



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA**  
**CENTRO DE TECNOLOGIA - CT**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA**  
**CURSO DE GRADUAÇÃO EM QUÍMICA INDUSTRIAL**

**Milayne Tuane dos Santos Silva**

**REMOÇÃO E DEGRADAÇÃO DE PESTICIDAS EM ÁGUA: UMA BREVE  
REVISÃO DE LITERATURA.**

**João Pessoa  
2025**

**MILAYNE TUANE DOS SANTOS SILVA**

**REMOÇÃO E DEGRADAÇÃO DE PESTICIDAS EM ÁGUA: UMA BREVE  
REVISÃO DE LITERATURA.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à coordenação de Química Industrial, do Centro de Tecnologia, da Universidade Federal da Paraíba, Campus I, como parte dos requisitos obrigatórios, para obtenção do título de Bacharel em Química Industrial.

Orientador: Professor Dr. Rennio Felix de Sena.

**João Pessoa  
2025**

S568r Silva, Milayne Tuane Dos Santos.

Remoção e degradação de pesticidas em água: uma  
breve revisão de literatura / Milayne Tuane Dos Santos  
Silva. - João Pessoa, 2025.

33 f. : il.

Orientação: Rennio Felix de Senna.  
TCC (Graduação) - UFPB/Tecnologia.

1. Método; Remoção; Pesticidas; Água. I. Senna,  
Rennio Felix de. II. Título.

UFPB/BSCT

CDU 66.01(043.2)

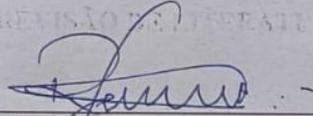
**Catálogo na publicação Seção de  
Catálogo e Classificação**

MILAYNE TUANE DOS SANTOS SILVA

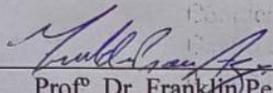
**REMOÇÃO E DEGRADAÇÃO DE PESTICIDAS EM ÁGUA: UMA BREVE  
REVISÃO DE LITERATURA.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à  
Coordenação do curso de Química Industrial do  
Centro de Tecnologia, da Universidade Federal  
da Paraíba, Campus I, como parte dos requisitos  
obrigatórios, para obtenção do título de  
Bacharel em Química Industrial.

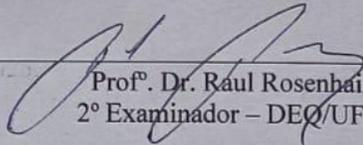
Aprovada em 30/04/2025.



Prof. Dr. Rênio Felix de Sena  
Orientador – DEQ/UFPB



Prof. Dr. Franklin Pessoa Aguiar  
1º Examinador – DEQ/UFPB



Prof. Dr. Raul Rosenbaum  
2º Examinador – DEQ/UFPB

JOÃO PESSOA – PB

2025

família que sempre fizeram o possível e o impossível por mim, e aos meus amigos que não me deixaram desistir.

**Dedico.**

## **AGRADECIMENTOS**

A realização deste trabalho representou não apenas o culminar de uma etapa acadêmica, mas também o resultado do apoio e incentivo recebido de pessoas que tornaram essa jornada possível. Agradeço primeiramente à meus parentes, que sempre me apoiou com amor, compreensão e encorajamento incondicional.

Mas principalmente aos meus pais, Luzia e Gildo, por me ensinarem os valores da dedicação, persistência e ética, e por sempre acreditarem no meu potencial. Ao meu irmão, Gildo Júnior, que com seu apoio e companhia ajudou a superar os momentos desafiadores e que sempre esteve ao meu lado nessa caminhada.

Também expresso minha gratidão aos meus amigos, que, com suas palavras de incentivo e companheirismo, tornaram essa jornada muito mais leve e prazerosa. A cada um que fez parte dessa trajetória, meu sincero muito obrigado.

## RESUMO

Este Trabalho de Conclusão de Curso tem como objetivo principal realizar uma revisão de literatura sobre os principais métodos de remoção e degradação de pesticidas em ambientes aquáticos, destacando suas vantagens, limitações e perspectivas futuras no contexto da proteção ambiental e da saúde pública. A pesquisa foi desenvolvida a partir de uma abordagem qualitativa, utilizando como metodologia uma pesquisa bibliográfica acerca da remoção de pesticidas em água. O tema é relevante por existir uma urgência em se compreender melhor os métodos eficazes de tratamento de água contaminada por pesticidas, especialmente considerando os riscos ambientais e de saúde pública envolvidos. Os resultados obtidos indicam que existe uma eficiência diferenciada entre os métodos aplicados; existem limitações operacionais e econômicas dos métodos e contribuições ambientais e para a saúde pública. Conclui-se que a remoção eficaz de pesticidas da água exige a integração de métodos físicos, químicos e biológicos, com destaque para os Processos Oxidativos Avançados, como estratégia essencial para a proteção ambiental e a saúde pública. O estudo contribui para sistematizar e analisar criticamente os principais métodos de remoção de pesticidas em ambientes aquáticos, fornecendo uma base teórica sólida que pode orientar futuras pesquisas científicas, projetos de extensão universitária e trabalhos acadêmicos voltados à sustentabilidade e ao saneamento ambiental. Além disso, ao reunir e comparar diferentes tecnologias, o trabalho estimula a produção de conhecimento interdisciplinar entre as áreas de Química, Biologia, Engenharia Ambiental e Saúde Pública.

**Palavras-chave:** Método; Remoção; Pesticidas; Água.

## **ABSTRACT**

The main objective of this Final Course Work is to conduct a literature review on the main methods of pesticide removal and degradation in aquatic environments, highlighting their advantages, limitations and future perspectives in the context of environmental protection and public health. The research was developed from a qualitative approach, using as methodology a bibliographic research on the removal of pesticides in water. The topic is relevant because there is an urgent need to better understand the effective methods of treating water contaminated by pesticides, especially considering the environmental and public health risks involved. The results obtained indicate that there is a differentiated efficiency among the methods applied; there are operational and economic limitations of the methods and contributions to the environment and public health. It is concluded that the effective removal of pesticides from water requires the integration of physical, chemical and biological methods, with emphasis on Advanced Oxidative Processes, as an essential strategy for environmental protection and public health. The study contributes to systematizing and critically analyzing the main methods of pesticide removal in aquatic environments, providing a solid theoretical basis that can guide future scientific research, university extension projects and academic work focused on sustainability and environmental sanitation. Furthermore, by bringing together and comparing different technologies, the work stimulates the production of interdisciplinary knowledge between the areas of Chemistry, Biology, Environmental Engineering and Public Health.

keywords: Method; Removal; Pesticides; Water.

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1- Métodos químicos de remoção de pesticidas em ambientes aquáticos..... p.24

TABELA 2- Métodos biológicos de remoção de pesticidas em ambientes aquáticos.....p. 25

## LISTA DE SIGLAS

POAs – Procedimentos de Oxidação Avançada

UV-C – Radiação Ultravioleta - C

O<sub>3</sub> – Ozônio

TiO<sub>2</sub> – Dióxido de Titânio

Fe<sup>2+</sup> – Íons Ferrosos

H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> – Peróxido de Hidrogênio

HP – Fotocatálise Homogênea

HF – Fotocatálise Heterogênea

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	12
2. OBJETIVOS.....	14
3. METODOLOGIA.....	15
4. REVISÃO LITERÁRIA .....	16
4.1 Métodos de tratamento.....	16
4.1.1 Método Físico .....	17
4.1.2 Método Químico .....	19
4.1.3 Método Biológico.....	21
4.2 Avaliação da Eficiência e das Limitações dos Métodos de Remoção de Pesticidas em Ambientes Aquáticos.....	25
4.3 Contribuições das Tecnologias para a Proteção Ambiental e a Saúde Pública .....	26
<b>5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>30</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>32</b>



## 1. INTRODUÇÃO

Com o crescimento da produção agrícola e a necessidade de controlar pragas e doenças nas lavouras, o uso de pesticidas tornou-se uma prática amplamente disseminada. Apesar dos benefícios obtidos com a utilização dos agrotóxicos o inadequado manejo ou controle racional, destes pesticidas são apontados como poluentes do meio ambiente (RIBEIRO et al., 2008). A contaminação da água por pesticidas é um dos principais desafios ambientais da atualidade. Segundo Carvalho (2000) os recursos hídricos são os mais afetados devido à agricultura exigir um suprimento de água, o que conduz o desenvolvimento de atividade próximo a rios e lagos.

A poluição das águas por agrotóxicos é um problema cada vez maior, colocando em risco tanto a qualidade da água que bebemos quanto a nossa saúde. Em áreas onde a agricultura é forte, o uso de pesticidas virou hábito, muitas vezes sem muita fiscalização, o que leva esses produtos a se espalharem pelas águas de rios e lagos, e também no subsolo. Conforme apontam Silva e Ribeiro (2018), o uso exagerado de agrotóxicos causa um impacto ruim nas fontes de água, afetando a possibilidade de consumirmos essa água e prejudicando o ecossistema dos rios e lagos.

Esses poluentes se destacam por terem alta toxicidade, se decomporem lentamente na natureza e se acumularem nos organismos vivos. Isso significa que eles podem ficar nas águas, mesmo em pequenas quantidades (RIBEIRO et al., 2024). A presença constante de resíduos de pesticidas na água está ligada ao aparecimento de problemas hormonais em animais aquáticos e também representa riscos à saúde das pessoas, seja pela exposição direta ou indireta, como ao consumir água contaminada.

Os sistemas comuns de tratamento de água, apesar de funcionarem bem para diversos poluentes, mostram-se limitados na remoção completa de pesticidas. Segundo Suassuna (2020), a estrutura química complexa desses compostos, com ligações químicas fortes e grupos funcionais como halogênios, fósforo e nitrogênio, os torna resistentes à quebra em processos convencionais de tratamento de água e remoção de

pesticidas, como coagulação, floculação e cloração. Essas características favorecem sua dissolução e favorecem sua permanência no ambiente aquático, exigindo, portanto, tecnologias mais avançadas para sua eliminação eficaz de tratamento.

Diante disso, várias estratégias têm sido criadas para diminuir esse problema. Entre elas, destacam-se os Processos Oxidativos Avançados (POAs), capazes de criar substâncias muito reativas como os radicais hidroxila, que ajudam na quebra de compostos orgânicos difíceis de degradar, incluindo pesticidas (BRITO; ARAÚJO; MARTÍNEZ-HUITLE, 2015). Além dos métodos químicos, tecnologias físicas, como a absorção em carvão ativado, também têm sido muito usadas com resultados bons (NETO et al., 2020). Santiago et al. (2024) reforçam que os POAs, junto com o uso de materiais inovadores, têm se destacado por serem muito eficientes e aplicáveis em diferentes tipos de efluentes.

Assim, considerando a seriedade e a complexidade da contaminação por pesticidas, que representam grandes ameaças à saúde humana e aos ecossistemas aquáticos, ressalta-se a importância social e ambiental de pesquisas que busquem sua remoção eficiente. A presença de pesticidas na água está ligada não só a problemas ambientais, como a destruição da biodiversidade, mas também a questões de saúde pública, reforçando a necessidade de estudos que apoiem políticas públicas e melhorias no tratamento de água.

Justifica-se, portanto, a realização deste estudo diante da urgência em se compreender melhor os métodos eficazes de tratamento de água contaminada por pesticidas, especialmente considerando os riscos ambientais e de saúde pública envolvidos. A permanência desses compostos nos recursos hídricos representa uma ameaça à biodiversidade, à segurança do abastecimento humano e ao equilíbrio dos ecossistemas aquáticos, reforçando a importância de pesquisas que contribuam com soluções sustentáveis e subsidiem melhorias nas políticas públicas ambientais.

## 2. OBJETIVOS

Geral :

- realizar uma revisão de literatura sobre os principais métodos de remoção e degradação de pesticidas em ambientes aquáticos, destacando suas vantagens, limitações e perspectivas futuras no contexto da proteção ambiental e da saúde pública.

Específico:

- Identificar os métodos físicos, químicos e biológicos utilizados para remover ou degradar pesticidas em água;
- avaliar a eficiência e as limitações de cada método no contexto do tratamento de água contaminada;
- discutir as contribuições dessas tecnologias para a proteção ambiental e a saúde pública.

### 3. METODOLOGIA

Foi realizado como metodologia para a realização deste trabalho, uma pesquisa qualitativa de cunho bibliográfico sobre a remoção e degradação de pesticidas em ambientes aquáticos. Para Silva e Fernandes (2011, p.26), “A pesquisa qualitativa é usada quando se busca percepções e entendimento sobre a natureza geral de uma questão, abrindo espaço para interpretação”.

Essa pesquisa foi realizada com o objetivo de reunir, analisar, e sintetizar estudos científicos que abordam a remoção e degradação de pesticidas em ambientes aquáticos. Levando em consideração que uma análise sistemática possibilita não só identificar o que já se sabe sobre um assunto, mas também apontar falhas, modelos e direções que podem impulsionar novas investigações e o uso prático das descobertas alcançadas.

De acordo com Silva et al. (2019), a revisão sistemática é “um método de pesquisa que visa localizar, avaliar e sintetizar evidências disponíveis sobre uma questão claramente definida, de forma sistemática e reproduzível”. Em campos de estudo que se transformam com velocidade, como a remediação de águas poluídas, essa forma de analisar é crucial, já que possibilita aos estudiosos obterem uma perspectiva abrangente e ponderada do cenário atual.

Já para Pereira e Andrade (2017, p. 48):

A revisão sistemática difere de outras formas de revisão bibliográfica por adotar um protocolo metodológico previamente definido, que deve ser transparente e reproduzível. Isso significa que qualquer outro pesquisador, ao aplicar os mesmos critérios de busca, seleção e análise, deverá obter resultados semelhantes, o que confere rigor científico e confiabilidade aos achados. (Pereira et. 2017, p.48)

A forma como este estudo foi conduzido possibilita, assim, uma visão geral e organizada das tecnologias para eliminar e quebrar pesticidas na água, o que

ajuda a impulsionar os debates científicos e a implementar práticas de tratamento de água que sejam mais eficazes e ecologicamente corretas.

#### **4. REVISÃO LITERÁRIA**

A contaminação de recursos hídricos por pesticidas é uma das principais preocupações ambientais e de saúde pública da atualidade. Partindo deste ponto, foi então realizada uma revisão literária para melhor entendimento desse conteúdo.

Os pesticidas, amplamente utilizados na agricultura para o controle de pragas, são compostos químicos persistentes, que têm como característica a baixa biodegradabilidade e a alta toxicidade, podendo causar danos significativos ao meio ambiente e à saúde humana mesmo em concentrações muito baixas (CARVALHO, 2000).

Os principais métodos de tratamento utilizados para a remoção de pesticidas em ambientes aquáticos podem ser classificados em três grandes categorias: físicos, químicos e biológicos. Mas além disso, é necessário avaliar a eficiência e as limitações de cada método no contexto do tratamento de água contaminada e por fim discutir as contribuições dessas tecnologias para a proteção ambiental e a saúde pública.

##### **4.1 Métodos de tratamento**

A crescente contaminação dos corpos d'água por pesticidas têm levantado preocupações quanto à segurança hídrica, à saúde pública e ao equilíbrio dos ecossistemas aquáticos (Farias et al. 2024).

Em razão da complexidade química desses compostos, que geralmente apresentam alta estabilidade e baixa biodegradabilidade, diversas tecnologias têm sido estudadas para sua remoção eficaz. (Policardo, 2024)

Segundo Queiroz et al, (2008):

Os métodos utilizados para tratar a água contaminada por pesticidas podem ser classificados em três grandes categorias: físicos, químicos e biológicos. Cada um desses métodos possui mecanismos próprios de atuação, vantagens distintas e limitações específicas que influenciam sua eficiência na prática. (Queiroz et al. , 2008, p.18)

Assim, compreender o funcionamento, a eficácia e os desafios associados a essas abordagens é essencial para o desenvolvimento de estratégias sustentáveis de

descontaminação dos recursos hídricos e para o fortalecimento de políticas públicas ambientais.

#### 4.1.1 Método Físico

Os métodos físicos são bastante utilizados para tratar água contaminada por pesticidas, principalmente porque costumam ser simples de operar, têm um custo moderado e apresentam boa eficiência em certas condições. Entre os principais métodos físicos, destacam-se a adsorção, a filtração por membranas e, em menor escala, a destilação e a troca iônica. Esses processos funcionam separando os contaminantes da água por meio de mecanismos físicos, sem alterar quimicamente os pesticidas.

- Adsorção

A adsorção é o processo físico mais utilizado na remoção de pesticidas. Consiste na fixação das moléculas dos contaminantes na superfície de um material adsorvente. O carvão ativado é o adsorvente mais empregado devido à sua alta área superficial, porosidade e capacidade de absorver compostos orgânicos de diversas naturezas.

De acordo com Souza e Silva (2019), “o carvão ativado é eficiente na remoção de pesticidas como atrazina, malation e endossulfam, com eficiência variando conforme o pH, temperatura e tipo de pesticida presente.” Os autores destacam que “a adsorção em carvão ativado mostrou remoção superior a 90% para pesticidas clorados sob condições ideais” (SOUZA; SILVA, 2019, p. 45).

No entanto, esse método apresenta limitações. A saturação do adsorvente exige sua substituição ou regeneração periódica, o que pode elevar os custos operacionais. Além disso, sua eficácia depende fortemente das características químicas do pesticida e das condições do meio aquoso (Zhang et al., 2020).

- Filtração por Membranas

A filtração por membranas, como a nanofiltração e a osmose reversa, é outro método físico eficaz para remoção de pesticidas, especialmente quando se busca retenção de partículas muito pequenas e compostos dissolvidos.

Segundo Van der Bruggen et al. (2008), a osmose reversa tem mostrado remoção superior a 99% para pesticidas como o glifosato e o diclorvós. Os autores afirmam:

Os sistemas de membranas, em especial a osmose reversa, têm se mostrado promissores na retenção de compostos orgânicos persistentes, como pesticidas, com vantagens significativas em eficiência, embora apresentem desafios operacionais como o entupimento e o alto consumo energético (VAN DER BRUGGEN et al., 2008, p. 435).

A principal limitação da tecnologia de membranas é o custo elevado de instalação e manutenção, além do problema do fouling, que é o acúmulo de materiais orgânicos ou inorgânicos nas superfícies das membranas, reduzindo sua vida útil e exigindo processos de limpeza frequentes.

- Outros Métodos Físicos

Embora menos utilizados, métodos como troca iônica e destilação por arraste com vapor também têm sido estudados.

A troca iônica é eficaz principalmente na remoção de pesticidas carregados eletricamente, mas sua aplicação é restrita e demanda regeneração frequente das resinas (ARAGÃO et al., 2021).

Já a destilação é um processo custoso, energeticamente e pouco aplicado em larga escala para esse fim.

Embora os métodos físicos estejam em sua eficiência para certas condições, normalmente esses não decompõem os pesticidas, mesmo que seja retirado a fase aquosa. Portanto, é comumente utilizado em combinação com métodos químicos ou biológicos, para assegurar remoção ou degradação total dos compostos. No entanto, a prática, a tecnologia disponível e os resultados positivos dos métodos físicos tornam numa ferramenta essencial do encordoamento de águas contaminadas com pesticidas.

#### 4.1.2 Método Químico

As abordagens químicas para a remoção de pesticidas da água baseiam-se na transformação das moléculas por meio de reações químicas, que visam decompor os contaminantes em compostos menos tóxicos ou até minerais ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  e sais inorgânicos). Dentre os principais métodos destacam-se os Processos Oxidativos Avançados (POAs), incluindo a Reação de Fenton, Foto-Fenton, Fotocatálise homogênea e heterogênea, fotólise por radiação UV-C ou luz visível e a ozonização.

- **Reação de Fenton**

A reação de Fenton consiste na decomposição do peróxido de hidrogênio ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) na presença de íons ferrosos ( $\text{Fe}^{2+}$ ), gerando radicais hidroxila ( $\bullet\text{OH}$ ) altamente reativos, que atacam as estruturas dos pesticidas. Esse processo é eficiente especialmente em meio ácido (pH entre 2 e 4).

Segundo Santos et al. (2022), “a reação de Fenton tem-se mostrado eficaz, especialmente em condições ácidas, promovendo a quebra de pesticidas com estruturas aromáticas complexas”.

Contudo, limitações como a geração de lodo férrico e a necessidade de ajustes precisos de pH tornam sua aplicação em larga escala mais desafiadora.

- **Foto-Fenton**

A variante fotoquímica da reação de Fenton, conhecida como Foto-Fenton, combina o uso de luz (geralmente UV-A ou solar) com os reagentes do processo Fenton. A luz intensifica a produção de radicais livres, aumentando a eficiência do sistema. De acordo com Brito, Araújo e Martínez-Huitle (2015), os processos de Foto-Fenton “sobressaem pela sua capacidade de quebrar poluentes orgânicos difíceis, como os pesticidas, em dióxido de carbono, água e sais minerais, sendo uma opção amiga do ambiente”.

Apesar da alta eficiência, exige controle rigoroso das condições reacionais e pode gerar subprodutos tóxicos, dependendo do pesticida-alvo.

- **Fotocatálise Heterogênea**

Na fotocatalise heterogênea, utiliza-se um catalisador sólido, como o dióxido de titânio ( $\text{TiO}_2$ ), que, ao ser ativado por luz UV, gera espécies reativas capazes de oxidar compostos orgânicos. Zhang et al. (2017) destacam que essa técnica “é eficaz para desfazer uma variedade grande de pesticidas em ambientes aquáticos, mesmo com pouca concentração, sendo vista como uma técnica limpa e eficiente”. Seu baixo custo relativo, estabilidade química e possibilidade de uso com luz solar a tornam promissora. Porém, a separação e recuperação do catalisador e a necessidade de radiação intensa ainda são desafios técnicos.

- **Fotocatálise Homogênea**

Diferente da versão heterogênea, a fotocatalise homogênea ocorre com catalisadores dissolvidos no meio reacional, como os complexos férricos formados no processo Foto-Fenton. A eficiência pode ser elevada, especialmente quando combinada com a luz solar, mas a regeneração do catalisador e o controle de subprodutos ainda são pontos de atenção.

- **Fotólise por UV-C e Luz Visível**

A fotólise simples é o processo em que a radiação UV-C (200–280 nm) ou luz visível de alta intensidade atua diretamente sobre os pesticidas, promovendo a quebra das ligações moleculares. É mais eficiente para pesticidas que absorvem diretamente essas faixas de radiação.

No entanto, segundo Zhang et al. (2017), sua aplicação isolada apresenta eficiência limitada, sendo normalmente associada a catalisadores ou reagentes oxidantes para amplificar os efeitos.

- **Ozonização**

A ozonização utiliza o ozônio ( $O_3$ ) como agente oxidante. Altamente reativo, o ozônio pode degradar diversos pesticidas em subprodutos mais simples ou totalmente mineralizados. Moreira et al. (2021) explicam que “o ozônio mostra-se muito eficiente na eliminação de pesticidas, mas a necessidade de produzi-lo no local e o seu tempo de vida curto restringem o seu uso em grande escala”.

Apesar da eficácia, limitações operacionais e o custo da geração de ozônio dificultam sua aplicação contínua, especialmente em sistemas rurais ou de pequeno porte.

Portanto, os métodos químicos, especialmente os POAs, apresentam alta eficiência na degradação de pesticidas, podendo materializá-los completamente. No entanto, seus custos operacionais, sensibilidade a parâmetros do meio e potencial de gerar subprodutos secundários exigem avaliação criteriosa para cada aplicação. A tendência atual é integrá-los a outras abordagens (físicas ou biológicas), buscando soluções mais sustentáveis, eficazes e economicamente viáveis no tratamento de águas contaminadas.

#### 4.1.3 Método Biológico

As abordagens biológicas, também chamadas de biorremediação, empregam seres vivos – sobretudo micro-organismos e plantas – para decompor ou alterar os pesticidas, convertendo-os em compostos menos prejudiciais. Tal técnica é vista como uma alternativa econômica e sustentável, mostrando-se eficiente em águas com níveis baixos de poluição.

Entre os principais elementos de biorremediação, notam-se bactérias, fungos e algas, que geram enzimas hábeis para desintegrar as moléculas dos pesticidas. Conforme Lima et al. (2019), “a biorremediação representa um recurso válido no tratamento de meios aquáticos contaminados, dada a sua capacidade de se ajustar às condições locais e à natureza dos poluentes ali existentes”.

Certos fungos, a exemplo do *Phanerochaete chrysosporium*, têm exibido grande potencial na degradação de pesticidas organoclorados, enquanto bactérias dos gêneros *Pseudomonas* e *Bacillus* conseguem degradar herbicidas como o 2,4-D e o

glifosato. Segundo Silva e Souza (2020), “os processos metabólicos desses micro-organismos viabilizam a conversão de pesticidas em substâncias menos nocivas, destacando-se a precisão e o rendimento do processo”.

Outro ponto importante é a fitorremediação, que utiliza plantas aquáticas como *Eichhornia crassipes* (aguapé) e *Lemna minor* (lentilha-d'água), que assimilam e reúnem pesticidas em seus tecidos. Souza et al. (2023) garantem que “o emprego de plantas na remoção de pesticidas oferece benefícios como o baixo custo, simplicidade e integração com o meio, além de fomentar a recuperação ecológica das áreas afetadas”.

As desvantagens da biorremediação incluem o tempo maior para que os resultados se concretizem, a precisão de condições ambientais favoráveis (como temperatura, pH e nutrientes), e a limitação em relação ao leque de pesticidas que podem ser metabolizados.

Não obstante, os avanços em engenharia genética e microbiologia têm aumentado a eficácia dessas técnicas, autorizando a seleção de cepas mais adequadas e eficientes. Essa evolução sugere um futuro promissor no uso de métodos biológicos como parte integrante de sistemas híbridos para o tratamento de águas contaminadas.

A análise dos métodos físicos, químicos e biológicos de remoção de pesticidas revela um campo diversificado e promissor, no qual distintas abordagens são aplicadas conforme as características do contaminante e do ambiente afetado. Cada método apresenta vantagens e limitações que devem ser consideradas na escolha da estratégia mais eficaz, levando em conta fatores como custo, eficiência, impacto ambiental e possibilidade de aplicação em larga escala.

Nesse contexto, os métodos químicos se destacam pela rapidez na degradação dos contaminantes, especialmente em situações onde há necessidade de uma resposta imediata, ainda que apresentem desafios relacionados à formação de subprodutos tóxicos e à necessidade de controle rigoroso das condições de operação. Já os métodos biológicos mostram-se atrativos por sua sustentabilidade e menor impacto ambiental, embora exijam condições específicas para a sobrevivência e

eficácia dos microrganismos utilizados, o que pode limitar sua aplicabilidade em determinados contextos.

Com o objetivo de facilitar a comparação entre as diferentes abordagens e auxiliar na compreensão de suas potencialidades e restrições, foram elaboradas tabelas que sistematizam as principais características de cada método. A **Tabela 1** apresenta os métodos químicos, descrevendo os processos envolvidos, suas vantagens operacionais e limitações técnicas. Em seguida, a **Tabela 2** resume os métodos biológicos, indicando os microrganismos e plantas empregados, bem como as condições necessárias para sua eficiência e os desafios enfrentados em sua aplicação prática.

**TABELA 1- Métodos químicos de remoção de pesticidas em ambientes aquáticos**

<b>Método Químico</b>	<b>Descrição</b>	<b>Vantagens</b>	<b>Limitações</b>
Oxidação Avançada (POAs)	Geração de radicais hidroxila ( $\bullet\text{OH}$ ) altamente reativos para degradar pesticidas.	Alta eficiência na quebra de moléculas complexas; não gera resíduos sólidos.	Alto custo operacional; requer controle preciso de pH e temperatura.
Cloração	Aplicação de hipoclorito ou cloro gasoso na água.	Técnica consolidada e de fácil aplicação.	Pode gerar subprodutos tóxicos como os trialometanos.
Ozônio (Ozonização)	Oxidação por ozônio ( $\text{O}_3$ ) como agente reativo.	Eficiente contra compostos persistentes; não deixa resíduos.	Custo elevado; ozônio é instável e deve ser gerado no local.
Fenton e Foto-Fenton	Uso de peróxido de hidrogênio com íons de ferro, com ou sem luz UV.	Alta taxa de degradação; aplicável a diversos pesticidas.	Exige controle de pH e descarte adequado dos íons metálicos residuais.

Fonte: Adaptado de Brito, Araújo e Martínez-Huitl (2015); Suassuna (2020); Santiago et al. (2024).

**TABELA 2- Métodos biológicos de remoção de pesticidas em ambientes aquáticos**

<b>Método Biológico</b>	<b>Agente Utilizado</b>	<b>Vantagens</b>	<b>Limitações</b>
Biorremediação	Bactérias, fungos ou algas	Sustentável; baixo custo; não gera subprodutos tóxicos.	Tempo de tratamento mais longo; depende de condições ambientais ideais.
Fitorremediação	Plantas aquáticas como aguapé e taboa	Estética natural; eficiente para grandes volumes de água; baixo custo.	Menor eficiência para pesticidas persistentes; sensível a variações climáticas.
Biofiltração	Microrganismos fixados em biofilmes	Processo contínuo; eficiente em sistemas de fluxo contínuo.	Formação de biofilmes pode ser instável; exige manutenção frequente.

Fonte: Adaptado de Silva e Ribeiro (2018); Almeida et al. (2022); Batista et al. (2023).

Essas informações contribuem para uma análise crítica das estratégias atualmente disponíveis, reforçando a importância de pesquisas que integrem diferentes tecnologias e promovam o desenvolvimento de soluções mais eficazes e sustentáveis para o tratamento de águas contaminadas por pesticidas.

#### 4.2 Avaliação da Eficiência e das Limitações dos Métodos de Remoção de Pesticidas em Ambientes Aquáticos.

A seleção do método ideal para o tratamento de águas contaminadas por pesticidas depende de uma análise criteriosa das características dos contaminantes, das condições ambientais e dos custos operacionais. Nesse sentido, os métodos

podem ser classificados em físicos, químicos e biológicos, cada um apresentando suas vantagens e limitações específicas.

Em síntese, a avaliação dos métodos físicos, químicos e biológicos revela que:

- **Métodos físicos:** São práticos e relativamente eficazes na remoção de pesticidas, mas podem necessitar de manutenção frequente e têm problemas com a saturação dos meios adsorventes ou entupimento de membranas.
- **Métodos químicos:** Proporcionam rápida degradação dos contaminantes e, frequentemente, alcançam alta eficiência. No entanto, dependem de condições operacionais rigorosas, têm custos elevados e podem gerar subprodutos tóxicos.
- **Métodos biológicos:** São sustentáveis e econômicos, com baixa geração de subprodutos indesejáveis, mas geralmente demandam condições ideais para a atividade microbiana e apresentam taxas de remoção mais lentas.

Essa avaliação permite uma melhor compreensão dos desafios e das oportunidades na implementação dos tratamentos de água contaminada por pesticidas, evidenciando a importância de soluções integradas e adaptadas ao contexto de cada ambiente.

#### 4.3 Contribuições das Tecnologias para a Proteção Ambiental e a Saúde Pública

A adoção de métodos tecnológicos para eliminar ou decompor pesticidas presentes na água é essencial para diminuir os danos ao meio ambiente e proteger a saúde das pessoas. A existência de pesticidas na água, mesmo que em pequenas quantidades, pode prejudicar animais e plantas aquáticas, causar problemas hormonais em seres vivos e trazer perigos para quem a consome. Desse modo, as técnicas de tratamento criadas não só aprimoram a qualidade da água, como também auxiliam de forma importante na conservação dos ecossistemas e na segurança da saúde.

- Proteção Ambiental

As tecnologias para eliminar pesticidas são importantes porque ajudam a diminuir a quantidade de poluição que chega aos rios e lagos. Um exemplo disso são os Processos Oxidativos Avançados (POAs), que conseguem transformar os pesticidas em substâncias menos perigosas, como gás carbônico, água e alguns sais. Isso diminui o risco de esses produtos se acumularem nos seres vivos e causarem danos, como explicam BRITO, ARAÚJO e MARTÍNEZ-HUITLE (2015). Essa mudança é muito importante para que as substâncias tóxicas não fiquem nos rios e lagos por muito tempo e para proteger os animais e plantas que vivem ali.

Outra forma de retirar os pesticidas é usar métodos físicos, como o carvão ativado, que “gruda” os pesticidas na água e impede que eles se espalhem pela cadeia alimentar. Como Neto et al. (2020) mostraram, “usar carvão ativado para limpar a água pode diminuir bastante a quantidade de pesticidas, ajudando a manter a água limpa”. Assim, usar esses métodos protege os animais aquáticos que poderiam ser prejudicados por causa dos agrotóxicos, ajudando a manter os lugares onde eles vivem em boas condições.

Para limpar a água de forma mais natural, podemos usar métodos biológicos, que usam pequenos seres vivos e plantas. A biorremediação, por exemplo, não cria outros produtos tóxicos e ajuda a recuperar os rios e lagos que foram poluídos. De acordo com Silva e Souza (2020), “existem vários tipos de microrganismos que podem quebrar os pesticidas, ajudando a diminuir os danos ao meio ambiente e a melhorar a qualidade da água”. Além disso, a fitorremediação usa plantas que conseguem absorver os pesticidas, ajudando a limpar a área aos poucos e oferecendo uma forma completa de resolver o problema, unindo a limpeza e a recuperação do meio ambiente.

- Proteção da Saúde Pública

Garantir que a água que bebemos esteja livre de pesticidas é crucial para a saúde pública. Beber água contaminada continuamente, ainda que com pouca contaminação, pode trazer sérios problemas de saúde a longo prazo, como alterações hormonais, problemas neurológicos e até aumentar o risco de alguns tipos de câncer.

Por isso, os processos químicos são importantes, pois quebram os pesticidas completamente, diminuindo o risco de contato com esses produtos. Brito, Araújo e

Martínez-Huitle (2015) destacam que “transformar os pesticidas em substâncias inofensivas por meio de processos de oxidação avançada não só elimina a poluição, como também reduz o risco de criar outras substâncias tóxicas, sendo uma ótima forma de proteger a saúde da população”.

Além disso, usar tecnologias que não prejudicam o meio ambiente, como os métodos biológicos, é uma solução acessível para comunidades com poucos recursos, que muitas vezes dependem de rios e lagos para ter água. Usar a natureza para limpar a água pode reduzir os gastos com o funcionamento e a manutenção dos sistemas de tratamento, além de diminuir os danos ao meio ambiente, melhorando a vida das pessoas que vivem nessas regiões.

Souza et al. (2023) afirmam que “usar plantas para limpar a água de pesticidas é uma forma barata e que se adapta bem a diferentes lugares, podendo ser usada tanto no campo quanto na cidade, mesmo em locais com problemas de infraestrutura”.

- Integração de Tecnologias e Perspectivas Futuras

A união de diversos métodos para eliminar pesticidas, juntando táticas físicas, químicas e biológicas, têm o potencial de ampliar as vantagens de cada um e resolver as dificuldades próprias de cada técnica. Modelos combinados, que utilizem, por exemplo, a fixação como etapa inicial seguida por processos de oxidação para decomposição, têm mostrado efeitos animadores, oferecendo uma limpeza mais profunda e reduzindo a criação de produtos secundários ruins (SANTOS et al., 2022). Essa junção se torna ainda mais importante ao levar em conta as necessidades de cuidado com o meio ambiente e a precisão de se adaptar a diferentes situações, tanto em áreas urbanas quanto rurais.

Em resumo, as tecnologias de retirada de pesticidas em meios aquáticos são uma ferramenta forte para a defesa do meio ambiente e o incentivo à saúde da população. Ao aprimorar a qualidade dos recursos de água e diminuir a exposição a substâncias perigosas, essas práticas ajudam na conservação dos ecossistemas e na diminuição dos perigos à saúde ligados ao uso de água contaminada. O avanço constante dessas tecnologias, junto com a implantação de sistemas de tratamento

completos, é essencial para satisfazer as necessidades de agora e do futuro, assegurando, assim, um ambiente mais sadio e sustentável para todos os povos.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Quando se iniciou essa pesquisa foi considerando a seriedade e a complexidade da contaminação por pesticidas, que representam grandes ameaças à saúde humana e aos ecossistemas aquáticos, ressalta-se a importância social e ambiental de pesquisas que busquem sua remoção eficiente. A presença de pesticidas na água está ligada não só a problemas ambientais, como a destruição da biodiversidade, mas também a questões de saúde pública, reforçando a necessidade de estudos que apoiem políticas públicas e melhorias no tratamento de água.

Portanto, foi feita realização deste estudo diante da urgência em se compreender melhor os métodos eficazes de tratamento de água contaminada por pesticidas, especialmente considerando os riscos ambientais e de saúde pública envolvidos. A permanência desses compostos nos recursos hídricos representa uma ameaça à biodiversidade, à segurança do abastecimento humano e ao equilíbrio dos ecossistemas aquáticos, reforçando a importância de pesquisas que contribuam com soluções sustentáveis e subsidiem melhorias nas políticas públicas ambientais.

Partindo desse ponto, esse trabalho teve como principal objetivo realizar uma revisão de literatura sobre os principais métodos de remoção e degradação de pesticidas em ambientes aquáticos, destacando suas vantagens, limitações e perspectivas futuras no contexto da proteção ambiental e da saúde pública. Sendo assim, constata-se que o objetivo geral foi devidamente atendido porque efetivamente o trabalho conseguiu apresentar uma revisão bibliográfica acerca do tema aqui detalhado.

O Objetivo inicial era Identificar os métodos físicos, químicos e biológicos utilizados para remover ou degradar pesticidas em água, ele foi devidamente atendido uma vez que foi apresentado os métodos que são utilizados na remoção de pesticidas em ambientes aquáticos.

O Segundo objetivo foi avaliar a eficiência e as limitações de cada método no contexto do tratamento de água contaminada, esse objetivo também foi devidamente atendido, tendo em vista, que foi apresentado a avaliação e as limitações de cada método no contexto das águas contaminadas pelos pesticidas.

Por fim, esse trabalho teve como último objetivo discutir as contribuições dessas tecnologias para a proteção ambiental e a saúde pública. Que também foi realizado, tendo em vista que no último capítulo da revisão bibliográfica foi apresentado contribuições que a remoção desses pesticidas dos ambientes aquáticos podem trazer para o nosso meio ambiente, mas principalmente para a saúde pública.

A pesquisa partiu da hipótese que a poluição das águas por agrotóxicos é um problema cada vez maior, colocando em risco tanto a qualidade da água que bebemos quanto a nossa saúde. Em áreas onde a agricultura é forte, o uso de pesticidas virou hábito, muitas vezes sem muita fiscalização, o que leva esses produtos a se espalharem pelas águas de rios e lagos, e também no subsolo.

O trabalho aplicou como metodologia uma pesquisa qualitativa de cunho bibliográfico sobre a remoção e degradação de pesticidas em ambientes aquáticos.

Durante a realização do trabalho de conclusão do curso foi possível se deparar com algumas limitações, como por exemplo a pouca variedade de materiais acerca da remoção de pesticidas em ambientes aquáticos.

## REFERÊNCIAS

- ARAGÃO, F. S. et al. Aplicação da troca iônica na remoção de contaminantes emergentes em águas residuais. *Revista Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 26, n. 3, p. 555–566, 2021.
- BRITO, W. A.; ARAÚJO, R. M.; MARTÍNEZ-HUITLE, C. A. Processos oxidativos avançados aplicados à degradação de pesticidas: uma abordagem atual. *Química Nova*, v. 38, n. 9, p. 1189–1197, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.5935/0100-4042.20150087> . Acesso em: 27 mar. 2025.
- CARVALHO, A. R.; SCHLITTLER, F. H. M.; TORNISIELO, V. L. Relações da atividade agropecuária com parâmetros físicos químicos da água. *Química Nova*, v. 23, n. 5, p. 618-622, 2000.
- RIBEIRO, M. L. et al. Pesticidas: usos e riscos para o meio ambiente. *Holos environment*, v. 8, n. 1, p. 53-71, 2008.
- LIMA, K. F. et al. Aplicação de microrganismos na biorremediação de ambientes aquáticos contaminados por agrotóxicos. *Revista de Ciências Ambientais*, v. 13, n. 2, p. 142-156, 2019.
- MOREIRA, C. G. et al. Ozonização como método de degradação de agrotóxicos em água: revisão. *Revista Brasileira de Engenharia Ambiental*, v. 28, n. 1, p. 88-101, 2021.
- NETO, A. A. et al. Adsorção em carvão ativado na remoção de contaminantes emergentes: uma revisão. *Revista Virtual de Química*, v. 12, n. 1, p. 148–168, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.21577/1984-6835.20200012>. Acesso em: 07 abr. 2025.
- QUEIROZ, E.I.D. Degradação de pesticidas presentes em água por processos de oxidação avançada. UFPB, João Pessoa, 2018.
- RITO, W. A.; ARAÚJO, R. M.; MARTÍNEZ-HUITLE, C. A. Processos oxidativos avançados aplicados à degradação de pesticidas: uma abordagem atual. *Química Nova*, v. 38, n. 9, p. 1189–1197, 2015.
- SANTOS, F. R. et al. Eficiência da reação de Fenton na degradação de herbicidas: uma revisão. *Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 27, n. 3, p. 497-504, 2022.
- SILVA, R. D.; SOUZA, A. L. Biorremediação de pesticidas: uma revisão sobre

microrganismos degradadores. *Revista Verde*, v. 15, n. 1, p. 245-260, 2020.

SILVA, Paulo R. F. De A e S.; FERNANDES, Edival P. Caminhos do projeto de Pesquisa ao TCC. Sirinhaém: Inovação, 2011.

SOUZA, M. A. et al. Fitorremediação de pesticidas utilizando plantas aquáticas. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais*, v. 60, p. 78-89, 2023.

ZHANG, Y. et al. Photocatalytic degradation of pesticides in aqueous solution using TiO<sub>2</sub>: A review. *Journal of Environmental Management*, v. 204, p. 793-805, 2017.

SOUZA, G. R.; SILVA, A. P. Eficiência da adsorção com carvão ativado na remoção de pesticidas em águas contaminadas. *Revista Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 24, n. 1, p. 43–50, 2019.

VAN DER BRUGGEN, B. et al. Removal of pesticides from surface water by nanofiltration: Modeling and experimental validation. *Separation and Purification Technology*, v. 63, p. 436–443, 2008.

ZHANG, Y. et al. Adsorptive removal of pesticides from water by activated carbon. *Environmental Research*, v. 184, 2020.