-K usando TiO₂ e ZnO.

A elevada eficiência obtida para ambos os catalisadores se alinha ao que a literatura descreve para a fotodegradação do acessulfame-K. Materiais à base de TiO₂ costumam apresentar ótimo desempenho devido à boa geração de espécies oxidantes e à estabilidade estrutural do semiconductor, como demonstrado por M.J. López-Muñoz et al. (2017). Já o ZnO também é amplamente reconhecido pela boa resposta sob irradiação UV, favorecida por uma separação de cargas mais eficiente (Wang et al., 2019). A literatura ainda aponta que esses dois óxidos geralmente exibem comportamentos fotocatalíticos robustos em sistemas aquosos iluminados, o que está de acordo com o elevado grau de remoção observado neste estudo (Ghosh et al., 2018).

CONCLUSÃO

A fotocatalise heterogênea demonstrou ser uma alternativa promissora para a degradação do acessulfame-K, especialmente com os óxidos semicondutores TiO₂ e ZnO. Ambos apresentaram elevado desempenho sob radiação visível proveniente da lâmpada utilizada, cujo espectro se assemelha ao da luz solar, alcançando remoções que chegaram a ~90%. Esses valores são expressivos frente à reconhecida persistência do ACE-K no ambiente e reforçam o potencial desses catalisadores para aplicações práticas. Em contraste, CeO₂ e Nb₂O₅ não exibiram atividade significativa nas condições empregadas, indicando que, embora relevantes em outros contextos catalíticos, não são adequados para a degradação do acessulfame-K no sistema testado.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Estado de Santa Catarina (FAPESC, Brasil) pelo apoio financeiro (Processo nº 2025TR001579) e à Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC) pela estrutura para realização do trabalho



REFERÊNCIAS

- GHOSH, Malini e CHOWDHURY, Pankaj e RAY, Ajay K. Study of solar photocatalytic degradation of Acesulfame K to limit the outpouring of artificial sweeteners. Separation and Purification Technology, v. 207, p. 51–57, Dez 2018.
- KUMAR, Manish; SRIDHARAN, Srinidhi; SAWARKAR, Ankush D.; SHAKEEL, Adnan; ANERAIO, Prathmesh; MANNINA, Giorgio; SHARMA, Prabhakar; PANDEY, Ashok. Current research trends on emerging contaminants pharmaceutical and personal care products (PPCPs): a comprehensive review. Science Of The Total Environment, [S.L.], v. 859, p. 160031, fev. 2023.
- KUSMIEREK, E. A CeO₂ Semiconductor as a Photocatalytic and Photoelectrocatalytic Material for the Remediation of Pollutants in Industrial Wastewater: A Review. Catalysts, v. 10, n. 12, p. 1435, 8 dez. 2020.
- LI, A. J. et al. Photocatalytic transformation of acesulfame: Transformation products identification and embryotoxicity study. Water Research, v. 89, p. 68–75, fev. 2016.
- M.J. LÓPEZ-MUÑOZ et al. Investigation of the photocatalytic transformation of acesulfame K in the presence of different TiO₂-based materials. Chemosphere, v. 193, p. 151–159, 4 nov. 2017.
- MORALES MEJÍA, J. C. et al. PHOTOCATALYTIC SOLAR OXIDATION OF ACESULFAME-K. EFFECT OF INITIAL pH, CATALYST DOSE AND OXIDANT CONCENTRATION. Revista Internacional de Contaminación Ambiental, 9 fev. 2020.
- WANG, Z. et al. Photocatalytic degradation of an artificial sweetener (Acesulfame-K) from synthetic wastewater under UV-LED controlled illumination. Process Safety and Environmental Protection, v. 123, p. 206–214, mar. 2019.
- ZHANG, Q. et al. Insight into antibiotic removal by advanced oxidation processes (AOPs): Performance, mechanism, degradation pathways, and ecotoxicity assessment. Chemical Engineering Journal, p. 157134–157134, 1 nov. 2024.