

AVALIAÇÃO CINÉTICA DA REDUÇÃO DE AZUL DE METILENO POR PROCESSO OXIDATIVO AVANÇADO

KINETIC EVALUATION OF METHYLENE BLUE REDUCTION BY ADVANCED OXIDATIVE PROCESS

Alessandra Haas Mallmann¹, Mônica Richard¹, Tiago Bittencourt de Oliveira¹,
Maikow Zago¹.

¹Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões – URI, Santo Ângelo, RS, Brasil.

RESUMO

Neste trabalho foi avaliada a degradação do corante azul de metileno (AM) pelo processo de eletro oxidação com geração de radicais $\bullet\text{OH}$ pela reação entre íons Fe^{2+} dos cátodos e H_2O_2 gerados in situ. Foi utilizada uma densidade de corrente elétrica de $8,93 \text{ mA cm}^{-2}$ e pH 7 durante 1 hora em um reator de vidro com capacidade para 1 litro de amostra e elaborado para este trabalho, e foram coletadas amostras nos tempos 5, 10, 20, 30, 45 e 60 minutos. A concentração de AM foi determinada por espectrofotometria UV-Vis em triplicata e foram avaliados os modelos cinéticos de ordem zero (OZ), pseudo primeira ordem (PPO) e pseudo segunda ordem (PSO). Os resultados mostraram que concentrações específicas de AM, como a utilizada neste trabalho ($0,313 \text{ mmol L}^{-1}$), se enquadram no modelo de OZ ($R^2 0,9606$; $k = 0,00384 \text{ mmol L}^{-1} \text{ min}^{-1}$) com remoção de AM de 81,9%. Desta forma, este trabalho pode ter potencial contribuição para a elaboração e implementação de tratamento nos diversos locais onde se utilizam AM.

Descritores: eletro oxidação; radicais hidroxila; avaliação cinética; constante de velocidade.

ABSTRACT

In this work, the degradation of methylene blue (AM) dye was evaluated by the electro-oxidation process with the generation of $\bullet\text{OH}$ radicals by the reaction between Fe^{2+} ions from the cathodes and H_2O_2 generated in situ. An electric current density of 8.93 mA cm^{-2} and pH 7 were used for 1 hour in a glass reactor with a capacity for 1 litre of sample, designed for this work, and samples were taken at 5, 10, 20, 30, 45 and 60 minutes. The concentration of AM was determined by UV-Vis spectrophotometry in triplicate and the zero-order (OZ), pseudo-first-order (PPO) and pseudo-second-order (PSO) kinetic models were evaluated. The results showed that specific AM concentrations, such as the one used in this work (0.313

mmol L⁻¹), fit the OZ model (R^2 0.9606; $k = 0.00384$ mmol L⁻¹ min⁻¹) with AM removal of 81.9%. In this way, this work can make a potential contribution to the design and implementation of treatment at the various sites where AM is used.

Descriptors: electro-oxidation; hydroxyl radicals; kinetic evaluation; rate constant.

INTRODUÇÃO

Use O azul de metileno (AM), um corante catiônico, é comumente observado em águas residuais devido ao seu grande uso em indústrias de tingimento e indústrias farmacêuticas, representando riscos potenciais à saúde pública. Atualmente, estudos cinéticos possuem grande importância nos projetos de tratamento de águas residuais em pequenas e grandes escalas. Assim, em situações contendo amostras com o alto índice de AM, torna-se importante entender a cinética de reação para entender os parâmetros e condições para a remoção desejada do poluente do corante ¹.

As adversidades com o tingimento de águas residuais e a incapacidade de a matéria orgânica ser biodegradável resultam em toxicidade e alto teor de cor ². Dessa forma, muitos são os fatores considerados em projeto, referentes ao processo e operação de tratamento de águas residuais, tendo em vista de que se trata de um tipo de efluente industrial com grandes riscos ambientais ³. Tratamento unitário de águas residuais por meio de formas físicas, biológicas, ou maneiras químicas são muitas vezes muito caros e resultam em grandes custos e, diante disso, as empresas tem focado cada vez mais em encontrar uma maneira eficaz e segura para a descoloração rápida de águas residuais com corante AM ⁴. No entanto, métodos eficientes devem ser empregados, mesmo tornando onerosos os processos de tratamento.

Os resíduos de corantes liberados por inúmeras indústrias que utilizam esse produto são prejudiciais ao ambiente e seres vivos. As águas residuais de tingimento precisam ser tratadas antes de serem liberadas, para minimizar seus impactos negativos no meio ambiente e nos seres vivos ⁵. Na literatura, são mencionados como os principais métodos para remoção de corante: tratamentos biológicos, químicos e físicos ⁶. Entre estes, a oxidação química é um importante método para descoloração de águas residuais contendo corantes ³. Os processos de oxidação avançada (POA's) baseiam-se na produção de radicais hidroxila ($\bullet$ OH) altamente reativos para mineralizar poluentes orgânicos na água e nas águas residuais ⁷⁻⁹.

O corante azul de metileno (AM) é tóxico, cancerígeno e não biodegradável, o que pode prejudicar seriamente a saúde humana e a segurança ambiental ¹⁰. Encontrar um método altamente eficaz para remover a cor do AM criando um procedimento de remoção eficaz e ambientalmente seguro torna-se essencial e, ao mesmo tempo, um desafio. A indústria têxtil, seguida pelos setores de produção farmacêutica, são os principais usuários de AM como um agente de coloração e tingimento ¹¹.

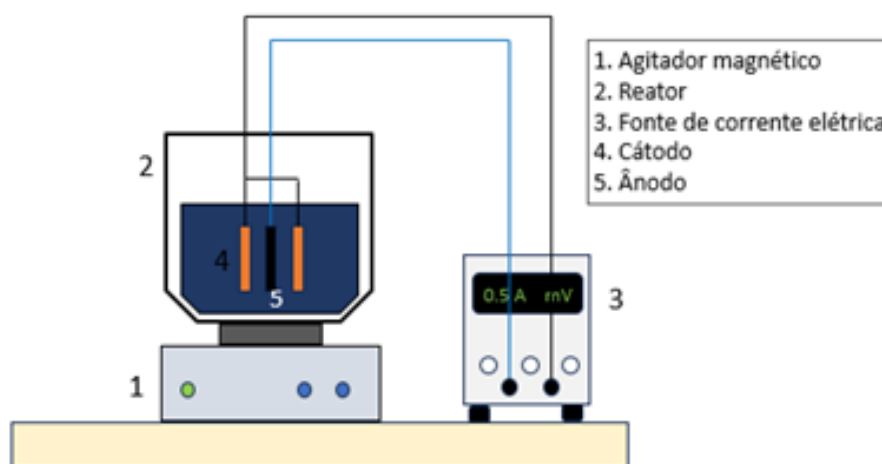
O AM é uma molécula com uma gama de qualidades que a tornam útil para aplicações biológicas. É também um medicamento eficiente que trata esôfago de Barrett, anemia e malária ¹². O AM tem sido utilizado principalmente na medicina veterinária e humana para uma série de operações diagnósticas e terapêuticas ¹³, porém, os riscos à saúde humana associados ao AM incluem dificuldades respiratórias, cegueira, problemas estomacais, distúrbios intestinais e mentais ¹⁴. Águas residuais coloridas contendo AM não tratadas ocasionam o acúmulo no ambiente aquático possam expor animais vivos no topo da cadeia alimentar, como humanos, o que pode afetar consideravelmente a saúde ¹⁵. Outros problemas comuns relacionados a esse corante incluem pressão alta, desconforto gastrointestinal, tontura, dor de cabeça, vômito e febre, todos sintomas de irritação da pele com vermelhidão e coceira ¹⁶.

Neste sentido, este trabalho buscou avaliar a degradação do AM por oxidação avançada, com foco na cinética da reação e determinação da constante de velocidade, visando um maior controle da reação em função do tempo e contribuindo para a literatura acadêmica com os resultados obtidos.

METODOLOGIA

Para a realização dos experimentos foi utilizada uma amostra (AM) com concentração de $0,313 \text{ mmol L}^{-1}$, equivalente a 100 mg L^{-1} ¹⁷. O experimento foi realizado em um reator de vidro com capacidade para 1 L de amostra, contendo 2 eletrodos de ferro e 1 de grafite (cátodos e ânodo, respectivamente) equidistantes em 2,5 cm (Figura 01). Os eletrodos possuem dimensão de 4x7 cm e conduziram uma corrente elétrica de 0,5 A (Fonte de corrente contínua (3B Científic-U33020)), resultando em uma densidade de corrente (DC) de $8,93 \text{ mA cm}^{-2}$. O reator está representado na Figura 01.

Figura 01: Reator utilizado para avaliação da degradação do AM. Fonte: Os Autores.



O pH de trabalho escolhido foi 7, valor próximo ao efluente bruto ($\sim 6,8 \pm 0,14$) medido com pHmetro Analyser 350M, evitando a necessidade de ajustes, e o tempo de processo foi de 1 hora, sob agitação magnética, com amostras coletadas em 5, 10, 20, 30, 45 e 60 minutos, para

a realização da leitura da absorbância por espectrofotometria UV-Vis (Shimadzu-2600) em 665 nm¹⁸, visando a determinação da concentração do AM.

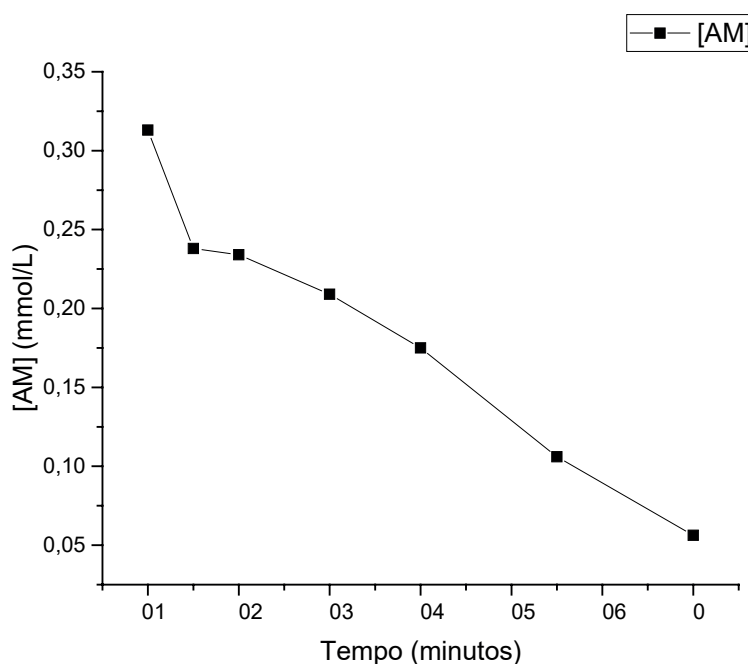
O delineamento experimental foi elaborado com recurso do software Statistica®, com o modelo fatorial completo Box-Behnken e níveis de significância de 95%, sendo escolhida a corrida experimental de melhor ajuste linear de [AM] em função do tempo. Este trabalho foi realizado integralmente entre 2024/2025.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Redução de [AM]

A redução de [AM] no processo de eletro oxidação (EO) atingiu 81,9% no tempo de 60 minutos (Figura 02), resultando em uma concentração de 0,0563 mmol L⁻¹.

Figura 02: Redução de [AM] em função do tempo no processo de EO sob DC 8,93 mA/cm² (concentração inicial de AM = 0,313 mmol/L). Fonte: Os Autores.

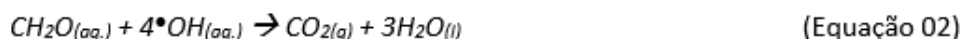


O processo de EO atua em moléculas orgânicas, como o AM (Figura 03), principalmente pela abstração de hidrogênios nas ligações CH e, secundariamente, pela interação com as duplas ligações nos anéis aromáticos, realizando a mineralização do composto.

Figura 03: Estrutura molecular do AM. Fonte: KHAN ¹⁹.



Isto ocorre devido à produção de radicais livres $\bullet\text{OH}$ com alto potencial oxidante (+2,8 eV) por hidrólise da **água** ²⁰, conforme a Equação 01. Segundo Yusbarina *et al* ²¹, a principal vantagem da aplicação do processo de EO na degradação de contaminantes orgânicos (genericamente, CH_2O) é a mineralização, na grande maioria das vezes total, do contaminante gerando somente CO_2 e H_2O (Equação 02).



Diversos autores mencionam os processos eletro químicos na degradação do AM com resultados satisfatórios, como, por exemplo, Gunawan *et al* ²², em um estudo com processo de 60 minutos, obtendo 92,68% de redução do contaminante. Em outro trabalho, Pinto *et al* ²³ avaliaram o parâmetro cor em uma amostra contendo AM, obtendo remoção de 45% de carbono orgânico total após 120 minutos de processo e aplicação de corrente elétrica de 100 mA. Em uma combinação de processos eletro oxidativos com peroximonossulfato, Wang e Zhang ²⁴ obtiveram redução de 70,39% de AM em um tempo de processo de 2 horas.

Os estudos supra citados demonstram a eficácia do método usado neste trabalho em relação, principalmente ao tempo necessário para a redução de [AM], de 60 minutos.

Cinética da redução de [AM]

Neste trabalho, a avaliação da cinética de reação na redução da [AM] abordou 3 modelos (Equações 03-05): ordem zero, pseudo primeira ordem e pseudo segunda ordem (OZ, PPO e PSO, respectivamente).

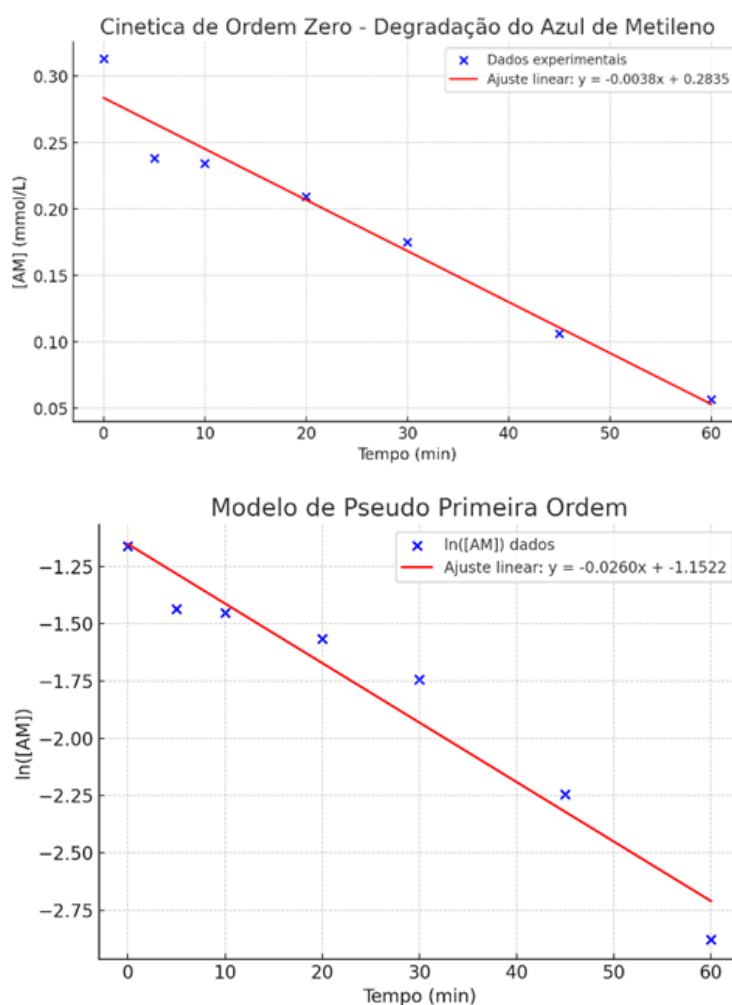
Tabela 01: Equações de cinética para a avaliação da degradação de AM. Fonte: Os autores.

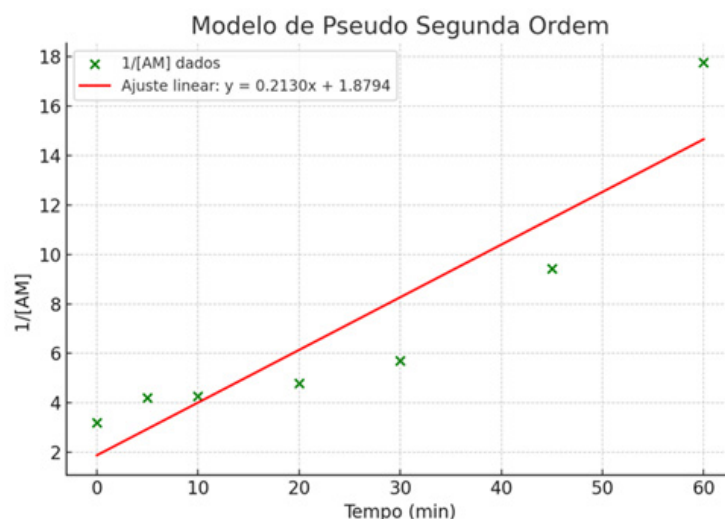
Equação	Ordem de reação	
$[AM] = -k.t + [AM]_0$	Ordem zero	(Equação 03)
$\ln [AM] = -k.t + \ln [AM]_0$	Primeira ordem	(Equação 04)
$1/[AM] = k.t + 1/[AM]_0$	Segunda ordem	(Equação 05)

No modelo de OZ, a variação da concentração de uma substância é constante e independente da concentração do reagente ²⁵. Já no modelo de PPO, as reações exibem um comportamento que é diretamente proporcional à concentração de um reagente ²⁶. Modelos de PSO são dependentes das concentrações de dois reagentes ou do quadrado da concentração de um único reagente. Estes são caracterizados por uma taxa que diminui à medida que os reagentes são consumidos ^{26,27}.

Entre os modelos avaliados, o melhor coeficiente de correlação foi obtido na OZ (R^2 0,9606; $k = 0,00384 \text{ mmol L}^{-1} \text{ min}^{-1}$), como mostra a Figura 04. Os modelos de PPO e PSO apresentaram **R^2 de 0,9491 e 0,8387, respectivamente.**

Figura 04: Cinética de redução de [AM] em função do tempo. Sendo OZ = ordem zero; PPO = Pseudo Primeira Ordem; e PSO = Pseudo Segunda Ordem. Fonte: Os Autores.





Segundo Bano²⁸, reações de ordem zero envolvendo o processo de EO do AM ocorrem sob certas condições, particularmente quando a [AM] é alta e a reação é limitada pela disponibilidade de agentes oxidantes. A adição de catalisadores na oxidação eletroquímica, segundo Setiyanto *et al*²⁹, pode aumentar significativamente a eficiência de degradação do AM, levando à descoloração quase completa em um curto espaço de tempo. Isso sugere que a cinética pode mudar para a ordem zero à medida que a reação se torna independente da concentração do substrato. Este fato ocorre quando o sistema se satura, e a velocidade da reação é limitada pela própria reação e não pela disponibilidade de reagente^{30,31}.

No entanto, diversos autores obtiveram cinéticas de PPO para a redução de [AM]. Este fato parece estar diretamente relacionado, além da concentração de AM, ao processo utilizado. Em processos que utilizam fontes extras de geração de radicais $\bullet\text{OH}$, como eletro Fenton²³ ou com complemento usando peroximonossulfato³² há uma tendência de obtenção de cinética de PPO.

A cinética de PSO, no entanto, é a menos mencionada em trabalhos envolvendo processos com AM, e sugere uma interação mais complexa, com menor previsibilidade de concentração, sendo obtidas em sistemas de adsorção com materiais vegetais^{33,34}.

CONCLUSÕES

Neste trabalho, foi avaliada a cinética de redução de AM por oxidação avançada pelos modelos de PZ, PPO e PSO. Foram atingidos 81,9% de redução do contaminante no tempo de 60 minutos nos parâmetros DC 8,93 mA cm⁻² e pH 7, resultando em uma reação de OZ, devido à alta concentração de AM (0,313 mmol L⁻¹, ou 100 mg L⁻¹) com melhor coeficiente de correlação de 0,9696 para o modelo, onde ficou demonstrada a eficiência do processo de EO na degradação de AM em escala laboratorial. Vale ressaltar a possibilidade da realização de trabalhos futuros sobre eco toxicidade do AM, visando a viabilidade de descarte de amostras tratadas nos diversos locais onde se utiliza essa substância.

REFERÊNCIAS

1. Ton-That L, Huynh TNL, Duong BN, Nguyen DK, Nguyen NA, Phạm VH, et al. Kinetic studies of the removal of methylene blue from aqueous solution by biochar derived from jackfruit peel [Internet], 2023. Disponível em: <https://www.researchsquare.com/article/rs-3004697/v1>
2. Xie Z. Progress of Dye Wastewater Treatment Methods. wjese [Internet]. 23 de maio de 2024; Disponível em: <http://www.iscienccegroup.com/articleinfo/10640041>
3. Li F, Yaw Choong TS, Soltani S, Abdullah LC, Md. Jamil SNA. Kinetic Study of Fenton-Like Degradation of Methylene Blue in Aqueous Solution Using Calcium Peroxide. JST. 14 de março de 2022;30(2):1087–102.
4. Kamati SN, Yan J, Fan J. A review on progresses in reactive dye-containing wastewater treatment. Water Practice & Technology. 1o de julho de 2024;19(7):2712–33.
5. Chaurasia P, Dut Jasuja N, Kumar S. Textile effluent treatment methods and limitations: a sustainable and ecological aspect. Suranaree J Sci Technol. 5 de fevereiro de 2024;30(6):030158(1-18).
6. Revathi N, Dhaweethu Raja J, Rajesh J, Sankarganesh M. Recent Techniques in Dye Degradation: A Biological Approach. Em: Muthu Mareeswaran P, Rajesh J, organizadores. Advances in Dye Degradation [Internet]. BENTHAM SCIENCE PUBLISHERS; 2023. p. 167–86. Disponível em: <https://www.eurekaselect.com/node/224664>
7. Bi Q, Jiang S, Hu C, Zhang L, Zhao Y, Yang B, et al. Pyridine N of N/Co-co-doped graphite gas diffusion electrode facilitating the efficient production of hydroxyl radicals in the electro-peroxone process. Journal of Environmental Chemical Engineering [Internet]. abril de 2023;11(2):109564. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2213343723003032>
8. Pei S, You S, Ma J, Chen X, Ren N. Electron Spin Resonance Evidence for Electro-generated Hydroxyl Radicals. Environ Sci Technol [Internet]. 20 de outubro de 2020;54(20):13333–43. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.est.0c05287>
9. Qin X, Cao P, Quan X, Zhao K, Chen S, Yu H, et al. Highly Efficient Hydroxyl Radicals Production Boosted by the Atomically Dispersed Fe and Co Sites for Heterogeneous Electro-Fenton Oxidation. Environ Sci Technol [Internet]. 21 de fevereiro de 2023;57(7):2907–17. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.est.2c06981>

10. Vasiraja N, Saravana Sathiya Prabhahar R, Joshua A. Preparation and Physio–Chemical characterisation of activated carbon derived from prosopis juliflora stem for the removal of methylene blue dye and heavy metal containing textile industry effluent. *Journal of Cleaner Production*. abril de 2023;397:136579.
11. Mashkooor F, Nasar A. Magsorbents: Potential candidates in wastewater treatment technology – A review on the removal of methylene blue dye. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*. abril de 2020;500:166408.
12. Dao HM, Whang CH, Shankar VK, Wang YH, Khan IA, Walker LA, et al. Methylene blue as a far-red light-mediated photocleavable multifunctional ligand. *Chem Commun*. 2020;56(11):1673–6.
13. Hou C, Hu B, Zhu J. Photocatalytic Degradation of Methylene Blue over TiO₂ Pretreated with Varying Concentrations of NaOH. *Catalysts*. 22 de novembro de 2018;8(12):575.
14. Abdelrahman EA, Hegazey RM, El-Azabawy RE. Efficient removal of methylene blue dye from aqueous media using Fe/Si, Cr/Si, Ni/Si, and Zn/Si amorphous novel adsorbents. *Journal of Materials Research and Technology*. novembro de 2019;8(6):5301–13.
15. Amrhar O, Berisha A, El Gana L, Nassali H, S. Elyoubi M. Removal of methylene blue dye by adsorption onto Natural Muscovite Clay: experimental, theoretical and computational investigation. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*. 9 de agosto de 2023;103(10):2419–44.
16. Arica TA, Ayas E, Arica MY. Magnetic MCM-41 silica particles grafted with poly(glycidylmethacrylate) brush: Modification and application for removal of direct dyes. *Microporous and Mesoporous Materials*. maio de 2017;243:164–75.
17. Baddouh A, Rguiti MM, El Ibrahim B, Hussain S, Errami M, Tkach V, et al. Anodic Oxidation of Methylene Blue Dye from Aqueous Solution Using SnO₂ Electrode. *Iran J Chem Chem Eng [Internet]*. outubro de 2019;38(5). Disponível em: <https://doi.org/10.30492/ijcce.2019.34227>
18. Benites Bertasso R, Silva Machado D, Pereira De Sá F, Batista T. Estudo cinético da fotólise direta de corantes alimentícios e têxteis em fotoreator de fluxo. *RECIMA21 [Internet]*. 29 de março de 2023;4(3):e432928. Disponível em: <https://recima21.com.br/index.php/recima21/article/view/2928>
19. Khan I, Saeed K, Zekker I, Zhang B, Hendi AH, Ahmad A, et al. Review on Methylene Blue: Its Properties, Uses, Toxicity and Photodegradation. *Water [Internet]*. 14 de janeiro de 2022;14(2):242. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4441/14/2/242>

-
20. Brillas E, Sirés I, Oturan MA. Electro-Fenton Process and Related Electrochemical Technologies Based on Fenton's Reaction Chemistry. *Chem Rev* [Internet]. 9 de dezembro de 2009;109(12):6570–631. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/cr900136g>
 21. Yusbarina Y, Roto R, Triyana K. Hydroxyl functionalized graphene as a superior anode material for electrochemical oxidation of methylene blue. *RJC* [Internet]. 2021;14(02):1140–7. Disponível em: http://rasayanjournal.co.in/admin/php/upload/3179_pdf.pdf
 22. Gunawan G, Prasetya NBA, Widodo DS, Wijaya RA. Electrochemical Degradation of Methylene Blue with Seawater and Pb/PbO₂ Electrodes from Battery Waste. *Karbala International Journal of Modern Science* [Internet]. 10 de novembro de 2023;9(4). Disponível em: <https://kijoms.uokerbala.edu.iq/home/vol9/iss4/13>
 23. Pinto VL, Cervantes TNM, Soto PC, Sarto G, Bessegato GG, Almeida LC de, et al. Multivariate optimization of methylene blue dye degradation using electro-Fenton process with self-doped TiO₂ nanotube anode. *Chemosphere* [Internet]. dezembro de 2023;344:140336. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0045653523026061>
 24. Wang S, Zhang Y. Degradation of methylene blue by an E-Fenton process coupled with peroxymonosulfate via free radical and non-radical oxidation pathways. *New J Chem* [Internet]. 2023;47(7):3616–27. Disponível em: <https://xlink.rsc.org/?DOI=D2NJ05504J>
 25. Bain K, Rodriguez JMG, Towns MH. Zero-Order Chemical Kinetics as a Context To Investigate Student Understanding of Catalysts and Half-Life. *J Chem Educ* [Internet]. 8 de maio de 2018;95(5):716–25. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.jchemed.7b00974>
 26. Iribe J, Hamada T, Kim H, Voegtle M, Bauer CA. Rolling the Dice: Modeling First- and Second-Order Reactions via Collision Theory Simulations in an Undergraduate Laboratory. *J Chem Educ* [Internet]. 10 de março de 2020;97(3):764–71. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.jchemed.9b00657>
 27. Vinnett L, Waters KE. Representation of Kinetics Models in Batch Flotation as Distributed First-Order Reactions. *Minerals* [Internet]. 15 de outubro de 2020;10(10):913. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2075-163X/10/10/913>
 28. Bano S, Wasim AA, Khan MNU. Cost effective catalytic degradation of Methylene blue (MB) using Zero valent iron nanoparticles (ZVFeNPs). Em: 2022 19th International Bhurban Conference on Applied Sciences and Technology (IBCAST) [Internet]. Islamabad, Pakistan: IEEE; 2022. p. 47–52. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9990301/>

-
29. Henry Setiyanto HS, Feni Mustika Sari FMS, Muhammad Yudhistira Azis MYA, Ria Sri Rahayu RSR, Sulaeman A, Zulfikar MA, et al. Electrochemical Degradation of Methylene Blue using Ce(IV) Ionic Mediator in the Presence of Ag(I) Ion Catalyst for Environmental Remediation. JSM [Internet]. 31 de janeiro de 2022;51(1):149–59. Disponível em: http://www.ukm.my/jsm/pdf_files/SM-PDF-51-1-2022/12.pdf
30. Iloh UI. Linking the Pre-Steady-State, Steady-State, and Zero-Order Kinetic Parameters Together for Industrial Applications. Asian J Biochem Gen Mol Biol [Internet]. 16 de janeiro de 2025;17(1):58–73. Disponível em: <https://journalajbgmb.com/index.php/AJBGMB/article/view/437>
31. Liébecq Cl. Introduction to Enzyme Kinetics. Em: Fundamentals of Biochemical Pharmacology [Internet]. Elsevier; 1971. p. 59–86. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B978008017775550012X>
32. Zuo X, Nie J, Jiang B, Jiang A, Zou S, Wu J, et al. Direct Degradation of Methylene Blue by Unactivated Peroxymonosulfate: Reaction Parameters, Kinetics, and Mechanism [Internet]. 2022. Disponível em: <https://www.researchsquare.com/article/rs-1047490/v1>
33. Tirani SG, Sunardi S. Study on Adsorption Kinetics of Methylene Blue by Modified Sago Frond Waste. JSTK [Internet]. 8 de março de 2022;16(1):39. Disponível em: <https://ppjp.ulm.ac.id/journal/index.php/jstk/article/view/12087>
34. Zavala-Flores E, Z. Flores-López L, Alonso-Núñez G, Espinoza-Gómez H. Removal and adsorption kinetics of methylene blue dye by pristine cotton husk bracts (*Gossypium hirsutum* L.) from agroindustrial waste. Industrial Crops and Products [Internet]. março de 2024;209:117947. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0926669023017120>

Autor Correspondente: Maikow Zago¹

E-mail: maikowzago@san.uri.br

Recebido em: 2025-07-05

Aprovado: 2025-06-27