

Avaliação da atividade fotocatalítica do híbrido $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{ZnO}$ para degradação dos corantes orgânicos amarelo crepúsculo e roxo açaí utilizados em indústria alimentícia

Eccilha Franciely Gadelha Seabra de Lima¹, Livia Barros Silva¹, Vanessa de Oliveira Marques Cavalcanti¹, Fernanda Sobreira Silva¹, Vanessa Karolyne Pedrosa da Silva¹, Daniella Carla Napoleão¹

¹Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Recife, PE, Brasil.

Resumo/Abstract

RESUMO – Este trabalho enfoca o desenvolvimento e a aplicação de um catalisador heterogêneo à base de magnetita (Fe_3O_4) e óxido de zinco (ZnO). A combinação dos materiais resultou em um sistema catalítico para a degradação de corantes alimentícios amplamente utilizados na indústria. O sistema UV-C/ Fe_3O_4 - ZnO alcançou degradações superiores a 50% para todos os comprimentos de onda analisados após 120 min de irradiação. Os estudos cinéticos revelaram melhor ajuste ao modelo de Chan e Chu, indicando comportamento catalítico típico de sistemas com múltiplos sítios ativos, ao contrário do modelo de Langmuir-Hinshelwood.

Palavras-chave: Corantes alimentícios, Cinética reacional, POA, Poluentes orgânicos persistentes.

ABSTRACT - This work focuses on the development and application of a heterogeneous catalyst based on magnetite (Fe_3O_4) and zinc oxide (ZnO). The combination of these materials resulted in a catalytic system for the degradation of food dyes widely used in the industry. The UV-C/ Fe_3O_4 - ZnO system achieved removal efficiencies above 50% for all analyzed wavelengths after 120 min of irradiation. Kinetic studies showed a better fit to the Chan and Chu model, indicating typical catalytic behavior of systems with multiple active sites, unlike the Langmuir-Hinshelwood model.

Keywords: Food colorings, Reaction kinetics, Oxidative processes, Organic pollutants.

Introdução

Os poluentes orgânicos persistentes (POP) são compostos altamente estáveis que compreendem diferentes substâncias. Sua ampla aplicação faz com que seja frequente a ocorrência no meio ambiente, fato que está associado à baixa eficácia das Estações de Tratamento de Efluentes (ETE) convencionais (1).

Dentre os POP pode-se destacar os contaminantes oriundos da indústria alimentícia, como os corantes sintéticos. As altas concentrações de matéria orgânica e forte coloração tem afetado o teor do oxigênio dissolvido dos corpos d'água, quando os atingem (2).

Além disso, os corantes possuem efeitos nocivos à saúde humana, são tóxicos e mutagênicos, afetando tanto a flora quanto a fauna. Com a finalidade de minimizar os riscos, torna-se urgente o tratamento, utilizando técnicas como os processos oxidativos avançados (POA), que se mostram como uma solução eficiente para degradação destes compostos (3).

Desta forma, o presente trabalho buscou avaliar o desempenho do composto catalítico à base de magnetita e óxido de zinco na degradação de uma mistura aquosa dos corantes amarelo crepúsculo (AC) e roxo açaí (RA) sob irradiação UV-C em um sistema de fotocatalise, analisando os efeitos da concentração do catalisador e a cinética reacional.

Experimental

Síntese do composto de magnetita e óxido de zinco.

Para a síntese do composto, inicialmente preparou-se uma mistura de $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (Dinâmica), $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (Dinâmica) e ZnO comercial (99% PA, Dinâmica) dissolvidos em 100 mL de HCl (Merck), levada ao banho ultrassônico a 30 Hz durante 20 min. Essa mistura foi adicionada lentamente a uma solução de NH_4OH (Merck, 30%, $0,7 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, pH 11) a 60°C e mantida em aquecimento com auxílio do agitador magnético (Tecnal), durante 1 h. O material co-precipitado foi filtrado em papel de filtro faixa azul (Moderna) e seco em estufa (Quimis) por 4 h a $70 \pm 1^\circ\text{C}$, síntese adaptada de Unal et al. (2019) (4). O material sintetizado apresenta características típicas de catalisadores heterogêneos, como estabilidade em meio aquoso, facilidade de separação magnética e presença de óxidos metálicos com potencial fotocatalítico.

Procedimento de degradação fotocatalítica.

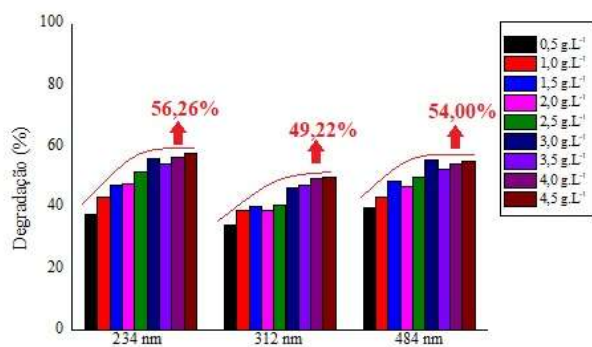
Inicialmente, realizou-se ensaios preliminares de fotólise (60 min). Em seguida, através de ensaios de fotocatalise, verificou a influência da concentração do catalisador na degradação dos corantes ($10 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ de cada, ambos obtidos da F. Trajano), variando-a de 0,5 a $4,5 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$, em 120 min de exposição, pH natural da solução (≈ 5), em reator de bancada equipado com irradiação UV-C (5). Selecionada a melhor

concentração, realizou-se o monitoramento cinético, retirando alíquotas em tempos regulares de 0 a 180 min e ajustando os dados aos modelos de Chan; Chu (6) e Langmuir-Hinshelwood (LH) (7) utilizando o *software Origin 9.0*. Os resultados do ajuste foram avaliados através do coeficiente de regressão linear (R^2) e variância (S_R^2). O monitoramento da concentração dos corantes foi realizado em espectrofotômetro de ultravioleta/visível (UV/Vis, Metash UV-5100) nos λ da mistura: 234, 312 e 484 nm.

Resultados e Discussão

Os ensaios de fotólise mostraram uma degradação de até 6% para todos os λ analisados após 120 min, indicando a ineficiência desse tratamento e constatando-se a necessidade de aplicar outros métodos para um tratamento eficaz desses compostos. Assim, variou-se a concentração do catalisador sintetizado, estando os resultados apresentados na Figura 1.

Figura 1. Variação da concentração do catalisador $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{ZnO}$.



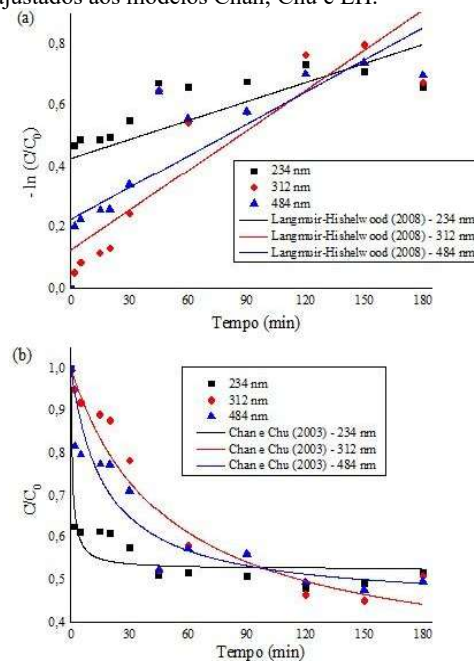
Fonte: as autoras (2025).

Observa-se na Figura 1, que com o aumento da concentração do catalisador, elevou-se a degradação. É possível observar para os três λ analisados, a partir da concentração 2,0 g.L⁻¹ um aumento de desempenho mais modesto indicando uma possível estabilização da eficiência, atingindo degradações entre 56,26% e 57,44%, para 4,5 g.L⁻¹. Com base nos testes de variação da concentração selecionou-se a de 4,0 g.L⁻¹ devido a condições como custo e aumento da turbidez para a concentração maior de catalisador. Em seguida, realizou-se o monitoramento cinético, cujas curvas de decaimento e o ajuste cinético dos dados aos modelos cinéticos de Chan e Chu e LH estão apresentados na Figura 2.

Na Figura 2 pode-se observar um decaimento mais acentuado nos primeiros 45 min, seguido por uma desaceleração até a estabilização em 150 min. Quanto ao ajuste cinético, nota-se que para os modelos avaliados, os dados apresentaram um melhor ajuste ao de Chan; Chu, fato confirmado pelos parâmetros. Em que os valores do R^2 para o modelo de Langmuir-Hinshelwood foi 0,35, 0,74 e 0,72 para os λ 234, 312, 484 nm, mostrando que os dados não se ajustaram ao modelo. Embora o modelo de LH seja tradicionalmente aplicado à fotocatalise heterogênea, os

dados sugerem comportamento catalítico multifásico, com melhor ajuste ao modelo de Chan e Chu (2003).

Figura 2. Cinética de degradação dos corantes AC e RA com dados ajustados aos modelos Chan; Chu e LH.



Fonte: as autoras (2025).

Conclusões

O composto catalítico $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{ZnO}$ demonstrou atividade fotocatalítica promissora, conduzindo a degradações de 57,26; 49,07 e 55,24% para os λ de 234, 312 e 484 nm. Foi observada uma cinética reacional de pseudo primeira-ordem com melhor ajuste ao modelo de Chan e Chu. Otimizações estruturais do catalisador devem ser realizadas de modo a aumentar o desempenho do sistema em aplicações futuras.

Agradecimentos

À FADE/UFPE e à FACEPE.

Referências

1. RIZZO, et al. Science of the Total Environment, **2019**, 655, 986-1008.
2. FRAGA, K R et al. Studies in Education Sciences, **2021**, 2, 3, 120-129.
3. BRAHIM, I et al. Reaction Kinetics, Mechanisms and Catalysis, **2021**, 133, 2, 1075-1095.
4. UNAL, B O et al. Journal of Water Process Engineering, **2019**, 32, 100897.
5. CAVALCANTI, V. O. M. et al. Chemical Papers, **2022**, 76, 10, 6297-6308.
6. CHAN, K. H; CHU, W. Chemosphere, **2003**, 51, 4, 305-311.
7. KUMAR, K. V; PORKODI, K.; ROCHA, F. Catalysis Communications, **2008**, 9, 1, 82-84.