

BIMATERIAL DE NANOFLORES DE ÓXIDO DE ZINCO E AVALIAÇÃO DE SUA AÇÃO NA REMOÇÃO DE CORANTE AZUL DE METILENO

THAÍS PIRES DOS SANTOS¹; ISADORA ATRIB GARCIA²; ALINE JOANA ROLINA WOHLMUTH ALVES DOS SANTOS³

¹*Universidade Federal de Pelotas (UFPel), Bacharelado em Química - thaisantos01844@gmail.com*

²*UFPel, Programa de Pós-Graduação em Química (PPGQ) - atribisadora@gmail.com*

³*UFPel, Centro de Ciências Químicas, Farmacêuticas e de Alimentos (CCQFA) - allinejoana@gmail.com*

1. INTRODUÇÃO

Os corantes são compostos orgânicos muito utilizados em indústrias, principalmente na indústria têxtil, assim produzindo grande quantidade de águas residuais, tornando-a inapropriada para consumo (CHOUDHARY *et al.*, 2023). É de extrema importância que os corantes presentes nas águas sejam removidos antes de seu descarte em corpos hídridos, como uma medida de remediação de danos à saúde humana e ao impacto ambiental (PANDEY *et al.*, 2020). O azul de metileno (AM) é um corante catiônico, heterocíclico e aromático que pertence a classe de corantes fenotiazina, onde há a presença de um átomo de nitrogênio e de um enxofre, conferindo grande capacidade doadora de elétrons (CHOUDHARY *et al.*, 2023; JIA *et al.*, 2021; SINGH, BADANI, KAMBLE, 2019). Atualmente, diversos métodos têm sido explorados para a degradação de corantes, com intuito de desenvolver métodos de baixo custo e alta eficiência na velocidade de remoção. Uma alternativa consiste em utilizar catalisadores que possam ser ativados com a incidência de luz solar e luz artificial (VINAYAGAM *et al.*, 2021; RAMESH *et al.*, 2022). Um exemplo de biomaterial catalisador consiste em nanopartículas de óxido de zinco (NZnO). (RAMESH *et al.*, 2022).

A literatura descreve a síntese de NZnO com diversas metodologias. Uma forma mais sustentável de síntese faz uso de extratos vegetais, como aditivos redutores e estabilizantes, além disso, esses materiais podem apresentar melhor desempenho na remoção de corantes (BAYZID *et al.*, 2025). O extrato de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil), que é uma espécie originalmente da América do Sul e ocorre naturalmente no Brasil, Argentina e Paraguai (GONÇALVES, VALDUGA, 2023), pode ser usado na biorredução de sal de Zn(II) e formação de NZnO, devido à presença de compostos fenólicos e antioxidantes (FEIHRMANN *et al.*, 2022; SANTOS *et al.*, 2022). Além disso, ZnO é um semicondutor que absorve luz, principalmente UV, gerando cargas de elétrons fotoinduzidas, ou seja, transferência de elétrons que ao reagirem com a água formam substâncias químicas reativas com o oxigênio que são capazes de degradar poluentes orgânicos (RAMESH, RAJENDRAN, ASHOKKUMAR 2022).

Deve-se ainda destacar que ações que promovem a sustentabilidade têm relação com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentáveis (ODS) da ONU (2025), tais como: 3 - Saúde e bem-estar, 6 - Água potável e saneamento, 7 - Energia limpa e acessível, 9 - Indústria, inovação e infraestrutura, 12 - Consumo e

produção responsáveis, 13 - Ação contra a mudança global do clima, 14 - Vida na água, 15 - Vida terrestre.

Com base nestas informações, o objetivo desse trabalho é avaliar o potencial photocatalítico na remoção de azul de metileno em meio aquoso, fazendo uso de amostras de nanoflores de óxido de zinco, obtidas previamente, por meio de síntese em presença do extrato de erva-mate.

2. METODOLOGIA

A síntese de nanoflores de óxido de zinco foi obtida no Laboratório de Sólidos Inorgânicos (LASIR), partindo de uma solução nitrato de zinco(II) ($Zn(NO_3)_2$), em meio básico, com a presença de extrato de erva-mate, sendo nomeada N-CE-60 e comparada com a amostra obtida sem a presença de extrato nomeada de N-SE-60 (SANTOS; GARCIA; SANTOS, 2024).

Para a confecção da curva de calibração, preparou-se uma solução aquosa (1%) de AM. Partindo desta solução, diluiu-se para uma concentração de 0,01% e deu-se início a novas diluições: 0,002%, 0,001%, 0,0009%, 0,0008%, 0,0007%, 0,0006%, 0,0005% e 0,0004%. Cada solução diluída foi lida em 664 nm, em triplicata, utilizando um espectrofotômetro UV-Visível da marca Bel Photonics. Também foi realizado a leitura do branco/solvente 10 vezes, para calcular o valor do limite de detecção (LD) e limite de quantificação (LQ). A partir dos dados obtidos, foi calculado a média do branco, desvio padrão, LD e LQ (OLIVEIRA, 2009). Também foi calculada a concentração da média das alíquotas de cada intervalo de tempo, fazendo uso da equação da reta da curva de calibração. Para a plotagem dos gráficos foi utilizado o programa Excel.

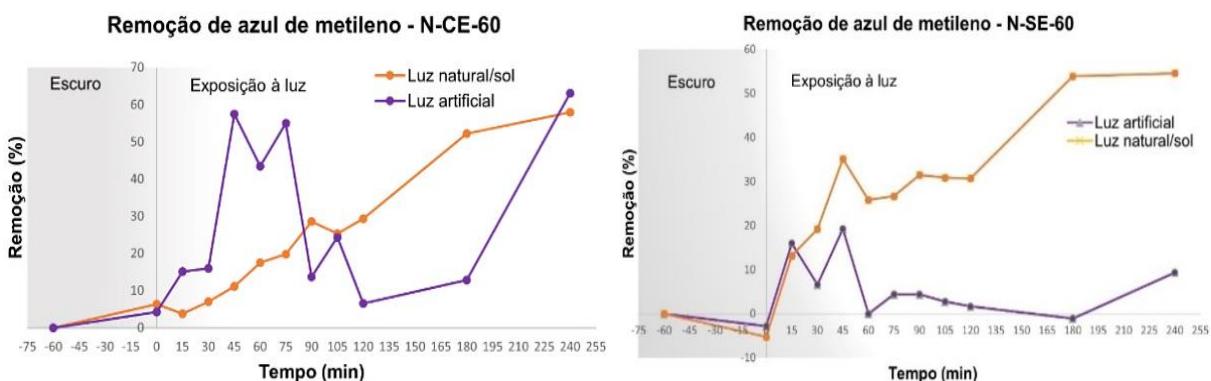
A avaliação do potencial photocatalítico foi adaptada de VINAYAGAM *et al.*, (2021), fazendo uso de duas fontes de energia para comparação: luz solar e luz ambiente. Inicialmente preparou-se uma solução de 100 mL de AM (25 ppm) e reservou-se uma alíquota de 5 mL. Em seguida, adicionou-se 0,04 g de NZnO e a solução foi misturada em agitação magnética, por 1h, em ausência de luz. Após decorrido este tempo, uma alíquota foi retirada e a solução foi exposta à luz. A cada intervalo de 15 min uma alíquota era retirada até completar 120 min. A partir deste momento, as alíquotas foram retiradas a cada 60 min até completar 240 min. Cada alíquota foi centrifugada por 5 min à 2800 rpm. O sobrenadante foi retirado para realizar a leitura no espectro UV-Vis em 664 nm. Quando a reação era exposta à luz solar, optou-se por dia ensolarado no horário das 10h30 à 15h, com temperatura ambiente entre 25-35º C. A lâmpada utilizada no experimento foi uma LED T8 branca com potência 18 W, com fluxo luminoso de 1850 lm e eficiência luminosa de 102,78 lm/W.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O LD e LQ calculados para o método de remoção de AM foi de $6,67613 \times 10^{-6}$ e $2,22536 \times 10^{-5}$.

Ao analisar os dados da figura 1 e tabela 1, observou-se que a amostra N-CE-60, sintetizada com a presença de extrato de erva mate, sob luz artificial, apresentou a maior porcentagem de remoção, em menor intervalo de tempo (57,49% em 45 min). Em comparação, a literatura relata a atividade photocatalítica de AM por amostras de ZnO, em luz artificial, entre 44% a 54%, em 60 minutos, e em presença de luz solar, entre 50% a 97%, entre 75 min a 180 min (CHOUDHARY *et al.*, 2023; MODI *et al.*, 2023; VINAYAGAM *et al.*, 2021).

Figura 1- Porcentagem de remoção de AM em relação ao tempo.



Fonte: autoria própria (2025).

Tabela 1 – Dados de remoção de AM.

Amostra de N ₂ ZnO*					
N-CE-60					
Exposição à luz	Solar	Artificial	Solar	Artificial	
Remoção (%) em 45 min	11,14	57,49	35,14	19,24	
Remoção (%) em 240 min	57,96	63,07	54,59	9,35	

Fonte: *SANTOS; GARCIA; SANTOS (2024) e autoria própria (2025).

4. CONCLUSÕES

O biomaterial formado por nanoflores de óxido de zinco (N₂ZnO) sintetizado em presença de extrato de erva-mate (N-CE-60), em condição de luz artificial, se destacou com maior potencial photocatalítico de remoção do corante azul de metileno, em 45 min de exposição e em meio aquoso. Este resultado se caracteriza como importante, pois independe de condições especiais e específicas de iluminação solar. Desta forma, a referida amostra (N-CE-60),

mostrou as características necessárias buscadas ao biomaterial, visando suas aplicações na remediação de danos em águas residuais.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BAYZID, T. *et al.* Crystallographic analysis of silk sericin-stabilized zinc oxide nanoparticles with enhanced antimicrobial and photocatalytic properties. **Inorganic Chemistry Communications**, v. 178, p.1-14, 2025.
- CHOUDHARY, N. *et al.* Remediation of methylene blue dye from wastewater by using zinc oxide nanoparticles loaded on nanoclay. **Water**, v.15, n.7, p.1-23, 2023.
- FEIHRMANN, C.A. *et al.* Effect of replacing a synthetic antioxidant for natural extract of yerba mate (*Ilex paraguariensis*) on the physicochemical characteristics, sensory properties, and gastrointestinal digestion in vitro of burgers. **Food Chemistry Advances**, v. 1, p. 100130–100130, 1 out. 2022.
- GONÇALVES, L.I.; VALDUGA, T.L. Trends in *Ilex paraguariensis* researches: a bibliometric analysis. **Journal of Ethnic Foods**, v. 10, p. 1-10, 27 jul. 2023.
- JIA, X. *et al.* Acetylene bridged D-(π -A)₂ type dyes containing benzophenone moieties: Photophysical properties, and the potential application as photoinitiators. **Dyes and Pigments**, v.184, p.108583-108591, 2021.
- MODI, S. *et al.* Photocatalytic degradation of methylene blue dye from wastewater by using doped zinc oxide nanoparticles. **Water**, v.15, n.12, p.2275, 2023.
- OLIVEIRA, A.S.P. Remoção de azul de metíleno numa coluna de adsorção com enchimento de casca de noz carbonizada. 2009. 70f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Inovação Tecnológica) – Universidade do Porto, Instituto de Desenvolvimento e Inovação Tecnológica, Portugal.
- ONU – Organização das Nações Unidas. Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. Online. Disponível em: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/pt/>. Acessado em: 31 maio 2025.
- PANDEY, S. *et al.* Fast and highly efficient removal of dye from aqueous solution using natural locust bean gum based hydrogels as adsorbent. **International Journal of Biological Macromolecules**, v.143, p.60-75, 2020.
- RAMESH, P.; RAJENDRAN, A.; ASHOKKUMAR, M. Biosynthesis of zinc oxide nanoparticles from *Phyllanthus Niruri* plant extract for photocatalytic and antioxidant activities. **International Journal of Environmental Analytical Chemistry**, v.104, n.1, p.1–15, 2022.
- SANTOS, A. J. R. W. A. *et al.* Obtenção e caracterização de extratos de erva-mate e canela. In: BARBOSA, M. S.; SILVA, A. T. B.; MELLO, R. G. (Orgs.). **Ciências Exatas e Inovação: perspectivas de desenvolvimento e aplicação em sociedade**. 2. ed. Rio de Janeiro: E-Publicar, 2022. Cap. 5, p. 64–80.
- SANTOS, T. P.; GARCIA, I. A.; SANTOS, A. J. R. W. A. Nanoformas de óxido de zinco: síntese verde, caracterizações e perspectivas. In: **Semana Integrada de Inovação, Ensino, Pesquisa e Extensão – SIIPE**, 10., Pelotas, 2024, Anais... Pelotas: Universidade Federal de Pelotas, 2024. v.1. p.1-4.
- SINGH, P. S.; BADANI, P. M.; KAMBLE, R. M. Impact of the donor substituent on the optoelectrochemical properties of 6H-indolo[2,3-b]quinoxaline amine derivatives. **New Journal of Chemistry**, v.43, p.19379-19396, 2019.
- VINAYAGAM, R. *et al.* Synthesis of photocatalytic zinc oxide nanoflowers using *Peltophorum pterocarpum* pod extract and their characterization. **Applied Nanoscience**, v.13, n.1, p.847–857, 2021.