

## PANORAMA DOS PROCESSOS OXIDATIVOS AVANÇADOS NA DEGRADAÇÃO DE SERTRALINA



<https://doi.org/10.22533/at.ed.2001125150411>

*Data de aceite: 17/09/2025*

### **Cícero Coelho de Escobar**

Universidade Federal de Pelotas, Centro  
de Engenharias.  
Pelotas - RS.  
ORCID: 0000-0002-6248-9222.

### **Cássia Marilda Duarte Lima Bitencourt**

Universidade Federal de Pelotas, Centro  
de Engenharias.  
Pelotas - RS.  
ORCID: 0009-0008-2713-2069.

### **Luís Eduardo Tavares Martins**

Universidade Federal de Pelotas, Centro  
de Engenharias.  
Pelotas - RS.  
ORCID: 0009-0008-6288-2412.

**RESUMO:** A presença de contaminantes emergentes, como a sertralina (SERT), um antidepressivo amplamente utilizado, representa um desafio ambiental devido à sua persistência, potencial toxicidade e resistência aos tratamentos convencionais de efluentes. Diante disso, este estudo realizou uma análise comparativa de diferentes Processos Oxidativos Avançados (POAs) aplicados à degradação da sertralina em matrizes aquosas. Foram avaliados sete artigos publicados entre 2020 e 2025,

considerando parâmetros como eficiência de remoção, mineralização, toxicidade residual, custo energético e condições operacionais. Os métodos estudados incluíram fotocatálise heterogênea, processos Fenton e foto-Fenton, eletroquímicos e híbridos ( $UV/H_2O_2$ , entre outros). Os resultados demonstraram variações significativas entre os POAs, sendo que a eficiência da degradação depende fortemente do tipo de catalisador, pH, tempo de reação e tipo de radiação. Por outro lado, a ausência de dados quantitativos sobre toxicidade e custo energético em vários estudos, comprometeu a comparação e análise aprofundada dos processos. Conclui-se que os POAs são promissores na degradação da sertralina, mas sua aplicação prática demanda avaliação criteriosa da eficiência de mineralização, formação de subprodutos e viabilidade energética. A padronização dos estudos, a inclusão de ensaios toxicológicos e o desenvolvimento de catalisadores reutilizáveis e sustentáveis são essenciais para o avanço da aplicação em larga escala dessas tecnologias.

**PALAVRAS-CHAVE:** Processos oxidativos avançados, degradação de fármacos, sertralina.

## OVERVIEW OF ADVANCED OXIDATION PROCESSES IN SERTRALINE DEGRADATION

**ABSTRACT:** The presence of emerging contaminants, such as sertraline (SERT), a widely used antidepressant, poses an environmental challenge due to its persistence, potential toxicity, and resistance to conventional wastewater treatment methods. In this context, this study conducted a comparative analysis of different Advanced Oxidation Processes (AOPs) applied to the degradation of sertraline in aqueous matrices. Ten articles published between 2020 and 2025 were evaluated, considering parameters such as removal efficiency, mineralization, residual toxicity, energy cost, and operational conditions. The methods studied included heterogeneous photocatalysis, Fenton and photo-Fenton processes, electrochemical techniques, and hybrid systems ( $\text{UV}/\text{H}_2\text{O}_2$ ,  $\text{UV}/\text{O}_3$ , among others). The results showed significant variations among the AOPs, with degradation efficiency strongly dependent on the type of catalyst, pH, reaction time, and type of radiation. The electro-Fenton process stood out for its high efficiency (99%) and mineralization rate (98%), but it exhibited high energy costs. In contrast, methods such as the use of 3D ZnO under UV light demonstrated good efficiency and lower residual toxicity, suggesting greater environmental feasibility. However, the lack of quantitative data on toxicity and energy cost in several studies compromised the comparison and in-depth analysis of the processes. It is concluded that AOPs are promising for the degradation of sertraline, but their practical application requires a careful evaluation of mineralization efficiency, formation of by-products, and energy feasibility. Standardization of studies, inclusion of toxicological assays, and the development of reusable and sustainable catalysts are essential for advancing the large-scale application of these technologies.

**KEYWORDS:** “advanced oxidation processes”, “pharmaceutical degradation”, “sertraline”.

### INTRODUÇÃO

Contaminantes emergentes são poluentes recentemente identificados no meio ambiente, geralmente não regulamentados, que incluem substâncias sintéticas ou naturais como fármacos, produtos de cuidados pessoais, pesticidas, hormônios, microplásticos e nanomateriais. Eles são encontrados em baixas concentrações, mas podem causar efeitos adversos à saúde humana e aos ecossistemas (Puri *et al.*, 2025).

São compostos detectados recentemente no ambiente, para os quais ainda não há regulamentação específica ou conhecimento completo sobre seus riscos. Incluem fármacos, produtos de higiene pessoal, pesticidas, hormônios, retardantes de chama, microplásticos, nanomateriais, aditivos alimentares, surfactantes e resíduos industriais (Li *et al.*, 2024). Podem ser oriundos de efluentes domésticos e hospitalares, industriais, da agricultura, lixiviados de aterros e de estações de tratamento de esgoto (Morin-Crini *et al.*, 2022).

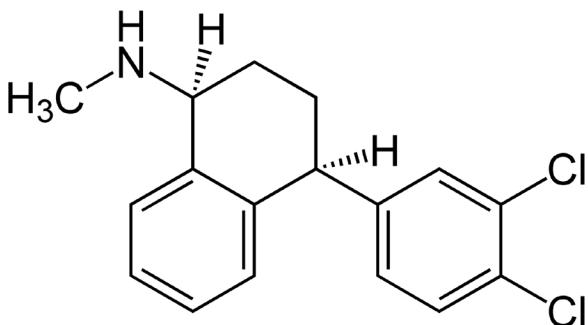
Persistentes no ambiente, podem se acumular na cadeia alimentar e causam efeitos na saúde humana e na biota, atuando como disruptores endócrinos, trazendo resistência a antibióticos, além de efeitos neurológicos e carcinogênicos (Morin-Crini *et al.*, 2022). Ademais, há uma lacuna na regulamentação desses poluentes, dificultando o controle e monitoramento (Puri *et al.*, 2025).

Outro problema quanto aos contaminantes emergentes é sua dificuldade de remoção. Os métodos convencionais das estações de tratamento de esgoto ou de água não os abrange ou são pouco eficazes para removê-los (Rout *et al.*, 2020). Assim, os Processos Oxidativos Avançados (POAs) surgem como uma boa alternativa na degradação destes contaminantes. São tecnologias desenvolvidas para remover poluentes orgânicos e inorgânicos difíceis de degradar em águas e efluentes. Eles se destacam por gerar radicais altamente reativos, como o radical hidroxila ( $\cdot\text{OH}$ ) e radical sulfato ( $\text{SO}_4^{\cdot-}$ ), capazes de oxidar e decompor contaminantes resistentes, tornando-os menos tóxicos ou mais biodegradáveis (Khan *et al.*, 2023).

Dentre os principais tipos de POAs aplicados no tratamento de contaminantes, destacam-se a fotocatálise, que envolve a ativação de catalisadores por luz, e os processos baseados na reação de Fenton, como o Fenton clássico e o foto-Fenton, que combinam reagentes químicos com ou sem radiação. Outros métodos estudados incluem a ozonólise, que utiliza ozônio como agente oxidante, a sonólise, baseada na aplicação de ultrassom para gerar radicais livres, e os processos híbridos como  $\text{UV}/\text{H}_2\text{O}_2$ ,  $\text{UV}/\text{O}_3$ , persulfato ativado e eletro-oxidação. A variedade de abordagens permite que esses processos sejam adaptados e combinados para diferentes tipos de efluentes e contaminantes, sendo estratégias promissoras no contexto da remediação ambiental (Khan *et al.*, 2023; Satyam; Patra, 2025).

A presença de medicamentos no meio ambiente, especialmente os antidepressivos, têm se tornado uma preocupação crescente em escala global. Esses compostos, largamente utilizados no tratamento de transtornos como depressão e ansiedade, acabam sendo lançados no ambiente aquático, principalmente por efluentes de estações de tratamento e hospitalares. Por serem de difícil degradação por métodos convencionais, representam um desafio para o tratamento de águas residuais e podem oferecer riscos à saúde e aos ecossistemas aquáticos (Mohamed *et al.*, 2023).

A sertralina (SERT) foi selecionada para este estudo devido à sua ampla utilização como antidepressivo de prescrição médica contínua em diversos países (Lunighi *et al.*, 2022), sendo detectada em efluentes domésticos, águas superficiais e ambientes aquáticos naturais. Este fármaco pertence à classe dos inibidores seletivos da recaptação de serotonina (ISRS) que têm baixa taxa de metabolização no organismo humano, sendo diretamente excretados. Vários estudos relatam sua persistência em ambientes aquáticos em concentrações variando de ng/L a  $\mu\text{g}/\text{L}$ , sendo sedimentados em solos agrícolas (Li *et al.*, 2024).



**Figura 1** - Estrutura molecular de sertralina.

Fonte: Autores, 2025.

A SERT apresenta potencial de bioacumulação em organismos aquáticos, tendo sido detectada em tecidos de peixes, afetando o comportamento, o sistema endócrino e parâmetros reprodutivos, mesmo em concentrações ambientais (RAMOS *et al.*, 2021). Dada essa persistência e toxicidade, a sertralina é reconhecida como um contaminante emergente prioritário em pesquisas de remediação ambiental, sendo frequentemente utilizada como modelo em estudos de avaliação da eficiência de POAs, devido à sua estrutura química resistente e relevância ecotoxicológica.

Nesse contexto, a presente pesquisa tem como objetivo identificar e comparar a eficiência de diferentes Processos Oxidativos Avançados utilizados na degradação de sertralina em matrizes aquosas, verificando aspectos como a porcentagem de remoção, tempo para remoção, taxa de mineralização (COT), toxicidade, entre outros. Embora esta não seja uma revisão exaustiva sobre contaminantes emergentes ou Processos Oxidativos Avançados, o presente trabalho fornece um panorama atualizado das principais técnicas aplicadas especificamente na degradação da sertralina, destacando sua importância como fármaco modelo na avaliação da eficiência dos processos de remediação ambiental.

## METODOLOGIA

Este estudo consistiu em uma análise comparativa de diferentes Processos Oxidativos Avançados (POAs) aplicados à degradação do fármaco sertralina, com base em diversos parâmetros experimentais, incluindo: concentração do contaminante, tipo de processo oxidativo utilizado, condições operacionais (como tipo de reator, fonte de radiação e uso de catalisadores), pH da reação, tempo de tratamento, concentração do catalisador, eficiência de remoção, taxa de mineralização, toxicidade residual e custo energético associado.

A seleção dos estudos considerou critérios de relevância científica e técnica, com base em publicações indexadas nas plataformas Scopus, ScienceDirect e Google

Acadêmico. A busca foi realizada utilizando os descritores: “*advanced oxidation processes*”, “*pharmaceutical degradation*” e “*sertraline*”, com recorte temporal compreendido entre os anos de 2020 e 2025.

Foram avaliadas oito artigos com diferentes aplicações de POAs na degradação da sertralina, conforme apresentado na Tabela 1. Os estudos analisaram os efeitos oxidativos de agentes aplicados individualmente ou em combinação, conforme a metodologia escolhida por cada autor. Essa abordagem permitiu comparar não apenas a eficiência de remoção do fármaco, mas também aspectos operacionais relevantes para a aplicação prática dos processos, como tempo de reação, demanda energética e potencial geração de subprodutos tóxicos.

Para garantir a qualidade e a consistência dos dados, foram definidos critérios de inclusão e exclusão. Foram incluídos apenas artigos científicos com abordagem experimental, que abordassem a degradação da sertralina por meio de POAs e apresentassem resultados quantitativos, como eficiência de remoção, grau de mineralização (COT e DQO), avaliação de toxicidade e estimativa de custo energético. Foram excluídos estudos que não forneciam dados metodológicos suficientes, bem como publicações de natureza exclusivamente teórica, revisões sistemáticas sem experimentação e relatos duplicados.

A classificação dos POAs foi realizada conforme o tipo de mecanismo oxidativo empregado nos estudos analisados, organizando-se nas seguintes categorias:

- Fotoquímicos: processos que utilizam radiação UV para a geração de espécies reativas, como radicais hidroxila ( $\cdot\text{OH}$ ) e sulfato ( $\text{SO}_4^{\cdot-}$ ), incluindo os sistemas UV direto, UV/ $\text{H}_2\text{O}_2$  e UV/Persulfato ( $\text{S}_2\text{O}_8^{2-}$ );
- Eletroquímicos: baseiam-se na geração eletroquímica de agentes oxidantes, destacando-se os processos Eletro-Fenton e Foto Eletro-Fenton;
- Fotocatálise heterogênea: utiliza semicondutores ativados por luz, como o dióxido de titânio ( $\text{TiO}_2$ ) e o óxido de zinco ( $\text{ZnO}$ ), para promover reações oxidativas em meio aquoso;
- Fenton clássico: processo homogêneo que combina peróxido de hidrogênio ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) e íons ferroso ( $\text{Fe}^{2+}$ ) em meio ácido, promovendo a geração dos radicais hidroxila.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

As informações técnicas extraídas dos artigos selecionados foram organizadas e detalhadas na Tabela 1. Os estudos abrangem uma ampla faixa de concentrações, desde 1 mg/L até 30 mg/L, não refletindo os níveis próximos aos encontrados em matrizes aquosas ambientais (ng– $\mu\text{g}/\text{L}$ ), focando essencialmente em concentrações mais elevadas, típicas de experimentos em escala laboratorial. Em relação aos POAs, é possível observar a presença de diversas tecnologias, como a fotocatálise heterogênea utilizando materiais

como  $\text{TiO}_2$  ou  $\text{ZnO}$  sob irradiação UV-C, UV-A ou LED, que dependem da luz para gerar radicais reativos; a ativação de peroximonosulfato (PMS) com catalisadores (Fe e Co)/ $\text{g-C}_3\text{N}_4$ , que gera radicais  $\text{SO}_4^{\cdot-}$  e  $\cdot\text{OH}$  de, sem necessidade de irradiação; processos eletroquímicos, como Electro-Fenton, que combinam eletrólise e geração de radicais; e sistemas UVC/ $\text{S}_2\text{O}_8^{2-}$ , que ativam o peroxissulfato via radicais sulfato sob UV.

Concen- tração do fármaco (mg/L)	POA	Melhor % Re- moção relatada	Melhor tempo de remoção; pH ótimo	Concen- tração do catalisador	%Remoção de COT ou DQ)	Fonte
30	Fotocatálise Heterogê- nea (UVC)	98,7	40 min; pH 7,3	0,2 g/L, $\text{ZnO}$	DQO: - COT: -	Mohamed <i>et al.</i> , 2023
2,0	Fotocatá- lise hete- rogênea (UV-LED)	55	120 min; pH 5,6	-	DQO : - COT: -	Rojas-Man- tilla <i>et al.</i> , 2023
3,0	Electro- Fenton	98	120 min; pH 3	0,1 mM; $\text{Fe}^{2+}$	DQO: 99% COT: -	Rachidi <i>et al.</i> , 2021
3,0	UVC/ $\text{S}_2\text{O}_8^{2-}$	90	< 1 min; pH 7,00	1 mM; $\text{S}_2\text{O}_8^{2-}$	COT: 62 % DQO: -	Drossou <i>et al.</i> , 2022
10	$\text{ZnO}$ 3D (UV-C e UV-A)	94	60 min pH 6,74	5 mg/L; $\text{ZnO}$ ,	DQO: - COT: 97%	Silva <i>et al.</i> , 2023
10	Ativação do peroximo- nosulfato	100%	60 min; pH 8,7	0,1 g/L; (Fe and Co)/ $\text{g-C}_3\text{N}_4$	DQO: - COT :27%	Luo <i>et al.</i> , 2023
1	Fotocatálise heterogê- nea	100%	40-60 min; pH 8,2	400 mg/L; $\text{TiO}_2$	DQO: - COT: < 5%	Calza <i>et al.</i> , 2023

Tabela 1 – Comparaçāo dos POAs aplicados à degradação da sertralina.

Fonte: Autores, 2025.

As análises comparativas dos estudos selecionados para a elaboração da pesquisa revelaram diversas variações no desempenho dos Processos Oxidativos Avançados (POAs) aplicados no processo de degradação da sertralina, mostrando que as condições operacionais refletem significamente na degradação do fármaco, bem como o tipo de oxidante utilizado e a presença de catalisadores, evidenciando que para aplicação de um processo oxidativo eficiente é necessário a conjunção de múltiplos fatores.

No estudo de Mohamed *et al.*, 2023, foi empregada a técnica de degradação fotocatalítica utilizando nanopartículas de  $\text{ZnO}$  em conjunto com irradiação UVC, alcançando uma elevada eficiência na remoção da sertralina, com 98,7% do fármaco degradado em 30 minutos de reação. Apesar desse resultado expressivo, o trabalho apresenta limitações importantes no que se refere à avaliação da eficácia ambiental do processo. Embora a mineralização do composto tenha sido acompanhada por meio da demanda química de

oxigênio (DQO), o percentual exato de mineralização alcançado não foi informado. Da mesma forma, a pesquisa não forneceu dados quantitativos sobre possíveis efeitos tóxicos dos subprodutos gerados, como testes de toxicidade aguda ou crônica. Essa ausência de informações detalhadas compromete uma análise mais completa da sustentabilidade e segurança do processo, dificultando comparações com outras abordagens e limitando sua aplicabilidade em escala real. Além disso, o estudo empregou UVC como fonte de energia, o que pode ser considerado uma desvantagem, tendo em vista o elevado custo associado à sua produção e operação, tornando o processo menos atrativo do ponto de vista de viabilidade econômica em larga escala.

No trabalho de Rojas-Mantilla et al. (2023), foi desenvolvido e avaliado um sistema contínuo de filtração/fotocatálise baseado em fibras de carbono modificadas com  $\text{WO}_3$ , obtidas por eletrodeposição química seguida de tratamento térmico a 450 °C. O sistema empregou membranas fotoativas em conjunto com irradiação por LED de alta eficiência, demonstrando capacidade de filtrar e degradar simultaneamente a sertralina (SER) em condições simuladas e em amostras reais de efluente, configurando-se como uma alternativa promissora para o tratamento de contaminantes emergentes em matrizes aquosas, através de um sistema com escoamento contínuo. Em uma vazão de 180 mL·min<sup>-1</sup>, foi obtida a degradação completa do fármaco após 120 minutos.

O estudo realizado por Rachidi et al., 2021 apresentou resultados expressivos no que se refere à eficiência do processo de degradação, alcançando uma taxa de remoção de 99% do fármaco e taxa de mineralização de 98%. Esses dados indicam um desempenho altamente eficaz na eliminação do contaminante e de seus subprodutos, reforçando o potencial da técnica utilizada para o tratamento avançado de efluentes contendo fármacos. No entanto, apesar da elevada eficiência, o processo apresenta uma limitação importante, o alto custo energético envolvido em sua operação, sendo que o cálculo do consumo energético foi baseado em Kg de DQO consumido. Os resultados indicaram que tanto o aumento do tempo de eletrólise quanto da corrente aplicada provoca elevação no consumo de energia. Esse aumento significativo está diretamente associado à cinética mais lenta de mineralização ao longo do tempo de tratamento. Além disso, verificou-se que o incremento da corrente favorece a mineralização do fármaco até um valor ótimo, a partir do qual a eficiência de mineralização diminui, em razão da aceleração de reações parasitárias não oxidativas e da formação de intermediários de difícil oxidação. Os autores destacaram, assim, a relação crítica entre alta eficiência e baixo custo do processo. O valor de corrente de 400 mA foi apontado como condição ideal, permitindo alcançar quase a total mineralização a um custo intermediário. De todo modo, esse fator representa um desafio significativo para a aplicação dessa técnica em larga escala, especialmente aplicada em processos de tratamento de efluentes em estações, onde a eficiência precisa ser equilibrada com a viabilidade econômica e a sustentabilidade do processo. Assim, embora os resultados laboratoriais sejam promissores, a implementação prática do método exige adaptações ou alternativas que reduzam o consumo energético sem comprometer sua eficácia.

No estudo de Drossou *et al.* (2022), os autores mostraram que antidepressivos, como a sertralina, são liberados no ambiente aquático devido à remoção incompleta em estações de tratamento de esgoto. Em seu estudo, investigaram a degradação fotoquímica da sertralina em diferentes matrizes aquosas, com foco especial nos processos ativados por radicais, incluindo o uso de persulfato (UVC/PS). Observou-se que a degradação direta da sertralina sob radiação UVC foi pouco eficiente, enquanto a presença de persulfato promoveu aumento significativo da taxa de degradação, seguindo cinética pseudo-primeira ordem em todas as matrizes testadas. Os autores destacaram que, embora a sertralina tenha reatividade comparável frente aos radicais hidroxila e sulfato, o processo UVC/PS foi mais eficiente que o UVC/ $H_2O_2$ , apresentando aumento quase linear da constante de velocidade com a concentração de persulfato. Além disso, o pH da solução, na faixa de 6,0 a 9,0, teve efeito desprezível na eficiência do tratamento, e mesmo em matrizes complexas como urina sintética, a degradação fotoquímica da sertralina ocorreu de maneira satisfatória. Por fim, os cálculos de consumo energético e custo indicaram que o processo UVC/PS é economicamente viável para aplicação em escala real, com consumo de energia de aproximadamente 0,0967 kWh/m<sup>3</sup>, embora a mineralização completa da sertralina seja lenta e leve à formação de produtos intermediários resistentes, cujas estruturas e toxicidade ainda precisam de mais estudos.

A degradação da SERT pelo ZnO conduzida por Silva *et al.*, 2023 foi eficiente sob a irradiação UV. Os autores demonstraram que estruturas hierárquicas 3D de ZnO podem ser obtidas por um método simples, rápido e eficiente, utilizando síntese solvotérmica assistida por micro-ondas com alto controle de parâmetros. A aplicação de ferramentas quimiométricas, como a Análise de Componentes Principais, permitiu identificar a influência de variáveis como proporção de solventes, tempo de reação e potência do micro-ondas na formação das nanoestruturas e em suas propriedades catalíticas. O material desenvolvido mostrou excelente desempenho na degradação de poluentes emergentes, como a sertralina, mantendo alta eficiência mesmo após múltiplos ciclos de uso. Ensaios de toxicidade indicaram que os produtos formados não apresentam efeitos nocivos ao crescimento de *Cucumis sativus*, confirmado a segurança do processo para aplicação em matrizes ambientais. Dessa forma, o estudo evidencia que a combinação de síntese controlada e abordagem quimiométrica constitui uma estratégia promissora para a obtenção de nanomateriais fotocatalíticos altamente eficientes. Embora os resultados demonstrem alta eficiência na degradação da sertralina, o estudo foca principalmente em matrizes sintéticas ou controladas, como tampões aquosos e urina sintética. Não há informações detalhadas sobre o desempenho em efluentes reais com composição complexa e presença de múltiplos poluentes concorrentes, o que poderia afetar significativamente a eficiência do photocatalisador. Além disso, embora o estudo mencione a segurança dos subprodutos por meio de ensaios de toxicidade em *Cucumis sativus*, não há avaliação de toxicidade em organismos aquáticos ou de bioacumulação, limitando a compreensão do impacto

ambiental real. Outro ponto é que a reusabilidade do ZnO foi testada em apenas cinco ciclos; para aplicações em escala real, seria relevante investigar a estabilidade a longo prazo e possíveis processos de desativação ou lixiviação do material.

No trabalho de Luo *et al.* (2023), um compósito heterojunção dual (Fe e Co)/g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> foi construído com sucesso e utilizado para ativar o peroximonosulfato (PMS) na degradação da sertralina. mais especificamente, foi avaliado o ZIF-67, que é um tipo de Metal-Organic Framework (MOF), ou seja, um material cristalino formado por íons metálicos coordenados a ligantes orgânicos, neste caso à base de cobalto (Co) e ligantes imidazólicos. Os autores demonstraram que a atividade catalítica dos materiais sintetizados para ativação do peroximonosulfato (PMS) na degradação da sertralina apresentou diferenças significativas entre as composições testadas. Enquanto o g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> isolado mostrou eficiência quase nula (<2% em 120 min) e o ZIF-67 alcançou 27% de remoção, a combinação ZIF-67/g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> apresentou efeito sinérgico, atingindo 52% de degradação. No entanto, mesmo com essa melhoria, os resultados ainda eram insuficientes, evidenciando a necessidade de desenvolver materiais com maior eficiência catalítica. Nesse contexto, os autores construíram um material heteroestruturado incorporando MOF-Fe e MOF-Co sobre g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, que demonstrou desempenho superior, alcançando 100% de remoção da SER em 60 min, com cinética compatível a pseudo-primeira ordem, além de estabilidade em múltiplos ciclos de uso. O estudo também analisou a influência de variáveis como dosagem do catalisador, concentração de PMS e pH ambiental na degradação da SER. Observou-se que condições ácidas favoreceram a produção de espécies ativas ( $\cdot\text{OH}$  e  $\text{SO}_4^{\cdot-}$ ), enquanto pH alcalino inibiu o processo. Além disso, a investigação de produtos intermediários por HPLC-MS/MS e cálculos teóricos evidenciou o papel predominante do radical sulfato na degradação. Embora o estudo tenha demonstrado elevado desempenho na degradação da sertralina, ele apresenta algumas limitações. Assim como os demais autores comentados anteriormente, os experimentos foram conduzidos principalmente em matrizes sintéticas ou modeladas, não avaliando detalhadamente o comportamento do material em efluentes reais, mais complexos e com múltiplos poluentes concorrentes. Além disso, não foi realizada uma análise abrangente da toxicidade ambiental dos produtos intermediários, especialmente em organismos aquáticos, o que restringe a compreensão do impacto ambiental do processo. Questões relacionadas à escalabilidade, recuperação do catalisador em larga escala e custos operacionais também não foram abordadas.

No estudo desenvolvido por Calza *et al.*, 2021, a fotodegradação da sertralina foi realizada em matrizes aquosas com o uso do catalisador TiO<sub>2</sub>, alcançando excelentes resultados em termos de eficiência. O processo resultou na remoção completa do fármaco em um intervalo de 60 minutos, demonstrando a elevada reatividade do sistema catalítico sob as condições aplicadas. Além da degradação, a mineralização dos compostos intermediários também foi expressiva, atingindo aproximadamente 95% de eficiência, conforme avaliado pelos parâmetros estabelecidos no estudo. No entanto,

os autores alertam para um aspecto crítico, durante o processo de degradação, foram formados subprodutos com maior toxicidade do que a molécula original da sertralina. Esse achado reforça a necessidade de se considerar não apenas a eficiência de remoção do contaminante principal, mas também os possíveis impactos dos intermediários gerados. O estudo ressalta ainda a importância de garantir a continuidade de todas as etapas do processo photocatalítico, sem interrupções, para assegurar a completa degradação dos poluentes e evitar riscos ambientais associados à liberação de compostos potencialmente mais tóxicos.

Durante a análise dos estudos selecionados, foi possível observar uma lacuna na apresentação dos dados quantitativos essenciais, como o custo energético envolvido nos processos, taxas de mineralização, testes de toxicidade, fitotoxicidade, citotoxicidade e genotoxicidade. Em diversos casos, os autores mencionam a realização desses ensaios de forma superficial, sem fornecer dados concretos para o embasamento do estudo. Essa ausência de informações quantitativas e qualitativas compromete a replicabilidade dos experimentos, dificultando os avanços na área de pesquisa. Além disso, a falta de padronização e transparência das análises representam um entrave para pesquisadores que buscam realizar revisões bibliográficas ou propor melhorias baseadas em evidências, especialmente quando o objetivo é avaliar a viabilidade ambiental e econômica das tecnologias estudadas.

## **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Com base nas análises dos estudos apresentados sobre a degradação da sertralina utilizando os Processos Oxidativos Avançados (POAs), podemos concluir que, a eficácia dos Processos Oxidativos Avançados na degradação da sertralina depende de diversos fatores, que incluem condições operacionais, oxidantes e catalisadores. Embora os estudos demonstram altas taxas de degradação desse fármaco, a eficiência de mineralização e a formação de subprodutos são aspectos críticos que devem ser analisados significativamente nos processos.

A eficiência de degradação desse fármaco não depende somente da mineralização da molécula, mas da ausência da formação de subprodutos. Os processos são eficientes na degradação inicial do eletro-fenton, mas podem ser inviáveis em grande escala devido aos altos custos atribuídos ao processo. Uma análise mais eficiente é aquela que utiliza baixo custo energético, pode ser atingida sua eficiência operando com luz visível ou com baixa luminosidade.

Há uma necessidade de aprofundamento em testes de toxicidades, os resultados obtidos nas análises desses estudos, evidenciam uma falha na elaboração desses estudos, quando se referente a quantificação e qualificação desses testes, esse parâmetro é crucial, pois, demonstra a formação de compostos que podem ser mais tóxicos do que a própria

molécula a ser degradada. A degradação completa da molécula exige que o processo seja otimizado para garantir a segurança ambiental e a eficiência de mineralização desse fármaco, sem interrupções de etapas que possam deixar ou produzir algum resíduo ou subproduto mais tóxico.

Os processos oxidativos avançados representam uma alternativa promissora para a remediação do fármaco sertralina em ambientes aquosos. Entretanto, para uma aplicação eficaz deve se considerar a aplicação de técnicas como a taxa de degradação da molécula. É fundamental avaliar o processo de mineralização e a ausência da formação de subprodutos que podem ser altamente tóxicos, além dos custos energéticos e a utilização dos catalisadores, que podem ser parâmetros que inviabilizam o projeto.

A quantificação e detalhamento dos estudos permite uma avaliação mais detalhada da viabilidade e segurança do processo. Orienta-se a futuras pesquisas nessas áreas que foquem na otimização desses métodos, buscando desenvolver tecnologias mais eficientes, seguras e economicamente viáveis que possam ser aplicadas em grandes escalas, garantindo assim a eficiência do processo, proteção dos ecossistemas e saúde humana.

## REFERÊNCIAS

CALZA, Paola et al. Study of the photoinduced transformations of sertraline in aqueous media. **Science of The Total Environment**, v. 756, p. 143805, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143805>.

DROSSOU, Catherine et al. Photochemical degradation of the antidepressant sertraline in aqueous solutions by UVC, UVC/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, and UVC/S<sub>2</sub>O<sub>8</sub><sup>2-</sup>. **Water Research**, v. 217, p. 118442, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2022.118442>.

KHAN, Z. et al. Removal of organic pollutants through hydroxyl radical-based advanced oxidation processes. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 267, p. 115564, 2023. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2023.115564. Acesso em: 14 jul. 2025.

LI, X. et al. Comprehensive review of emerging contaminants: Detection technologies, environmental impact, and management strategies. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 278, p. 116420, 2024. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2024.116420.

LUNIGHI, Carlotta et al. Global prevalence of antidepressant drug utilization in the community: protocol for a systematic review. **BMJ Open**, Londres, v. 12, n. 5, p. e062197, 2022. DOI: 10.1136/bmjopen-2022-062197.

LUO, Jun et al. A dual-MOFs (Fe and Co)/g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> heterostructure composite for high-efficiently activating peroxymonosulfate in degradation of sertraline in water. **Separation and Purification Technology**, v. 307, p. 122701, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2022.122701>.

MOHAMED, Z. H. et al. Enhanced Photocatalytic Degradation of the Antidepressant Sertraline in Aqueous Solutions by Zinc Oxide Nanoparticles. **Water**, v. 15, n. 11, p. 2074, 30 maio 2023. DOI: 10.3390/w15112074.

MORIN-CRINI, N. et al. Worldwide cases of water pollution by emerging contaminants: a review. **Environmental Chemistry Letters**, v. 20, p. 2311–2338, 2022. DOI: 10.1007/s10311-022-01447-4.

PURI, M. et al. Emerging environmental contaminants: A global perspective on policies and regulations. **Journal of Environmental Management**, v. 332, p. 117344, 2023. DOI: 10.1016/j.jenvman.2023.117344.

RACHIDI, Loubna et al. Optimization and modeling of the electro-Fenton process for treatment of sertraline hydrochloride: Mineralization efficiency, energy cost and biodegradability enhancement. **Chemical Data Collections**, v. 35, p. 100764, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cdc.2021.100764>.

ROJAS-MANTILLA, H. et al. Degradation of sertraline using a continuous-flow filtration/photocatalysis system based on carbon fiber (PWB-3) modified with WO<sub>3</sub> under LED chip irradiation. **Chemical Engineering Journal**, v. 477, p. 146944, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2023.146944>.

ROUT, P. et al. Treatment technologies for emerging contaminants in wastewater treatment plants: A review. **Science of the Total Environment**, v. 753, p. 141990, 2020. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.141990.

SATYAM, S.; PATRA, S. The Evolving Landscape of Advanced Oxidation Processes in Wastewater Treatment: Challenges and Recent Innovations. **Processes**, v. 13, n. 4, p. 987, mar. 2025. DOI: 10.3390/pr13040987.

SILVA, Thalles E.M. et al. Hierarchical structure of 3D ZnO experimentally designed to achieve high performance in the sertraline photocatalysis in natural waters. **Chemical Engineering Journal**, v. 475, p. 146235, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2023.146235>.