

ARTIGO TÉCNICO

REMOÇÃO DE ATRAZINA EM EFLUENTES AGROINDUSTRIAIS POR PROCESSOS OXIDATIVOS AVANÇADOS NO SUDOESTE GOIANO

Autores: Vinícius Pereira Freire¹, Paulo Mununu João Pedro¹, Fabia
Barbosa da Silva², Suzana Maria Loures de Oliveira Marcionílio¹

¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Programa de Pós-graduação em Agroquímica (PPGAQ/IF Goiano), Campus Rio Verde, GO

²Universidade Federal de Goiás, Instituto de Ciências Biológicas, Departamento de Botânica, da Universidade Federal de Goiás (UFG)

Contato/email: vinicius.freire1@estudante.ifgoiano.edu.br



DESTAQUE

O processo Fenton apresentou maior remoção simulada de atrazina que o sistema UV/H₂O₂ em efluentes agroindustriais.

1. INTRODUÇÃO

A intensificação da produção agroindustrial no Cerrado amplia a necessidade de controle de contaminantes orgânicos associados ao uso de agrotóxicos. No Brasil, estudos de monitoramento registram a ocorrência de diferentes pesticidas em águas doces e apontam riscos ambientais, especialmente diante da presença simultânea de múltiplos compostos (Brovini *et al.*, 2023). No contexto do Sudoeste Goiano, essa discussão é relevante para o planejamento de estratégias de

tratamento de efluentes. A atrazina foi selecionada como composto-modelo por sua persistência ambiental e ocorrência em ambientes aquáticos.

Os Processos Oxidativos Avançados (POAs) constituem alternativas para a degradação de contaminantes orgânicos persistentes por promoverem a formação de espécies altamente reativas. Entre as tecnologias aplicáveis à atrazina destacam-se Fenton, foto-Fenton e UV/H₂O₂, com eficiência dependente das condições operacionais e da matriz tratada (Dantas *et al.*, 2024; Pignatello; Oliveros; Mackay, 2006; Aftab *et al.*, 2025). Assim, este trabalho propõe um cenário de simulação, fundamentado em parâmetros reportados na literatura, para comparar o desempenho dos processos Fenton e UV/H₂O₂ na remoção de atrazina e subsidiar a definição de condições para futura validação experimental em efluentes agroindustriais do Sudoeste Goiano.

2. DESENVOLVIMENTO E DISCUSSÃO

2.1 Condições dos tratamentos para simulação

A simulação foi estruturada a partir de informações da literatura sobre degradação de atrazina por Processos Oxidativos Avançados (POAs), com ênfase nos processos Fenton e UV/H₂O₂ (Pignatello; Oliveros; Mackay, 2006; Dantas *et al.*, 2024; Aftab *et al.*, 2025). A atrazina foi adotada como composto-modelo em razão de sua ocorrência em águas doces brasileiras e de sua relevância ambiental (Brovini *et al.*, 2023). Para estabelecer um cenário comparável, foi considerada concentração inicial de 100 µg·L⁻¹, além de controle, UV/H₂O₂ e Fenton. Foram adotadas condições simuladas de pH ácido (~3), concentração de H₂O₂ entre 10 e 50 mg·L⁻¹ e tempo de reação de 60 min. Esses parâmetros foram utilizados como condições de referência para a construção do cenário e não correspondem a ensaios realizados em laboratório. Para cada tratamento foram considerados três valores como repetições simuladas, permitindo estimar média e desvio-padrão e comparar as condições no conjunto de dados construído.

Comentado [AN1]: Condições dos tratamentos para simulação

2.2 Eficiência de remoção e análise estatística

Os resultados simulados apresentaram remoções médias de 5,0% no controle, 84,9% no sistema UV/H₂O₂ e 92,2% no processo Fenton (Figura 1), com desvios-padrão de ±0,2, ±1,4 e ±0,9%, respectivamente. A maior eficiência estimada para o Fenton é compatível com a geração de espécies oxidantes altamente reativas pela reação entre H₂O₂ e Fe²⁺, favorecendo a transformação de moléculas orgânicas recalcitrantes. No sistema UV/H₂O₂, a eficiência pode variar com a dose de peróxido, intensidade da radiação, tempo de contato e características da matriz, como turbidez e matéria orgânica, que podem limitar a disponibilidade da radiação e modificar a cinética de degradação (Pignatello; Oliveros; Mackay, 2006; Khan *et al.*, 2013). Estudos específicos com atrazina

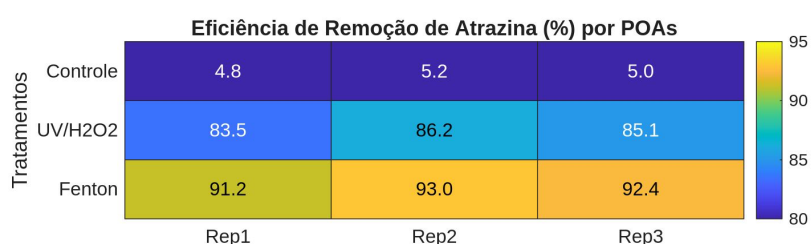
Comentado [AN2]: As condições para tratamento foram definidas a partir da literatura sobre...

Na forma como está parece que seu trabalho irá comparar apenas na literatura, de forma teórica.

também relatam potencial de degradação por UV/H₂O₂ e Fenton, com resposta dependente das condições operacionais e da composição da água (Khan *et al.*, 2013; Dantas *et al.*, 2024).

No cenário simulado, a análise de variância (ANOVA) indicou diferença estatisticamente significativa entre as condições ($p < 0,05$), e o teste de Tukey apontou diferenças entre os grupos. A Figura 1 evidencia o maior desempenho estimado do Fenton, seguido de UV/H₂O₂ e do controle. A proximidade dos valores dentro de cada condição indica baixa dispersão no cenário construído. Esses resultados devem ser interpretados como estimativas comparativas e não como comprovação de eficiência em escala real. Em matrizes agroindustriais, a presença de matéria orgânica e outros constituintes pode competir pelas espécies oxidantes e modificar a eficiência observada. Assim, a futura validação deverá utilizar condições representativas dos efluentes de interesse e avaliar não apenas a redução de atrazina, mas também a qualidade do efluente tratado, a formação de subprodutos, a toxicidade residual e a viabilidade operacional.

Figura 1 - Heatmap da eficiência simulada de remoção de atrazina nas três repetições simuladas.



Fonte: elaborado pelo autor, 2026.

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados simulados indicaram maior eficiência estimada do processo Fenton (92,2%), seguido de UV/H₂O₂ (84,9%) e do controle (5,0%). A ANOVA e o teste de Tukey apontaram diferenças entre as condições simuladas, enquanto a baixa dispersão dos valores indica consistência interna do cenário construído. Entretanto, os resultados não representam ensaios experimentais e não permitem inferir desempenho em efluentes reais. A etapa seguinte deverá validar experimentalmente as condições simuladas, avaliando eficiência, formação de subprodutos, toxicidade residual e viabilidade operacional. A simulação, portanto, deve ser entendida como etapa preliminar de apoio à seleção de condições de tratamento e ao planejamento experimental,

Comentado [AN3]: Replicatas ou repetições

contribuindo para direcionar a investigação de processos oxidativos aplicáveis a matrizes agroindustriais.

4. REFERÊNCIAS

AFTAB, M.; HAQ KHAN, Z. U.; SHAH, N. S.; ULLAH, F.; KHASIM, S. Advanced oxidation processes for pesticide degradation: a comprehensive review on the role of nano zero-valent metals and persulfate activation. **RSC Advances**, v. 15, p. 40619–40654, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1039/D5RA06043E>.

BROVINI, E. M.; QUADRA, G. R.; PARANAÍBA, J. R.; CARVALHO, L.; PEREIRA, R. O.; AQUINO, S. F. Occurrence and environmental risk assessment of 22 pesticides in Brazilian freshwaters. **Aquatic Toxicology**, v. 260, 106566, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2023.106566>.

DANTAS, Á. O. S.; ROCHA, A. C.; CARDOSO, V. L.; VIEIRA, P. A. A review of approaches to atrazine treatment employing advanced oxidation processes technologies. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 29, e20230021, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1413-415220230021>.

KHAN, J. A.; HE, X.; KHAN, H. M.; SHAH, N. S.; DIONYSIOU, D. D. Oxidative degradation of atrazine in aqueous solution by UV/H₂O₂/Fe²⁺, UV/S₂O₈²⁻/Fe²⁺ and UV/HSO₅⁻/Fe²⁺ processes: a comparative study. **Chemical Engineering Journal**, v. 218, p. 376–383, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2012.12.055>.

PIGNATELLO, J. J.; OLIVEROS, E.; MACKAY, A. Advanced oxidation processes for organic contaminant destruction based on the Fenton reaction and related chemistry. **Critical Reviews in Environmental Science and Technology**, v. 36, n. 1, p. 1–84, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/10643380500326564>.