

Estudo da Degradação Oxidativa de Antibiótico: Interfaces entre Remediação Ambiental e Saúde Pública

Jaison Machado Júnior¹

Lucas Danilo Dias²

Universidade Evangélica de Goiás – UniEVANGÉLICA

RESUMO

Antibióticos estão entre os contaminantes emergentes mais frequentemente detectados em efluentes hospitalares, domésticos e industriais. Sua presença no ambiente é motivo de crescente preocupação, não apenas pelos potenciais efeitos ecotoxicológicos, mas também por favorecer a disseminação da resistência antimicrobiana — considerada pela Organização Mundial da Saúde um dos maiores desafios de saúde pública da atualidade. Neste estudo, investigou-se a degradação oxidativa da AMX em meio alcalino (pH 11), utilizando peróxido de hidrogênio em baixa concentração (0,012% H₂O₂) como agente oxidante, tanto na ausência de luz quanto sob radiação UV-C (254 nm). Os resultados demonstraram que a degradação foi mais eficiente no escuro, alcançando concentrações residuais próximas de zero em 8 a 10 horas. Sob irradiação UV-C, a degradação também ocorreu, embora de forma ligeiramente mais lenta, possivelmente devido à competição por radicais hidroxila ou à formação de fotoprodutos estáveis. Esses achados evidenciam a influência do ambiente reacional e da rota oxidativa sobre a eficiência do processo, reforçando a importância da otimização de parâmetros operacionais em estratégias de remediação ambiental voltadas à mitigação de antibióticos em efluentes complexos.

Palavras-chave: amoxicilina; oxidação avançada; cinética de degradação; remediação ambiental.

INTRODUÇÃO

O aumento da detecção de antibióticos em matrizes ambientais tem sido apontado como uma das principais preocupações relacionadas aos contaminantes emergentes [1]. Esses fármacos chegam ao ambiente predominantemente por meio de efluentes hospitalares, domésticos e industriais,

¹ Universidade Evangélica de Goiás (UniEVANGÉLICA); Email: jaisonmachadojunior@gmail.com

² Universidade Evangélica de Goiás (UniEVANGÉLICA); Email: lucas.dias@unievangolica.edu.br

muitas vezes em decorrência do uso indiscriminado e da ausência de processos adequados de tratamento. Uma vez presentes em corpos hídricos, essas moléculas podem provocar efeitos ecotoxicológicos relevantes, como alterações na microbiota aquática, e contribuir de forma direta para a seleção e disseminação de bactérias resistentes, reconhecida pela Organização Mundial da Saúde (OMS) como uma das maiores ameaças à saúde pública global [2,3].

Entre os antibióticos mais utilizados, a amoxicilina (AMX), pertencente à classe dos β -lactâmicos, destaca-se pela alta taxa de prescrição, solubilidade em água e persistência em condições ambientais. Sua estrutura química torna-a parcialmente resistente à biodegradação, o que intensifica a necessidade de soluções alternativas para sua remoção em sistemas de tratamento de efluentes. Nesse cenário, os processos oxidativos avançados (POAs) têm se mostrado ferramentas promissoras, uma vez que promovem a geração de espécies reativas de oxigênio (EROs) altamente oxidantes, capazes de atacar estruturas orgânicas recalcitrantes. A eficiência desses processos, entretanto, depende de variáveis como pH, presença de oxidantes auxiliares e condições de radiação.

Diante disso, o presente trabalho investigou o comportamento mecanístico e cinético da degradação oxidativa da amoxicilina, em meio alcalino (pH 11) com adição de H_2O_2 em baixa concentração, avaliando-se o processo tanto na ausência de luz quanto sob radiação UV-C (254 nm).

MATERIAIS E MÉTODOS

Soluções de Amoxicilina (AMX) foram preparadas em água purificada, com o pH ajustado para 11. Em seguida, foi adicionado peróxido de hidrogênio (H_2O_2) até se obter uma concentração final de 0,012% (m/m). Após a preparação, as soluções foram homogeneizadas e transferidas beakers. Os experimentos foram conduzidos sob duas condições rigorosamente controladas: (i) ausência de luz (condição escura), em que os reatores foram completamente envolvidos

com papel de alumínio para evitar qualquer fotoativação e (ii) irradiação com UV-C, utilizando uma lâmpada UV-C com emissão em 254 nm. Durante a irradiação, o sistema reacional foi mantido sob agitação constante. A degradação foi monitorizada ao longo de 48 h, com recolha de alíquotas em tempos pré-definidos (incluindo tempos iniciais para captar a rápida queda inicial da concentração, seguidos de intervalos mais espaçados).

As concentrações de AMX foram determinadas por HPLC-UV e os resultados foram expressos como concentração residual normalizada C_f/C_0 , em que C_0 corresponde à concentração inicial de AMX no tempo $t = 0$ e C_f à concentração em cada tempo de amostragem:

$$\ln\left(\frac{C_f}{C_0}\right) = -kt$$

em que k é a constante de velocidade aparente de primeira ordem. O tempo de meia-vida foi calculado de acordo com a expressão:

$$t_{1/2} = \frac{\ln 2}{k}$$

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A degradação da AMX foi mais eficiente na ausência de radiação, com degradação quase completa em 8 a 10 horas, atingindo valores de C_f/C_0 próximos de zero. Sob irradiação UV-C, a degradação ainda ocorreu de forma significativa, mas apresentou cinética mais lenta em comparação ao processo no escuro. Esse comportamento sugere que, nas condições testadas, os radicais hidroxila gerados pelo sistema $H_2O_2/UV-C$ não contribuíram de maneira relevante para a degradação da AMX, podendo inclusive ocorrer competição por radicais entre a molécula de AMX e intermediários formados durante o processo. Do ponto de vista mecanístico, a maior eficiência no escuro sugere que, em pH alcalino elevado, a AMX encontra-se predominantemente em formas iônicas mais suscetíveis ao ataque oxidativo direto pelo H_2O_2 ou por espécies secundárias, como HO_2^\bullet , favorecendo reações de degradação sem a necessidade de ativação fotoquímica.

CONCLUSÃO

A amoxicilina demonstrou maior eficiência de degradação oxidativa em condições alcalinas com H_2O_2 na ausência de luz, atingindo degradação completa em cerca de 8 a 10 horas. Embora a radiação UV-C também tenha promovido degradação significativa, o processo mostrou-se menos eficiente, possivelmente devido à competição por radicais e à formação de fotoprodutos estáveis. Esses resultados reforçam a necessidade de considerar as características moleculares e o microambiente reacional na otimização de processos de remediação ambiental voltados à remoção de antibióticos em efluentes.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi financiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás (FAPEG) (201810267001556 e *Inovação, Desenvolvimento e Sustentabilidade: Estreitamento entre Universidade e Setor Produtivo no Estado de Goiás* – Convênio para pesquisa, desenvolvimento e inovação — PD&I 07/2020, chamada pública nº 04/2023 — Programa de Auxílio à Pesquisa Científica e Tecnológica — aquisição de equipamentos, Chamada Pública FAPEG 12/2023 CAPES/FAPEG — Rede de Pesquisa e Desenvolvimento da Região Centro-Oeste — Processo 202410267000982), Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) (88887.710665/2022-00, 8887.820460/2023-00), FAPEG edital 21/2024 – Chamada Pública de Auxílio (2024), Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) (Bolsa de Produtividade/303307/2025-0) e Projeto Inova Talentos (IEL/CNPq/Laboratório Teuto). J. M. Júnior agradece a Associação Educativa Evangélica/Universidade Evangélica de Goiás pela bolsa de iniciação científica.

REFERÊNCIAS

[1] Kümmerer, K. (2009). *Antibiotics in the aquatic environment – A review – Part I. Chemosphere*, 75(4), 417–434.

[2] Michael, I., Rizzo, L., McArdell, C. S., Manaia, C. M., Merlin, C., Schwartz, T., Dagot, C., & Fatta-Kassinos, D. (2013). *Urban wastewater treatment plants as hotspots for antibiotic resistant bacteria and genes spread into the environment: A review. Science of The Total Environment*, 447, 345–360.

[3] Elmolla, E. S., & Chaudhuri, M. (2010). *Degradation of amoxicillin, ampicillin and cloxacillin antibiotics in aqueous solution by the photo-Fenton process. Journal of Hazardous Materials*, 179(1–3), 804–811.