**EFICIÊNCIA DOS SISTEMAS DE TRATAMENTO DE ESGOTO NA REMOÇÃO DE PATÓGENOS PARA USO EM IRRIGAÇÃO AGRÍCOLA**

José Fernando Bandeira da Silva 1

Graduando em Geografia, Universidade Federal de Campina Grande, fernando99bandeira@gmail.com

Aleffy Gil Pereira da Silva 2

Graduando em Engenharia Civil, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, Cajazeiras- Paraíba, eng.aleffy@gmail.com

Maria Fernanda Bandeira da Silva 3

Graduanda em Enfermagem, Universidade Federal de Campina Grande, Cajazeiras- Paraíba, Fernanda2000bandeira@gmail.com

José Pereira Martins Filho 4

Graduando em Engenharia Civil, Instituto Federal da Paraíba - IFPB, Cajazeiras- Paraíba, josefilhosg1@gmail.com

Luiza Bezerra Pessoa de Souza 5

Graduanda em Engenharia Civil, Instituto Federal da Paraíba - IFPB, Cajazeiras- Paraíba, luizapessoa6@gmail.com

Pyetro Tharlley Faustino da Silva 6

/Graduando em Engenharia Civil, Instituto Federal da Paraíba - IFPB, Cajazeiras- Paraíba, tharlley.pyetro@gmail.com

Allysson Jordan de Souza 7

Graduando em Engenharia Civil, Instituto Federal de Educação da Paraíba - IFPB, Cajazeiras- Paraíba, allysson.jord@gmail.com

Cicero Henrique Prudêncio da Silva 8

Graduando em Licenciatura Plena em Geografia, Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Cajazeiras- Paraíba, cicerohenriquehps@gmail.com

**RESUMO:** A remoção de patógenos da água utilizada na irrigação agrícola é vital para assegurar a segurança alimentar e a saúde pública. Patógenos como bactérias, vírus e parasitas podem estar presentes na água agrícola e contaminar culturas, causando doenças em humanos e animais. Portanto, métodos eficazes de remoção desses agentes são essenciais para minimizar riscos. Para elaborar o artigo sobre a eficiência dos sistemas de tratamento de esgoto na remoção de patógenos, visando o uso na irrigação agrícola, foram adotados vários procedimentos. Primeiro, foi definida a questão central da pesquisa e os critérios de inclusão e exclusão. A pergunta principal foi: “Quais são os níveis de eficiência dos diferentes sistemas de tratamento de esgoto na remoção de patógenos para uso em irrigação agrícola?”. A seleção dos estudos foi realizada através de uma busca em bases de dados acadêmicas renomadas, incluindo PubMed, Scopus, Web of Science e Google Scholar. Os termos de busca combinavam palavras-chave como “tratamento de esgoto”, “remoção de patógenos”, “irrigação agrícola”, “eficiência”, e seus equivalentes em inglês (“wastewater treatment”, “pathogen removal”, “agricultural irrigation”, “efficiency”). A busca incluiu estudos publicados nos últimos cinco anos e considerou artigos em português e inglês. Os critérios de inclusão contemplaram estudos empíricos que avaliavam quantitativamente a eficiência de diferentes tecnologias de tratamento de esgoto na remoção de patógenos, especificamente para aplicações em irrigação agrícola. Conclui-se que a eficiência dos sistemas de tratamento de esgoto na remoção de patógenos é fundamental para a reutilização segura da água na irrigação agrícola. O estudo demonstra que, apesar das variações entre os métodos, a escolha de um sistema eficiente é crucial para garantir a segurança e a sustentabilidade na agricultura.

**Palavras-Chave:** Irrigação Agrícola, Purificação da Água, Remoção.

**E-mail do autor principal:**

**1. INTRODUÇÃO**

A remoção de patógenos da água destinada à irrigação agrícola é um tópico crucial para garantir a segurança alimentar e a proteção da saúde pública. Patógenos, como bactérias, vírus e parasitas, podem estar presentes na água utilizada na agricultura e podem contaminar culturas, causando doenças em seres humanos e animais. Métodos eficazes de remoção de patógenos são essenciais para minimizar esses riscos. (JESUS *et al.,* 2023)

As principais abordagens para a remoção de patógenos incluem o tratamento físico, químico e biológico da água. O tratamento físico geralmente envolve filtração, onde água passa por materiais como areia ou membranas, que retêm partículas patogênicas. A UV (radiação ultravioleta) é outra técnica física que desativa microrganismos por meio da destruição de seu material genético. (COSTA *et al.,* 2022)

O tratamento químico utiliza substâncias desinfetantes como cloro, ozônio e peróxido de hidrogênio. Estes agentes químicos matam ou inativam os patógenos presentes na água. Embora eficazes, esses métodos devem ser cuidadosamente controlados para evitar resíduos químicos que podem causar prejuízos às plantas e ao ambiente. (TORRE, 2022)

No tratamento biológico, processos naturais são utilizados para tratar água, como a biodegradação por certos tipos de bactérias benignas, que consomem e eliminam patógenos nocivos. Sistemas de lagoas de estabilização e wetlands construídos também são técnicas biológicas comuns, onde interações naturais entre plantas, solo e microrganismos tratam a água contaminada. (GIMENES, 2022)

A combinação de duas ou mais dessas técnicas, em um processo conhecido como "tratamento múltiplo de barreira", é frequentemente a abordagem mais eficaz para garantir a remoção completa de patógenos. Implementar essas técnicas, no entanto, requer consideração dos custos, da eficiência do processo e do impacto ambiental. (CAMINADA, 2021)

É crucial que produtores agrícolas tenham acesso a tecnologias de remoção de patógenos, particularmente em áreas onde a água de irrigação provém de fontes potencialmente contaminadas, como rios urbanos ou águas residuais tratadas. O monitoramento constante da qualidade da água e a adesão a regulamentos rigorosos são igualmente importantes para prevenir a contaminação e garantir a produção de alimentos seguros. (SALGADO, 2021)

A remoção eficaz de patógenos para uso em irrigação agrícola não só protege a saúde das pessoas e dos animais, mas também assegura a sustentabilidade e a produtividade das práticas agrícolas. Dessa forma, investimento em tecnologias de tratamento de água e na educação de agricultores é fundamental para enfrentar os desafios associados à irrigação segura e eficiente. (AL-JADABI *et al.,* 2023)

**2. METODOLOGIA**

Para a elaboração do referente artigo sobre a eficiência dos sistemas de tratamento de esgoto na remoção de patógenos para uso em irrigação agrícola, foram adotados os seguintes procedimentos:

Inicialmente, definiu-se a questão central da pesquisa e os critérios de inclusão e exclusão. A pergunta principal foi: “Quais são os níveis de eficiência dos diferentes sistemas de tratamento de esgoto na remoção de patógenos visando o uso em irrigação agrícola?”

Para a seleção dos estudos, realizou-se uma busca em bases de dados acadêmicas renomadas, incluindo PubMed, Scopus, Web of Science, e Google Scholar. Os termos de busca utilizados foram uma combinação de palavras-chave como: Irrigação Agrícola, Purificação da Água, Remoção.

A busca incluiu estudos publicados nos últimos 05 anos, garantindo a atualidade dos resultados. Foram considerados artigos escritos em português e inglês. Os critérios de inclusão englobaram estudos empíricos que avaliaram quantitativamente a eficiência de diferentes tecnologias de tratamento de esgoto na remoção de patógenos, especificamente para aplicações em irrigação agrícola.

Excluíram-se estudos de revisão, artigos sem acesso ao texto completo, e aqueles que não apresentavam dados quantitativos suficientes ou não focavam na irrigação agrícola. Após a aplicação dos critérios de inclusão e exclusão, iniciou-se o processo de seleção dos artigos, que consistiu em duas etapas: a leitura dos títulos e resumos, seguida pela leitura completa dos textos para confirmar a relevância.

Os artigos selecionados foram analisados quanto ao desenho do estudo, tipo de sistema de tratamento utilizado, metodologias de avaliação da eficiência, tipos de patógenos investigados, e resultados obtidos. Para a análise crítica, utilizou-se uma matriz de extração de dados, onde cada estudo foi detalhadamente descrito e classificado quanto à sua validade interna e externa.

Os dados extraídos permitiram uma comparação sistemática entre os estudos, identificando as tecnologias mais eficazes, as variações de eficiência e as possíveis limitações e desafios enfrentados. A análise qualitativa e quantitativa dos dados culminou na síntese dos resultados, oferecendo uma visão abrangente sobre a eficiência dos sistemas de tratamento de esgoto na remoção de patógenos e suas implicações para a irrigação agrícola.

Por fim, a revisão sistemática proporcionou insights importantes para pesquisadores, formuladores de políticas e profissionais da área de saneamento e agricultura, delineando recomendações para práticas mais seguras e eficientes no uso de efluentes tratados na irrigação agrícola.

**3. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

A eficiência dos sistemas de tratamento de esgoto na remoção de patógenos para uso em irrigação agrícola é um tema de extrema importância, especialmente em regiões onde a água é um recurso escasso. Esses sistemas têm a capacidade de transformar águas residuais em um recurso valioso para a agricultura, reduzindo a dependência de fontes de água potável e diminuindo a pressão sobre os recursos hídricos. (TORRE, 2022)

Os sistemas de tratamento de esgoto modernos geralmente são compostos por várias etapas, incluindo o tratamento primário, secundário e terciário. O tratamento primário envolve a remoção de sólidos grosseiros e materiais flutuantes através de processos físicos como a sedimentação. O tratamento secundário foca na decomposição biológica dos materiais orgânicos dissolvidos, utilizando microrganismos. Já o tratamento terciário é mais avançado e pode incluir processos como filtração, desinfecção e remoção de nutrientes. (CAMINADA, 2021)

A remoção de patógenos, como bactérias, vírus e protozoários, é essencial para garantir a segurança da água utilizada na irrigação agrícola. Esses microrganismos patogênicos podem causar doenças graves em humanos e animais, e sua presença na água de irrigação é uma preocupação significativa para a saúde pública. Processos como a cloração, ozonização e a exposição a raios ultravioleta (UV) são amplamente utilizados na etapa de desinfecção para eliminar ou reduzir a quantidade de patógenos a níveis seguros. (COSTA *et al.,* 2022)

O uso de lodo ativado, biofilmes e sistemas de lodos mistos são algumas das técnicas biológicas eficazes na remoção de patógenos. Além disso, a filtração por membranas e os sistemas de tratamento por zona de raízes têm mostrado resultados promissores em estudos recentes. É importante que esses sistemas sejam projetados e operados corretamente para maximizar a remoção de patógenos e atender às regulamentações de qualidade da água. (GIMENES, 2022)

A reutilização de águas residuais tratadas na agricultura não é apenas uma prática sustentável, mas também econômica. No entanto, a eficácia do tratamento depende da tecnologia utilizada, do nível de manutenção dos sistemas e do controle rigoroso dos parâmetros operacionais. Enquanto as tecnologias de tratamento têm avançado, a conscientização e a regulamentação também desempenham papéis cruciais para garantir que a água reutilizada seja segura. (RIBEIRO, 2021)

Em resumo, os sistemas de tratamento de esgoto são essenciais para a remoção eficiente de patógenos, permitindo o uso seguro dessa água na agricultura. A aplicação dessas tecnologias contribui para a sustentabilidade ambiental e a segurança alimentar, ao mesmo tempo em que protege a saúde pública. (CARVALHO, 2021)

**4. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Em conclusão, a eficiência dos sistemas de tratamento de esgoto na remoção de patógenos é de suma importância para a reutilização segura da água em irrigação agrícola. Este estudo evidencia que, embora existam variações significativas entre os diferentes métodos de tratamento, sistemas avançados como filtração por membranas, ozonização e tratamento UV demonstram alta eficácia na eliminação de patógenos. No entanto, é imperativo considerar que a escolha do sistema mais adequado deve levar em conta fatores como custo, capacidade operacional e características específicas dos esgotos.

A implementação de tratamentos eficientes não só promove a saúde pública, prevenindo doenças transmitidas por patógenos, mas também contribui para a sustentabilidade hídrica. A reutilização de águas residuais tratadas pode reduzir a pressão sobre os recursos hídricos naturais, especialmente em regiões onde a escassez de água é um desafio constante.

Nesse contexto, recomenda-se que políticas públicas e regulamentações sejam reforçadas para garantir padrões de qualidade da água reciclada, aliadas a um monitoramento constante. Além disso, é fundamental fomentar a pesquisa e o desenvolvimento de tecnologias de tratamento mais acessíveis e eficientes, promovendo assim uma prática agrícola sustentável e segura.

Portanto, os esforços contínuos em melhorar a eficiência dos sistemas de tratamento de esgoto e na promoção de práticas agrícolas seguras são cruciais para alcançar uma gestão hídrica sustentável e proteger a saúde das comunidades rurais e urbanas.

**REFERÊNCIAS**

AL-JADABI, Naif et al. O desempenho duplo das sementes de Moringa oleifera como coagulante natural ecologicamente correto e como antimicrobiano para tratamento de águas residuais: uma revisão. Sustainability , v. 15, n. 5, p. 4280, 2023.

CAMINADA, Suzete Maria Lenzi. Avaliação da presença de fármacos em biossólido compostado proveniente de Estação de Tratamento de Esgotos. 2021. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

CARVALHO, Fabio Pereira de. Uso de membranas como alternativa para remoção de fármacos em efluentes de estações de tratamento de esgotos. 2021. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

COSTA, Hudson Pimentel et al. Produção e uso de filtros de água com carvão ativado derivado de matérias sustentáveis. Journal of Health & Biological Sciences, v. 10, n. 1, p. 1-7, 2022.

GIMENES, Maíra. Educação ambiental como instrumento da gestão do saneamento em aglomerados subnormais. 2022. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

HILINSKI, Ellen Gameiro et al. Cálculo da incerteza de medição associada à contagem bacteriana heterotrófica em matriz de água purificada usando a técnica de detecção de fluorescência. 2020.

JESUS, Francisca Oliveira de et al. Eficácia das medidas domiciliares de desinfecção da água para consumo humano: enfoque para o contexto de Santarém, Pará, Brasil. Cadernos de Saúde Pública , v. 39, p. e00205322, 2023.

RIBEIRO, Ivana Alves da Cunha. Tecnologia de nanobolhas no controle de odor de águas superficiais poluídas. 2021. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

SALGADO, Marcio. Conflitos e perspectivas socioambientais na gestão de córregos urbanos: caso curso d\'água Tenente Rocha. 2021. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

TORRE, Guilherme Carnio Della. Influência do pH na formação de subprodutos orgânicos halogenados na oxidação com cloro da água superficial para consumo humano do rio Pardo, RP, Brasil. 2022. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.