

Flávia Noronha Dutra Ribeiro  
Tania Pereira Christopoulos  
Paulo Santos de Almeida  
André Felipe Simões  
Renata Colombo  
(org.)

**SUSTENTABILIDADE**  
CRÍTICAS E DESAFIOS DAS AGENDAS AMBIENTAIS

*Appris*  
editora

Curitiba, PR  
2025

Editora Appris Ltda.

1ª Edição - Copyright© 2025 dos autores

Direitos de Edição Reservados à Editora Appris Ltda.

Nenhuma parte desta obra poderá ser utilizada indevidamente, sem estar de acordo com a Lei nº 9.610/98. Se incorreções forem encontradas, serão de exclusiva responsabilidade de seus organizadores. Foi realizado o Depósito Legal na Fundação Biblioteca Nacional, de acordo com as Leis nºs 10.994, de 14/12/2004, e 12.192, de 14/01/2010.

Catálogo na Fonte

Elaborado por: Josefina A. S. Guedes

Bibliotecária CRB 9/870

S964s  
2025

Sustentabilidade: críticas e desafios das agendas ambientais / Flávia Noronha Dutra Ribeiro, Tania Pereira Christopoulos, Paulo Santos de Almeida, André Felipe Simões, Renata Colombo (orgs.). – 1. ed. – Curitiba: Appris, 2025.  
437 p. ; 23 cm. – (Sustentabilidade, impacto e gestão ambiental).

Inclui referências.

ISBN 978-65-250-7230-2

1. Sustentabilidade. 2. Gestão ambiental. 3. Ciência. 4. Tecnologia ambiental. I. Ribeiro, Flávia Noronha Dutra. II. Christopoulos, Tania Pereira III. Almeida, Paulo Santos de IV. Simões, André Felipe. V. Colombo, Renata. VI. Título. VII. Série.

CDD – 363.7

Livro de acordo com a normalização técnica da ABNT

*Appris*  
editorial

Editora e Livraria Appris Ltda.  
Av. Manoel Ribas, 2265 – Mercês  
Curitiba/PR – CEP: 80810-002  
Tel. (41) 3156 - 4731  
[www.editoraappris.com.br](http://www.editoraappris.com.br)

Printed in Brazil  
Impresso no Brasil

---

## FICHA TÉCNICA

EDITORIAL	Augusto Coelho Sara C. de Andrade Coelho
COMITÊ EDITORIAL	Ana El Achkar (Universo/RJ) Andréa Barbosa Gouveia (UFPR) Antonio Evangelista de Souza Netto (PUC-SP) Belinda Cunha (UFPB) Délton Winter de Carvalho (FMP) Edson da Silva (UFVJM) Eliete Correia dos Santos (UEPB) Erineu Foerste (Ufes) Fabiano Santos (UERJ-IESP) Francinete Fernandes de Sousa (UEPB) Francisco Carlos Duarte (PUCPR) Francisco de Assis (Fiam-Faam-SP-Brasil) Gláucia Figueiredo (UNIPAMPA/ UDELAR) Jacques de Lima Ferreira (UNOESC) Jean Carlos Gonçalves (UFPR) José Wálter Nunes (UnB) Junia de Vilhena (PUC-RIO)
	Lucas Mesquita (UNILA) Márcia Gonçalves (Unitau) Maria Aparecida Barbosa (USP) Maria Margarida de Andrade (Umack) Marilda A. Behrens (PUCPR) Márcia Andrade Torales Campos (UFPR) Marli Caetano Patrícia L. Torres (PUCPR) Paula Costa Mosca Macedo (UNIFESP) Ramon Blanco (UNILA) Roberta Ecleide Kelly (NEPE) Roque Ismael da Costa Gülüch (UFFS) Sergio Gomes (UFRJ) Tiago Gagliano Pinto Alberto (PUCPR) Toni Reis (UP) Valdomiro de Oliveira (UFPR)
SUPERVISORA EDITORIAL	Renata C. Lopes
REVISÃO	Débora Sauaf
DIAGRAMAÇÃO	Jhonny Alves dos Reis
CAPA	Carlos Pereira
REVISÃO DE PROVA	William Rodrigues

## COMITÊ CIENTÍFICO DA COLEÇÃO SUSTENTABILIDADE, IMPACTO, DIREITO E GESTÃO AMBIENTAL

### DIREÇÃO CIENTÍFICA Belinda Cunha

CONSULTORES	Dr. José Renato Martins (Unimep)	Maria Cristina Basílio Crispim da Silva (UFPB)
	Dr. José Carlos de Oliveira (Unesp)	Iranice Gonçalves (Unipê)
	Fernando Joaquim Ferreira Maia (UFRPE)	Elisabete Maniglia (Unesp)
	Sérgio Augustin (UCS)	Prof. Dr. José Fernando Vidal de Souza (Uninove)
	Prof. Dr. Jorge Luís Mialhe (Unesp-Unimep)	Hertha Urquiza (UFPB)
	José Farias de Souza Filho (UFPB)	Talden Farias (UFPB)
	Zysman Neiman (Unifesp)	Caio César Torres Cavalcanti (FDUC)

INTERNACIONAIS	Edgardo Torres (Universidad Garcilaso de la Veja) Ana Maria Antão Gerales (Centro de Investigação de Montanha (CIMO), Instituto Politécnico de Bragança) Maria Amélia Martins (Centro de Biologia Ambiental Universidade de Lisboa) Dionisio Fernández de Gatta Sánchez (Facultad de Derecho. Universidad de Salamanca) Alberto Lucarelli (Università degli Studi di Napoli Federico II) Luiz Oosterbeek (Instituto Politécnico de Tomar)
----------------	--

# SEGURANÇA HÍDRICA E SUSTENTABILIDADE AGRÍCOLA: POTENCIAL DO REUSO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS NO BRASIL - UMA REVISÃO SISTEMÁTICA

*Erick Mauricio Corimanya Yucra*

*Marcelo Antunes Nolasco*

### 9.1 Introdução

O uso global de água aumentou aproximadamente 1% ao ano nas últimas quatro décadas, e a expectativa é de que essa taxa de crescimento se mantenha até 2050, impulsionada pelo crescimento populacional, desenvolvimento socioeconômico e mudanças nos padrões de consumo (FAO; UN Water, 2021). Atualmente, cerca de 10% da população mundial vive hoje em países com níveis altos ou críticos de estresse hídrico (UN Water - UNESCO, 2023).

Em termos globais, a agricultura é o maior consumidor de água doce, representando cerca de 70% do consumo total, sendo que essa proporção é ainda maior em países em desenvolvimento (Lima *et al.*, 2021; Viana *et al.*, 2022; Voltolini; Bastos; Souza, 2022). No caso do Brasil, 52% da água extraída destina-se à agricultura (ANA, 2019). Apesar de possuir aproximadamente 12% dos recursos hídricos globais, o Brasil apresenta disparidades regionais significativas: enquanto a bacia amazônica concentra 80% dos recursos, o semiárido nordestino enfrenta escassez crônica (Brasil, 2018). Essa desigualdade sugere que o reuso de águas residuárias pode desempenhar um papel importante na mitigação dessas diferenças regionais e contribuir para o desenvolvimento sustentável do país (Klierman *et al.*, 2023).

Observa-se na literatura científica atual um predomínio de estudos que abordam esses desafios de forma isolada, sem explorar como as barreiras podem se entrelaçar e amplificar mutuamente. Em particular,

as lacunas na regulamentação do reuso de águas urbanas não potáveis se refletem em abordagens heterogêneas e restritivas, as quais são exacerbadas pela ausência de um quadro regulatório unificado em nível nacional (Santos; Carvalho; Martins, 2023). Ao mesmo tempo, aspectos culturais e percepções públicas em torno do reuso de águas residuárias diferem entre regiões, o que gera desafios adicionais para uma implementação uniforme e eficaz (Fico *et al.*, 2022). Esses fatores evidenciam uma lacuna importante na literatura: a necessidade de uma análise integradora que considere os efeitos combinados de barreiras institucionais, econômicas, tecnológicas e sociais.

Embora o reuso de águas residuárias tratadas seja promissor, existem desafios que precisam ser compreendidos e superados. Este capítulo, portanto, tem como objetivo analisar as principais barreiras e oportunidades relacionadas ao reaproveitamento de águas residuárias na irrigação agrícola no Brasil, considerando os diversos fatores que influenciam sua implementação e expansão.

Serão examinados, entre outros aspectos, os ambientais, tais como os riscos de salinização do solo, contaminação por microrganismos patogênicos e poluentes emergentes, além da ameaça à saúde humana e ambiental decorrente do tratamento inadequado das águas residuárias. Adicionalmente, serão discutidos os desafios relacionados à governança, infraestrutura, financiamento e aceitação pública, com ênfase na importância da comunicação e educação ambiental para o sucesso dessa prática.

Com base nessa análise abrangente, espera-se contribuir para a formulação de políticas públicas eficazes, o desenvolvimento de tecnologias adequadas e a promoção de práticas agrícolas mais sustentáveis no Brasil.

## 9.2 Metodologia

Esta revisão bibliográfica utilizou uma abordagem sistemática para identificar e analisar estudos relacionados às barreiras para o reuso de água na irrigação agrícola, com foco no contexto brasileiro. A pesquisa foi realizada em bases de dados científicas, incluindo Web of Science, Scopus e SciELO, complementada por buscas no Google Scholar, abrangendo o período de 2014 a 2024.

Os termos de busca utilizados foram: “reuso de água”, “irrigação agrícola”, “barreiras”, “Brasil”, “desafios”, “legislação”, “infraestrutura”,

“tecnologia”, “financeiro” e “social”. Para garantir a relevância dos estudos, foram aplicados critérios de inclusão que exigiam que os trabalhos fossem publicados em português ou inglês nos últimos 10 anos e abordassem as barreiras para o reuso de efluentes na agricultura, com atenção especial ao Brasil.

Inicialmente, foram identificados 84 estudos. A seleção foi realizada em três etapas: (1) leitura dos títulos e resumos para excluir estudos irrelevantes, (2) leitura completa dos artigos selecionados, e (3) aplicação dos critérios de inclusão para confirmar a pertinência dos estudos. Após essa triagem, 36 estudos foram incluídos na análise final.

A análise dos estudos selecionados foi conduzida com o auxílio do software Rayyan, que facilitou a organização e a categorização dos temas. Cada estudo foi categorizado em uma ou mais das seguintes barreiras: ambientais, de governança, de infraestrutura, financeiras e sociais. Essa categorização permitiu uma síntese dos principais desafios identificados na literatura e facilitou a comparação entre as diferentes abordagens.

### 9.3 Resultados

#### Barreiras Ambientais

Pesquisas sobre o reuso de águas residuárias na agricultura apontam diversos impactos ambientais, como, por exemplo, a influência na qualidade e fertilidade do solo, a contaminação de aquíferos subterrâneos, riscos à saúde humana e a presença de contaminantes emergentes. A seguir, esses efeitos são detalhados para ilustrar os desafios de uma implementação segura.

O uso de águas residuárias na irrigação pode introduzir no solo contaminantes, incluindo sais, sódio e metais pesados, que impactam diretamente sua estrutura e fertilidade. Por exemplo, no estudo de Barbosa *et al.* (2021), observou-se que a irrigação com efluente sem diluição (100% de água residuária) resultou em uma aplicação acumulada de sódio de 3.552 kg/ha, ao longo de quatro anos. Esse acúmulo aumentou o risco de sodificação do solo; no entanto, devido à baixa Relação de Adsorção de Sódio (RAS) do efluente, os níveis críticos de salinização não foram alcançados. Em contraste, Santos *et al.* (2017) identificaram um aumento linear de sódio até 795 kg/ha em Minas Gerais, acumulando-se em até

0,8 m de profundidade, o que causou variação no pH e deslocamento de cálcio, gerando desequilíbrios nutricionais no solo. Esses dados, portanto, reforçam a importância de monitorar continuamente o solo quando se usa águas residuárias, uma vez que o acúmulo de sódio pode comprometer sua qualidade e a produtividade agrícola.

Além disso, a infiltração de efluentes agrícolas também pode afetar a qualidade dos aquíferos, representando um risco tanto para a sustentabilidade ambiental quanto para a saúde pública. Por exemplo, Santos *et al.* (2024), em uma área rural do nordeste do Brasil, observaram que a sazonalidade influencia significativamente a concentração de contaminantes na água subterrânea. Níveis de nitrato, como evidenciado em seu estudo, variaram de 245,86 mg/L durante o período sem chuvas para 123,85 mg/L no período chuvoso e atingiram 2.027,58 mg/L no período seco, evidenciando o acúmulo de contaminantes durante a estação seca. De modo similar, Cabral, Righetto e Queiroz (2009) relataram que, em áreas de alta densidade populacional em Natal, RN, a infiltração de nitratos de águas residuais elevou os níveis de nitrato nas águas subterrâneas a até 21,5 mg/L, superando o limite de potabilidade de 10 mg/L estabelecido pelo Ministério da Saúde. Esses resultados indicam que o reuso de águas residuárias na agricultura pode intensificar a contaminação de aquíferos subterrâneos, especialmente em áreas com baixa recarga hídrica.

O reuso de águas residuárias na agricultura apresenta também desafios à saúde pública devido à presença de microrganismos patogênicos. De acordo com estudos recentes, o contato com efluentes tratados inadequadamente pode expor trabalhadores e consumidores a patógenos, como *Escherichia coli* e *Salmonella*, além de vírus e parasitas. Em relação ao Brasil, Handam *et al.* (2022) identificaram a presença de coliformes fecais em águas de reuso mesmo após tratamento, apresentando risco de contaminação para culturas irrigadas. Outro estudo de Marangon *et al.* (2020) mostrou que patógenos persistem na água de reuso em níveis que poderiam resultar em doenças gastrointestinais e respiratórias quando usados para irrigação, especialmente em regiões onde o controle da qualidade do tratamento é limitado.

Finalmente, a presença de contaminantes emergentes, como fármacos e pesticidas, nas águas residuárias também representa um desafio para o reuso seguro. Por exemplo, no Rio Grande do Sul, Pivetta

e Gastaldini (2019) detectaram concentrações médias de ibuprofeno de 1,26 µg/L e paracetamol de até 3,0 µg/L em corpos d'água urbanos, sugerindo que o uso agrícola de efluentes sem tratamento avançado pode transferir esses compostos ao solo. De forma semelhante, Stefano *et al.* (2021) identificaram que o diclofenaco apresenta alta mobilidade em sedimentos quaternários, com fator de mobilidade de 1 e índice de lixiviação GUS (Groundwater Ubiquity Score) de 8,06, indicando um risco elevado de contaminação das águas subterrâneas. Além disso, Ferreira (2022) destacou que, embora processos oxidativos avançados removam até 95% de compostos como cafeína e propranolol, a formação de subprodutos potencialmente tóxicos limita a segurança do reuso agrícola dessa água tratada.

Em síntese, o reuso de águas residuárias na agricultura, embora benéfico para a segurança hídrica, requer tecnologias de tratamento avançadas e estratégias rigorosas de monitoramento. Barreiras ambientais, como salinização, contaminação de aquíferos, riscos microbiológicos e presença de contaminantes emergentes, destacam a necessidade de políticas e práticas sustentáveis para garantir que o reuso contribua positivamente para a sustentabilidade hídrica sem comprometer a qualidade do solo, a saúde pública e o meio ambiente.

## **Barreiras de Governança**

- **Atores Chave e Complexidade Institucional**

Antes de analisar a evolução das leis e políticas de gestão de águas residuárias, é útil apresentar os arranjos institucionais governamentais nessa área no Brasil, detalhados na Tabela 1.

Tabela 1 – Estrutura institucional dos atores-chave na governança do setor de saneamento no Brasil

Nível	Entidade	Resumo da Função
<b>Federal</b>	Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima (MMA)	Fórmula políticas ambientais e define padrões de qualidade da água para reuso.
	Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional (MIDR)	Fórmula políticas nacionais e regula o saneamento básico.
	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA)	Regula e monitora serviços de saneamento e gestão de recursos hídricos.
	Ministério da Saúde (MS)	Define normas para a qualidade da água potável e coordena vigilância em saúde ambiental.
	Fundação Nacional de Saúde (FUNASA)	Executa ações de saneamento em comunidades rurais e presta apoio técnico e financeiro.
	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES)	Financia projetos de infraestrutura de saneamento básico.
	Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH)	Delibera sobre políticas de recursos hídricos e saneamento.
	Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH)	Administra os usos da água de maneira inclusiva e participativa.
<b>Estadual</b>	Companhias Estaduais de Saneamento	Prestam serviços de abastecimento de água e tratamento de esgoto.
	Agências Reguladoras Estaduais	Fiscalizam e regulam as atividades das companhias de saneamento.
	Companhias Privadas de Saneamento	Prestam serviços de saneamento sob concessão.
	Secretarias Estaduais de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (SEMA)	Regulam o uso sustentável da água e emitem licenças ambientais.
	Conselhos Estaduais de Saneamento	Deliberam sobre políticas de saneamento em nível estadual.
	Comitês de Bacias Hidrográficas	Gerenciam recursos hídricos de bacias específicas.

Nível	Entidade	Resumo da Função
<b>Municipal</b>	Prefeituras e Secretarias Municipais de Saneamento	Prestam diretamente serviços de saneamento e elaboram planos municipais de saneamento.
	Conselhos Municipais de Saneamento	Deliberam sobre políticas de saneamento em nível municipal.
<b>Outros</b>	Organizações Não Governamentais (ONGs)	Promovem práticas sustentáveis de saneamento e desenvolvem projetos comunitários.
	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE)	Realiza censos e pesquisas sobre cobertura e qualidade dos serviços de saneamento.
	Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES)	Promove desenvolvimento técnico e científico no setor de saneamento.

Fonte: elaborada pelos autores com base em: (Brasil, 2020b; MDR, 2021)

A Tabela 1 organiza as principais entidades de gestão de saneamento e águas residuárias no Brasil, divididas em níveis federal, estadual, municipal e outros setores. No âmbito federal, destacam-se a formulação de políticas, regulamentação e financiamento, liderados por órgãos como o MMA e a ANA. Em seguida, em nível estadual, as companhias e agências regulam e prestam diretamente serviços de saneamento. Já no nível municipal, prefeituras e conselhos locais implementam e planejam o saneamento conforme as demandas locais. Além disso, ONGs, IBGE e ABES promovem práticas sustentáveis e fornecem dados e conhecimento técnico, o que reforça a necessidade de coordenação entre instituições para uma gestão eficaz dos recursos hídricos.

No entanto, a governança do reuso de água no Brasil enfrenta desafios devido à complexidade institucional e à ausência de uma legislação nacional unificada. Como a competência legislativa é dividida entre União, estados e municípios, isso pode gerar conflitos e sobreposição de normas, dificultando a coordenação de políticas públicas e resultando em padrões variados de qualidade da água de reuso (Moura *et al.*, 2020), o que impacta a definição de responsabilidades e a implementação de projetos em larga escala.

- **Ausência de Legislação Nacional**

As normas brasileiras, como a Lei das Águas (Lei nº 9.433/1997), a Lei Nacional de Saneamento Básico (Lei nº 11.445/2007) e a Resolução CNRH nº 54/2005, estabelecem diretrizes gerais para a gestão e uso sustentável dos recursos hídricos, além de prever princípios para o saneamento básico (Brasil, 2007). A Lei das Águas, por exemplo, define o enquadramento dos corpos d'água segundo sua qualidade e usos preponderantes, enquanto a Lei Nacional de Saneamento Básico assegura o direito ao saneamento como serviço essencial, estabelecendo diretrizes para a gestão dos resíduos e esgotos urbanos. Já a Resolução CNRH nº 54/2005 dispõe sobre os requisitos de qualidade para o reuso não potável de água, especialmente em usos industriais. No entanto, nenhuma dessas normas aborda especificamente os parâmetros de qualidade necessários para o reuso de águas residuais urbanas na agricultura.

A lacuna legislativa nacional contrasta com avanços em alguns estados, evidenciando a heterogeneidade regulatória. Enquanto alguns Estados, como São Paulo e Ceará, estabelecem critérios detalhados para o tratamento de águas residuárias destinadas à irrigação, como por exemplo limites para coliformes termotolerantes e demanda bioquímica de oxigênio, outros Estados ainda carecem de regulamentação específica. Essa ausência gera incertezas jurídicas, dificulta o planejamento e desincentiva investimentos no setor, impactando a expansão do reuso de água na agricultura (Moura *et al.*, 2020).

## **Barreiras de Infraestrutura**

A infraestrutura insuficiente de coleta e tratamento de esgoto no Brasil representa uma barreira significativa para o reuso de águas residuárias na agricultura. Atualmente, apenas 62,5% da população tem acesso à rede de coleta de esgoto, e somente 52,2% dos esgotos coletados recebem tratamento (Brasil, 2018, 2024). Essa cobertura limitada, especialmente nas regiões Norte e Nordeste, restringe a disponibilidade de água tratada adequada para uso agrícola, impactando diretamente a segurança hídrica e a sustentabilidade do setor.

A eficiência e a distribuição das Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs) também influenciam a capacidade de reuso. Das 3.668 ETEs registradas no país, 3.419 estão operacionais (Tabela 2). Apesar de ser um

número relativamente alto, a predominância de tecnologias de baixo custo, como lagoas de estabilização e reatores anaeróbios, dificulta a remoção de contaminantes complexos, especialmente os emergentes (Brasil, 2020; De Jesus *et al.*, 2020). Embora essas tecnologias sejam acessíveis, elas não garantem a qualidade da água necessária para o reuso seguro na agricultura. Dessa forma, destaca-se a necessidade de investimentos em tecnologias avançadas, como a filtração por membranas e a osmose reversa, capazes de atender a padrões mais rigorosos de qualidade.

Tabela 2 – Status das estações de tratamento de esgotos no Brasil (ETEs)

Situação da ETE	Número de ETEs
Ativa	3.419
Problemas operacionais (alagamento, salinização etc.) e de manutenção (aeradores, bombas etc.)	11
Em construção/ampliação	60
Projeto/prevista/planejada	10
Inativa/abandonada/desativada	90
Inativa/abandonada/desativada - sem informações	8
Não localizadas - sem informações	70
Total	3.668

Fonte: adaptado de Brasil (2020)

Desafios operacionais, como a falta de mão de obra qualificada e problemas de manutenção, também afetam a eficiência das ETEs. Questões como a formação de incrustações nas membranas de ultrafiltração comprometem o desempenho, exigindo ajustes constantes nos processos e manutenção cuidadosa para assegurar a continuidade do serviço (Yang *et al.*, 2021). A gestão adequada dos resíduos, como lodos, é igualmente essencial para atender às regulamentações ambientais e minimizar o impacto ambiental, garantindo assim um tratamento eficaz e sustentável.

### **Barreiras Econômicas e Financeiras**

Estudos apontam que os altos custos de infraestrutura e a ausência de financiamento adequado representam barreiras significativas ao reuso

de águas residuárias no Brasil, especialmente para pequenos agricultores. Sem subsídios ou incentivos econômicos específicos, a implementação de sistemas de tratamento torna-se limitada, reduzindo a viabilidade econômica de práticas de reuso na agricultura (Morris *et al.*, 2021; Silva *et al.*, 2023). Adicionalmente, em países de renda baixa e média, os desafios financeiros são intensificados pelo alto custo de instalação e pela restrição ao acesso a tecnologias de reuso, dificultando a transição para uma economia circular (Nyambiya *et al.*, 2024).

Nesse contexto, alguns estudos sugerem que o uso de economias de escala e parcerias público-privadas pode viabilizar o reuso de água em regiões com restrições financeiras, como demonstrado em Portugal e Itália (Amaral; Martins; Dias, 2023). Porém, no Brasil, a ausência de incentivos financeiros, como subsídios e políticas de precificação adequadas, ainda impede a expansão do reuso. Mecanismos de crédito e benefícios fiscais poderiam facilitar a adoção dessas práticas, além de reduzir os custos iniciais e promover a sustentabilidade no setor agrícola (Cagno *et al.*, 2022; Mankad; Tapsuwan, 2011; Ventura *et al.*, 2019).

Por outro lado, experiências internacionais mostram o impacto positivo de subsídios e incentivos fiscais no estímulo ao reuso em setores agrícolas e industriais, como em Portugal e Espanha (Hettiarachchi; Ardakianian, 2018). Contudo, no Brasil, a estrutura de precificação desconsidera o reuso de água, limitando o desenvolvimento de mecanismos financeiros sustentáveis (Fagundes; Marques, 2023). Mesmo que o clima brasileiro favoreça o uso de processos de tratamento biológicos, que potencialmente reduzem custos, o acesso restrito ao crédito continua a ser um obstáculo para pequenos agricultores, uma parcela essencial do setor agrícola nacional (Mota, 2022; Wichelns; Drechsel; Qadir, 2015).

Além disso, a estrutura tarifária imposta pelo setor regulatório frequentemente impede o financiamento de projetos de reuso. A exigência de que a tarifa de esgoto não ultrapasse a tarifa de água gera um período de recuperação de investimento em saneamento duas vezes maior que o necessário para a rede de água, o que desencoraja investidores (Stepping, 2016). Ainda mais, a falta de regulamentação e políticas tarifárias que reflitam os custos reais e benefícios ambientais do reuso desincentiva a adoção dessa prática. Sem políticas que internalizem os custos ambientais, agricultores tendem a preferir fontes de água convencionais, aumentando ainda mais a pressão sobre os recursos hídricos.

## Barreiras Sociais

A percepção pública negativa em relação ao reuso de efluentes tratados na agricultura, conhecida como o “fator nojo”, constitui uma barreira significativa, associada ao estigma do esgoto e à falta de conhecimento sobre os processos de tratamento, o que dificulta a aceitação dessa prática, mesmo que sua segurança tenha sido comprovada (Gul *et al.*, 2021; Hashem; Qi, 2021). Além disso, preocupações com a contaminação dos alimentos e a complexidade dos processos agravam essa percepção, reforçando preconceitos e resistência (Lima *et al.*, 2022). Por outro lado, a falta de conhecimento técnico e conscientização entre agricultores, consumidores e o público em geral impede que decisões informadas sejam tomadas, especialmente em regiões onde prevalece a falsa percepção de abundância hídrica (Hashem; Qi, 2021; Kligerman *et al.*, 2023; Morris *et al.*, 2021). De acordo com Machado *et al.* (2017), a capacitação e o fornecimento de informações claras sobre a qualidade dos efluentes tratados poderiam desempenhar um papel crucial na construção de confiança.

Adicionalmente, a desconfiança nas instituições também afeta a aceitação do reuso de água. No caso do Brasil, a falta de investimento em saneamento e a percepção de corrupção agravam a desconfiança pública, de modo que a transparência limitada e a exclusão das comunidades locais dos processos decisórios perpetuam desigualdades e conflitos (Jones *et al.*, 2021). Nesse contexto, Georgiou *et al.* (2023), observam que a percepção de risco sanitário e as preocupações com a segurança da água reciclada influenciam negativamente a aceitação pública, sugerindo que campanhas educativas focadas nos benefícios e na segurança do reuso, especialmente para culturas não alimentícias, poderiam melhorar essa percepção. Faria e Naval, (2022) concordam, enfatizando que uma comunicação transparente e baseada em evidências pode facilitar a aceitação, embora recomendem mais estudos sobre estratégias eficazes de conscientização.

Por outro lado, a percepção de abundância hídrica no Brasil leva muitos a acreditarem que o reuso de águas residuárias é desnecessário, o que também dificulta a aceitação dessa prática. De fato, Santos, Carvalho e Martins (2023) e Viana *et al.* (2022) demonstram que essa crença, junto com o desconhecimento sobre a escassez hídrica e os impactos das mudanças climáticas, contribui para uma gestão ineficiente dos recursos e reforça a ideia de que os potenciais benefícios do reuso não justificariam

um risco sanitário para a população. Nesse sentido, Stathatou *et al.* (2017) e Vidotti *et al.* (2024) sugerem que campanhas de educação ambiental e a participação ativa de stakeholders podem ajudar a conscientizar a população sobre os desafios da disponibilidade de água e os benefícios seguros do reuso, promovendo uma visão mais informada e sustentável dessa prática.

Finalmente, a falta de transparência e a percepção de incompetência técnica nas instituições governamentais agravam a resistência pública. De acordo com Alberti *et al.* (2022) sugerem que uma comunicação científica eficaz poderia mitigar a resistência, enquanto Machado *et al.* (2017) destacam que a ausência de diálogo entre governo, empresas de saneamento, agricultores e sociedade civil gera conflitos de interesse, prejudicando, portanto, a implementação de projetos de reuso.

## 9.4 Discussão

### **Análise Crítica das Barreiras e da Necessidade de um Enfoque Integrado para o Reuso de Águas Residuais na Agricultura**

A literatura destaca a interdependência de diversas barreiras ao reuso de águas residuais na agricultura, indicando que os obstáculos ambientais, de governança, de infraestrutura, econômicos, financeiros e sociais não operam de maneira isolada, mas influenciam-se mutuamente. Em particular, observa-se que problemas ambientais, como a salinização do solo e a possível contaminação de aquíferos, estão diretamente ligados a limitações na infraestrutura e na tecnologia de tratamento, sugerindo uma relação complexa entre ambos os fatores (Lee; Jepsen, 2020). Contudo, os estudos revisados não aprofundam como essa interdependência poderia variar de acordo com as condições socioeconômicas e tecnológicas de cada contexto, deixando espaço para futuras pesquisas nessa linha.

No nível de governança, argumenta-se que a fragmentação regulatória e a ausência de normativas nacionais claras limitam a formulação de diretrizes unificadas para o reuso, o que afeta a coordenação entre os atores e dificulta a mitigação de barreiras ambientais e infraestruturais. Morris *et al.* (2021) sugerem que um marco de governança integral poderia facilitar essa coordenação, embora não se avalie como adaptar esses modelos a contextos com diferentes realidades políticas e prioridades dos atores envolvidos.

A disponibilidade de financiamento surge como outro fator crítico; a falta de recursos e de incentivos econômicos limita a implementação de tecnologias avançadas de tratamento e a expansão da infraestrutura, afetando a viabilidade econômica e ambiental do reuso (Vardopoulos *et al.*, 2021). Embora esse aspecto seja amplamente documentado, a literatura ainda não explora detalhadamente a implementação de mecanismos financeiros que integrem a sustentabilidade ambiental e econômica em projetos de reuso.

No âmbito social, a desconfiança nas instituições e a percepção de abundância de recursos hídricos contribuem para uma resistência pública ao reuso de águas residuais. Morris *et al.* (2021) relacionam essa resistência à falta de campanhas educativas, indicando que esforços maiores em comunicação poderiam melhorar a aceitação pública. No entanto, ainda não se explora em profundidade como essas estratégias de conscientização poderiam ser adaptadas a diferentes contextos culturais e sociais, um aspecto que poderia influenciar na efetividade dessas campanhas.

Em conjunto, os estudos revisados sugerem que uma abordagem integrada entre governança, financiamento, infraestrutura e fatores ambientais e sociais poderia melhorar a viabilidade do reuso de águas na agricultura. Todavia, embora esses enfoques integrados pareçam necessários, persistem desafios quanto à sua adaptação e aplicação em contextos específicos, aspectos que a literatura identifica, mas não aborda exaustivamente (Lee; Jepson, 2020; Morris *et al.*, 2021; Vardopoulos *et al.*, 2021).

## 9.5 Conclusões

Este estudo revisou as barreiras e desafios para o reuso de águas residuárias na agricultura brasileira, destacando os aspectos ambientais, institucionais, infraestruturais, econômicos e sociais que influenciam a adoção desta prática.

Primeiramente, os resultados indicam que o reuso de efluentes agrícolas impõe riscos ambientais significativos, como a salinização do solo, contaminação de aquíferos e presença de contaminantes emergentes, os quais podem comprometer tanto a produtividade agrícola quanto a saúde pública. Esses fatores ressaltam a necessidade de tecnologias de tratamento mais avançadas e de um monitoramento constante para mitigar os impactos negativos.

Do ponto de vista institucional, a falta de uma legislação nacional uniforme e a complexidade dos arranjos regulatórios dificultam a implementação de políticas coesas para o reuso de águas. A fragmentação regulatória e a sobreposição de responsabilidades entre os diversos níveis governamentais prejudicam a coordenação e a eficácia das iniciativas de reuso, sugerindo a importância de desenvolver diretrizes nacionais que incentivem uma abordagem integrada.

Em relação à infraestrutura, a limitada cobertura de tratamento de esgoto e a prevalência de tecnologias de tratamento menos eficazes para a remoção de contaminantes emergentes limitam a viabilidade do reuso de água na agricultura. Investimentos em infraestrutura e em tecnologias avançadas são essenciais para ampliar a capacidade de reuso e garantir a segurança da água aplicada nas culturas.

Além disso, o alto custo das infraestruturas necessárias e a escassez de incentivos financeiros constituem barreiras econômicas substanciais, especialmente para pequenos agricultores. A implementação de subsídios e mecanismos de crédito específicos para o setor agrícola poderia viabilizar a adoção mais ampla de práticas de reuso.

Por fim, as barreiras sociais, especialmente a percepção negativa do público quanto ao reuso de águas residuárias, destacam a necessidade de campanhas educativas para melhorar a aceitação pública. A disseminação de informações claras sobre os processos de tratamento e os benefícios do reuso pode reduzir o estigma associado a essa prática, promovendo uma visão mais sustentável.

Em síntese, o reuso de águas residuárias na agricultura brasileira apresenta potencial para contribuir com a segurança hídrica do país. No entanto, para que essa prática se torne viável e sustentável, é crucial uma abordagem integrada que inclua políticas de governança claras, suporte financeiro, investimento em infraestrutura e um enfoque educacional robusto voltado para a aceitação pública.

## REFERÊNCIAS

ALBERTI, Márcio Alexandre *et al.* The challenge of urban food production and sustainable water use: Current situation and future perspectives of the urban agriculture in Brazil and Italy. **Sustainable Cities and Society**, [s. l.], v. 83, 2022.

AMARAL, António L.; MARTINS, Rita; DIAS, Luís C. Operational drivers of water reuse efficiency in Portuguese wastewater service providers. **Utilities Policy**, [s. l.], v. 83, 2023.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO – ANA. **Manual de usos consuntivos da água no Brasil**. [S. l.]: ANA, 2019.

BARBOSA, Aline Michelle da Silva *et al.* Impact of treated sewage effluent on soil fertility, salinization and heavy metal content. **Soil and Plant Nutrition**, [s. l.], v. 81, 2021.

BRASIL. **Atlas Esgotos**: Atualização da base de dados de estações de tratamento de esgotos no Brasil. [S. l.: s. n.], 2020. Disponível em: <http://www.ana.gov.br>. Acesso em: 14 jun. 2024.

BRASIL. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2018**: informe anual. [S. l. : s. n.], 2018. Disponível em: [https://www.snirh.gov.br/portal/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos/informe\\_conjuntura\\_2018.pdf](https://www.snirh.gov.br/portal/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos/informe_conjuntura_2018.pdf). Acesso em: 29 fev. 2024.

BRASIL. **Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil 2023**: informe anual. [S. l.: s. n.], 2024. Disponível em: [www.gov.br/ana/pt-br](http://www.gov.br/ana/pt-br). Acesso em: 10 jun. 2024.

BRASIL. **Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007**. Brasília: [s. n.], 2007.

CABRAL, Natalina Maria Tinôco; RIGHETTO, Antonio Marozzi; QUEIROZ, Marcelo Augusto. **Comportamento do nitrato em poços do aquífero Dunas/Barreiras em Natal/RN**. [S. l. : s. n.], 2009.

CAGNO, Enrico *et al.* Adoption of water reuse technologies: An assessment under different regulatory and operational scenarios. **Journal of Environmental Management**, [s. l.], v. 317, 2022.

DE JESUS, Fernanda Lamede Ferreira *et al.* Wastewater for irrigation in Brazil: A chemical, physical and microbiological approach. **IRRIGA**, [s. l.], v. 25, n. 3, p. 562-589, 2020.

FAGUNDES, Thalita Salgado; MARQUES, Rui Cunha. Challenges of recycled water pricing. **Utilities Policy**, [s. l.], v. 82, 2023.

FAO AND UN WATER. **Progress on the level of water stress**. Global status and acceleration needs for SDG Indicator 6.4.2. Rome: FAO; UN Water, 2021.

FARIA, Daniella Costa; NAVAL, Liliana Pena. Wastewater reuse: perception and social acceptance. **Water and Environment Journal**, [s. l.], v. 36, n. 3, p. 433-447, 2022.

FERREIRA, Josilei da Silva. **Processos oxidativos avançados na produção de água de reuso a partir de efluente sanitário tratado**: remoção de contaminantes emergentes. 2022. Tese (Doutorado em Ciências) – Centro De Ciências Exatas e de Tecnologia, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/16419>. Acesso em: 4 jun. 2024.

FICO, Julianna Costa *et al.* Water reuse in industries: analysis of opportunities in the Paraíba do Sul river basin, a case study in Presidente Vargas Plant, Brazil. **Environmental Science and Pollution Research**, [s. l.], v. 29, n. 44, p. 66085-66099, 2022.

GEORGIU, Isabella *et al.* **Assessing the potential of water reuse uptake through a private–public partnership**: a practitioner’s perspective. [S. l.]: Springer Nature, 2023.

GUL, S. *et al.* Reclaimed wastewater as an ally to global freshwater sources: a PESTEL evaluation of the barriers. **Aqua Water Infrastructure, Ecosystems and Society**, [s. l.], v. 70, n. 2, p. 123-137, 2021.

HANDAM, Natasha Berendonk *et al.* Sanitary quality of reused water for irrigation in agriculture in Brazil. **Revista Ambiente e Água**, [s. l.], v. 17, n. 2, p. 445-458, 2022.

HASHEM, Mahmoud S.; QI, Xue Bin. Treated wastewater irrigation-a review. **Water**, Switzerland, [s. l.], v. 13, n. 11, 2021.

HETTIARACHCHI, Hiroshan; ARDAKANIAN, Reza. **Safe use of wastewater in agriculture**. Dresden, Sachsen: Springer, 2018.

JONES, Edward R. *et al.* Country-level and gridded estimates of wastewater production, collection, treatment and reuse. **Earth System Science Data**, [s. l.], v. 13, n. 2, p. 237-254, 2021.

KLIGERMAN, Débora Cynamon *et al.* **Path toward sustainability in wastewater management in Brazil**. [S. l.]: Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI), 2023.

LEE, Kyungsun; JEPSON, Wendy. Drivers and barriers to urban water reuse: a systematic review. **Water Security**, [s. l.], v. 11, 2020.

LIMA, Maíra Araújo de Mendonça *et al.* Water reuse in Brazilian rice farming: application of semiquantitative microbiological risk assessment. **Water Cycle**, [s. l.], v. 3, p. 56-64, 2022.

LIMA, Maíra *et al.* Water reuse potential for irrigation in Brazilian hydrographic regions. **Water Supply**, [s. l.], v. 21, n. 6, p. 2799-2810, 2021.

MACHADO, A. I. *et al.* **Overview of the state of the art of constructed wetlands for decentralized wastewater management in Brazil**. [S. l.]: Academic Press, 2017.

MANKAD, Aditi; TAPSUWAN, Sorada. **Review of socio-economic drivers of community acceptance and adoption of decentralised water systems**. [S. l.]: Academic Press, 2011.

MARANGON, Bianca Barros *et al.* Reuse of treated municipal wastewater in productive activities in Brazil's semi-arid regions. **Journal of Water Process Engineering**, [s. l.], v. 37, 2020.

MORRIS, J. C. *et al.* Barriers in Implementation of Wastewater reuse: identifying the way forward in closing the loop. **Circular Economy and Sustainability**, [s. l.], v. 1, n. 1, p. 413-433, 2021.

MOTA, Suetonio. Reuso de águas no Brasil: situação atual e perspectivas. **Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales. Investigación, desarrollo y práctica**, [s. l.], v. 15, n. 2, p. 666, 2022.

MOURA, Priscila Gonçalves *et al.* **Water reuse**: a sustainable alternative for Brazil. [S. l.]: ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2020.

NYAMBIYA, Isaac *et al.* Circular economy drivers, opportunities, and barriers, for wastewater services within low-and medium-income countries. **SSRN**, [s. l.], 2024. Disponível em: <https://ssrn.com/abstract=4773853>. Acesso em: 5 jul. 2024.

PIVETTA, Glauca Ghesti; GASTALDINI, Maria do Carmo Cauduro. Presence of emerging contaminants in urban water bodies in southern Brazil. **Journal of Water and Health**, [s. l.], v. 17, n. 2, p. 329-337, 2019.

SANTOS, Silvânio R. *et al.* Changes in soil chemical properties promoted by fertigation with treated sanitary wastewater. **Engenharia Agrícola**, [s. l.], v. 37, n. 2, p. 343-352, 2017.

SANTOS, Raiany Sandhy Souza *et al.* Groundwater Contamination in a rural municipality of Northeastern Brazil: application of geostatistics, geoprocessing, and geochemistry techniques. **Water, Air, and Soil Pollution**, [s. l.], v. 235, n. 3, 2024.

SANTOS, Eleonora; CARVALHO, Milena; MARTINS, Susana. Sustainable water management: understanding the socioeconomic and cultural dimensions. **Sustainability**, Switzerland, [s. l.], v. 15, n. 17, 2023.

SILVA, Juliano Rezende Mudadu *et al.* Greywater as a water resource in agriculture: the acceptance and perception from Brazilian agricultural technicians. **Agricultural Water Management**, [s. l.], v. 280, 2023.

STATHATOU, P. M. *et al.* Creating an enabling environment for WR&R implementation. **Water Science and Technology**, [s. l.], v. 76, n. 6, p. 1555-1564, 2017.

STEFANO, Paulo Henrique Prado *et al.* Transport of emerging contaminants: a column experimental study in granitic, gneissic, and quaternary alluvial soils from Porto Alegre, Southern Brazil. **Environmental Monitoring and Assessment**, [s. l.], v. 193, n. 5, 2021.

STEPPING, Katharina M. K. **Urban sewage in Brazil: drivers of and obstacles to wastewater treatment and reuse: governing the water-energy-food nexus series**. [S. l.]: Deutsches Institut für Entwicklungspolitik gGmbH, 2016.

UN WATER - UNESCO. **Partnerships and cooperation for water - The United Nations World Water Development Report 2023**. [s. l.: s. n.], 2023. Disponível em: <https://en.unesco.org/wwap>. Acesso em: 2 nov. 2024.

VARDOPOULOS, Ioannis *et al.* An integrated swot-pestle-ahp model assessing sustainability in adaptive reuse projects. **Applied Sciences (Switzerland)**, [s. l.], v. 11, n. 15, 2021.

VENTURA, Delia *et al.* How to overcome barriers for wastewater agricultural reuse in Sicily (Italy)? **Water (Switzerland)**, [s. l.], v. 11, n. 2, 2019.

VIANA, Felipe Jorge *et al.* Water rationalization in Brazilian irrigated agriculture. **Agronomy Science and Biotechnology**, [s. l.], v. 8, p. 1-15, 2022.

VIDOTTI, Débora Beatriz Maia *et al.* A qualitative risk assessment model for water reuse: risks related to agricultural irrigation in Brazil. **Science of the Total Environment**, [s. l.], v. 931, 2024.

VOLTOLINI, Lisiana Crivelenti; BASTOS, Reinaldo Gaspar; SOUZA, Claudinei Fonseca. A simple system for ozone application in domestic sewage for agriculture reuse. **Revista Ambiente e Água**, [s. l.], v. 17, n. 6, p. 445-458, 2022.

WICHELNS, Dennis; DRECHSEL, Pay; QADIR, Manzoor. **Wastewater**: economic asset in an urbanizing world. [S. l.]: Springer Netherlands, 2015.

YANG, J. *et al.* Ultrafiltration as tertiary treatment for municipal wastewater reuse. **Separation and Purification Technology**, [s. l.], v. 272, 2021.