








REVIEW

Uso de águas de baixa qualidade para irrigação no Nordeste brasileiro: Uma revisão

Hermiro Teixeira Mendes Filho^{1*}, Danilo Andrade de Matos¹, Isabel Cristina Silva Maia¹, Ícaro Barreto Souza¹, Ianca Carneiro de Carvalho¹, Iraneide Paim Silva¹, Tainara Lavigne da Silva¹, Mairton Gomes da Silva^{1,2} & Roberval Oliveira da Silva¹

¹Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, Bahia, Brasil

²Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, Bahia, Brasil

Resumo: A escassez hídrica representa um dos maiores desafios para o desenvolvimento agrícola, especialmente em regiões semiáridas, como o Nordeste brasileiro. Nesse cenário, o uso de fontes alternativas, como as águas salobras e residuárias tratadas, tem se consolidado como uma estratégia essencial para reduzir os impactos da escassez hídrica na região. Diante do exposto, este trabalho apresenta uma revisão de literatura com o objetivo de destacar as contribuições científicas relacionadas ao uso de águas salobras e residuárias domésticas tratadas para irrigação no Nordeste brasileiro. Esse levantamento focou em três temas principais, quais sejam: uso de águas salobras para irrigação (abordando aspectos como: a alternância do estresse salino de acordo com a fase fenológica da cultura, fração de lixiviação para minimizar o acúmulo de sais no solo, irrigação por pulsos, entre outros), uso de águas residuárias tratadas para irrigação (abordando aspectos como: tratamentos e caracterização físico-química e microbiológica das águas para reuso agrícola, efeitos sobre o crescimento das plantas e sobre a qualidade do solo) e efeitos das águas de baixa qualidade na hidráulica de sistemas de irrigação. De acordo com os resultados, o uso de águas salobras é uma alternativa viável para regiões com escassez hídrica; especialmente quando selecionados materiais vegetais tolerantes à salinidade, bem como a adoção de estratégias (alternâncias de acordo com a fase fenológica da cultura, irrigação por pulsos, entre outras) para mitigar o estresse salino. Outra fonte com grande potencial para expandir as áreas irrigadas é o uso de águas residuárias tratadas, especialmente para o cultivo de espécies forrageiras destinadas à alimentação animal. Outro aspecto importante é a adoção da irrigação localizada para a aplicação dessas águas de qualidade inferior, já que um dos principais desafios é o risco de entupimento dos emissores. Portanto, como conclusão deste trabalho, assegurar condições mínimas de sobrevivência para as populações rurais requer políticas públicas que incentivem o uso de águas de qualidade inferior, como as salobras e as residuárias tratadas (esgoto doméstico e água cinza).

Palavras-chave: Escassez hídrica, águas salobras, águas residuárias tratadas, aporte nutricional.

* Autor correspondente: E-mail: hermiro@ufrb.edu.br

Editores: Petterson Costa Conceição Silva & Selma Cristina da Silva

Recebido em: 30 de janeiro de 2025

Aceito em: 14 de abril de 2025

Use of low-quality water for irrigation in the Northeast Brazil: A review

Abstract: Water scarcity represents one of the greatest challenges for agricultural development, particularly in semi-arid regions such as Northeast Brazil. In this context, the use of alternative water sources, such as brackish waters and treated wastewater, has emerged as a crucial strategy to mitigate the impacts of water scarcity in the region. This study presents a literature review aimed at highlighting scientific contributions concerning the use of brackish waters and treated domestic wastewater for irrigation in Northeast Brazil. This survey focused on three main themes: the use of brackish waters for irrigation (addressing aspects such as alternating saline stress according to the crop's phenological stage, leaching fractions to minimize salt accumulation in the soil, pulse irrigation, among others); the use of treated wastewater for irrigation (exploring treatments, as well as the physico-chemical and microbiological characterization of water for agricultural reuse, and its effects on plant growth and soil quality); and the impacts of low-quality waters on the hydraulics of irrigation systems. According to the results, the use of brackish waters is a viable alternative for regions facing water scarcity, especially when salt-tolerant plant materials are selected, and strategies are adopted (such as alternating irrigation according to the crop's phenological stage, pulse irrigation, among others) to mitigate salt stress. Another promising source for expanding irrigated areas is the use of treated wastewater, particularly for cultivating forage species intended for animal feed. Another important aspect is the adoption of localized irrigation for applying these low-quality waters, as one of the main challenges is the risk of emitter clogging. Therefore, as a conclusion of this review, ensuring minimum living conditions for rural populations depends on public policies that promote the use of low-quality waters, such as brackish and treated wastewater (domestic sewage and gray water).

Keywords: Water scarcity, brackish waters, treated wastewater, nutritional supply.

Introdução

A escassez hídrica representa um dos maiores desafios para o desenvolvimento agrícola, especialmente em regiões semiáridas, como o Nordeste brasileiro. Nesse contexto, o uso de fontes alternativas de água tem se tornado uma estratégia fundamental para mitigar os impactos da escassez hídrica.

Entre essas alternativas, destacam-se as águas salobras, frequentemente disponíveis em regiões semiáridas (Venâncio et al., 2022; Lessa et al., 2023a; Sousa et al., 2024a). No entanto, é essencial que essas águas sejam utilizadas de forma adequada, uma vez que as altas concentrações de sais reduz o potencial osmótico e, conseqüentemente, o potencial hídrico do solo (Melo et al., 2018). Esse efeito compromete a absorção de água e nutrientes pelas plantas, impactando negativamente a produtividade das culturas. A presença de sais solúveis na região da raiz da planta causa respostas estomáticas induzidas pelo

efeito osmótico dos sais na solução do solo (Melo et al., 2020a). Uma segunda fase é caracterizada pelo efeito iônico, resultante do acúmulo de íons (predominantemente Na^+ e Cl^-) no tecido vegetal, o que pode levar à toxicidade (Alves et al., 2015a; Lemes et al., 2020).

O impacto do estresse salino varia conforme diversos fatores, como o estágio de desenvolvimento da planta (Soares et al., 2018a; Lima et al., 2022a; Lima et al., 2023a), a duração da exposição ao estresse (Lessa et al., 2023b; Silva et al., 2024; Sousa et al., 2024a), tipo de sais aos quais as plantas são submetidas (Guimarães et al., 2019; Arriero et al., 2020; Godoi Neto et al., 2020; Morais et al., 2022), a época do ano (Soares et al., 2020; Galvão Sobrinho et al., 2023), entre outras condições ambientais e agronômicas.

Além disso, a resposta das espécies ao estresse salino está diretamente relacionada à estratégia adotada para o uso das águas salobras. Nesse contexto, destacam-se

diferentes abordagens para o uso dessas águas, como a alternância do estresse salino de acordo com a fase fenológica da cultura (Silva et al., 2020a; Ribeiro et al., 2022; Cruz Filho et al., 2024), o ajuste da fração de lixiviação para minimizar o acúmulo de sais no solo (Godoi Neto et al., 2020; Freitas et al., 2022; Morais et al., 2022), irrigação por pulsos (Almeida et al., 2018; Arriero et al., 2020; Damasceno et al., 2022), entre outras.

Além das águas salobras, as águas residuárias provenientes de esgotos domésticos representam uma fonte hídrica potencial para o reuso agrícola. Além de fornecer recursos hídricos, o uso dessas águas também contribui com nutrientes essenciais para o crescimento e desenvolvimento das plantas (Oliveira et al., 2016; Guimarães et al., 2018; Jesus et al., 2020).

O reuso de águas residuárias traz desafios significativos, especialmente relacionados à sua qualidade microbiológica (bactérias como *Escherichia coli*). É fundamental seguir as diretrizes estabelecidas para o uso dessas águas, a fim de evitar riscos à saúde pública, danos ao meio ambiente e comprometimento da qualidade dos produtos cultivados (Morais et al., 2016; Jesus et al., 2020; Moura et al., 2020; Sánchez-Román et al., 2022).

Os riscos de contaminação por microrganismos, tanto para os irrigantes quanto para as culturas irrigadas, estão diretamente relacionados às tecnologias utilizadas nos sistemas de irrigação. Por exemplo, a irrigação por gotejamento apresenta menor risco, pois a água de reuso é aplicada diretamente na zona radicular das plantas. Dessa forma, evita o contato com a parte aérea, o que é especialmente importante no caso de culturas destinadas ao consumo humano, diferentemente do que ocorre em sistemas de irrigação por aspersão.

Evidentemente que, o uso de águas residuárias para a irrigação de culturas destinadas ao consumo humano exige

cautela e rigoroso controle de qualidade. Por outro lado, essas águas apresentam grande potencial para a irrigação de espécies não destinadas ao consumo humano, como as espécies forrageiras utilizadas na alimentação animal (Garcia et al., 2012; Guimarães et al., 2018; Lemos et al., 2018; Azevedo Júnior et al., 2020; Carvalho, 2023).

Essas águas frequentemente apresentam altas concentrações de sólidos em suspensão, o que pode aumentar o risco de entupimento dos emissores nos sistemas de irrigação. Além disso, a presença de nutrientes nessas águas pode estimular o desenvolvimento de microrganismos, aumentando o risco de obstrução dos emissores devido à formação de biofilmes (Rodrigues Filho et al., 2020; Matsura e Gomes, 2022). Ao utilizar águas salobras, os riscos de entupimento dos emissores também se tornam significativos, principalmente devido à precipitação de sais no interior das tubulações (Santos et al., 2021; Abdelsalam et al., 2024). Esses entupimentos comprometem a uniformidade na aplicação da água, afetando diretamente a eficiência e a hidráulica do sistema de irrigação.

Diante do exposto, este trabalho apresenta uma revisão de literatura com o objetivo de destacar as contribuições científicas relacionadas ao uso de águas salobras e residuárias domésticas tratadas para irrigação no Nordeste brasileiro.

Uso de águas salobras para irrigação

Com a crescente demanda por recursos hídricos para abastecer o setor agrícola, os conflitos por água doce têm se intensificado. Nesse sentido, as águas salobras têm sido uma importante fonte hídrica para irrigação das culturas agrícolas, especialmente em regiões semiáridas do Nordeste brasileiro (Gois et al., 2022; Lessa et al., 2023a; Silva Junior et al., 2023a; Sousa et al., 2024a). No entanto, o uso dessas águas pode levar à salinização do solo quando não há práticas de manejo

assertivas (Cavalcante et al., 2022; Freitas et al., 2022).

Portanto, a adoção de práticas sustentáveis para o uso de águas salobras se torna cada vez mais urgente. Nesse sentido, diferentes estratégias têm sido empregadas visando o uso dessas águas para garantir condições mínimas de produção. De acordo com os estudos apresentados na Tabela 1, as respostas das plantas ao estresse salino dependem de vários fatores, tais como: condições de cultivo quanto ao ambiente (em casa de vegetação ou em campo aberto), nível de condutividade elétrica da água (CEa) usado, origem da água (subterrânea ou produzidas artificialmente com sais de diferentes naturezas catiônicas), material vegetal, etc.

No estudo de Silva et al. (2014), os teores de proteínas nas forragens de milho e sorgo permaneceram inalterados, mesmo sob condições de maior salinidade (CEa de 5,00 dS m⁻¹), apesar das reduções observadas na produção de biomassa. Em estudos também com sorgo forrageiro, as variedades ‘2502-IPA’ e ‘1011-IPA’ se destacaram com as maiores produtividades de grãos sob salinidade de 6,0 dS m⁻¹, enquanto a variedade ‘2564-IPA’ foi mais sensível à salinidade (Guimarães et al., 2019). Silva et al. (2019a) reportaram um efeito mais

pronunciado da salinidade no genótipo ‘P 298’ em comparação aos genótipos ‘CSF 11’, ‘CSF 15’ e ‘P 76’ (Tabela 1). Portanto, indicando a importância de se escolher genótipos com maior tolerância para cultivo em condições de estresse salino.

Na mesma linha, o efeito da salinidade foi mais pronunciado no amendoineiro cultivar ‘BR-1’ (com maiores perdas na produção) em comparação ao genótipo ‘AC 130’ (Canjá et al., 2021). Portanto, reforçando a necessidade de cuidados especiais no manejo das águas salobras, além da escolha de cultivares mais tolerantes ao estresse salino. Dentre as estratégias de manejo das águas salobras, a lâmina de irrigação pode influenciar no rendimento das culturas. Por exemplo, no estudo de Araújo et al. (2023) também com o amendoineiro, a aplicação da lâmina de 100% da evapotranspiração da cultura resultou em maiores produções de biomassa fresca das vagens nos diferentes níveis de salinidade da água (CEa de 1,15; 2,15; 3,15 e 4,15 dS m⁻¹). Esse resultado sugere que, a quantidade de água aplicada quando corretamente ajustada para suprir a necessidade hídrica da cultura, pode ajudar a otimizar o crescimento e a produtividade, mesmo sob condições de salinidade.

Tabela 1: Irrigação com águas salobras em diferentes espécies de plantas no Nordeste brasileiro

Cultura/referência	Condições experimentais	Principais resultados
Milho (<i>Zea mays</i> L.) e sorgo (<i>Sorghum bicolor</i> L.)/Silva et al. (2014) ¹	Em casa de vegetação sob cultivo em colunas de PVC (12 L) preenchidas com solo e irrigações com águas salobras obtidas com água de poço (2,75 e 5,00 dS m ⁻¹).	Sob condições de maior salinidade (CEa de 5,00 dS m ⁻¹), observaram-se maiores perdas na produção de biomassa de milho forrageiro e sorgo. Contudo, os teores de proteínas nas forragens permaneceram inalterados, indicando que, embora a salinidade afete o rendimento, a qualidade nutricional das plantas pode ser mantida.
Abacaxi (<i>Ananas comosus</i> , ‘Pérola’)/Brito et al. (2019) ²	Em campo aberto (temperatura média de 25,78°C) sob cultivo em solo com quatro lâminas de irrigação (50, 75, 100 e 125% da evapotranspiração da cultura) e dois níveis de condutividade elétrica da água (CEa de 0,75 dS m ⁻¹ e água de poço com 3,60 dS m ⁻¹). Irrigação com gotejadores autocompensantes, com vazão de 8,0 L h ⁻¹ .	Sob irrigação com água salobra, pode-se recomendar 50% da lâmina de irrigação para cultura do abacaxizeiro, pois o rendimento de frutos foi similar ao registrado com a lâmina de 100%.
Sorgo (<i>Sorghum bicolor</i> L., variedades ‘1011-IPA’, ‘2502-IPA’, ‘2564-IPA’, ‘2600-IPA’, ‘Ponta Negra’ e ‘Qualimax’)/Guimarães et al. (2019) ³	Em casa de vegetação sob cultivo em vasos (20 L) preenchidos com solo e irrigações com águas salobras (1,5; 3,0; 6,0 e 12,0 dS m ⁻¹ contendo NaCl, CaCl ₂ .H ₂ O e MgCl ₂ .6H ₂ O na razão equivalente de 7:2:1). Fração de lixiviação de 0,15.	As variedades de sorgo ‘2502-IPA’ e ‘1011-IPA’ apresentaram as maiores produtividades de grãos sob cultivo com CEa de 6,0 dS m ⁻¹ , seguidas pelas variedades ‘Ponta Negra’, ‘Qualimax’ e ‘2600-IPA’. A variedade ‘2564IPA’ foi mais sensível aos efeitos da salinidade, não apresentando produtividade de grãos sob salinidade de 6,0 dS m ⁻¹ .
Sorgo sacarino (<i>Sorghum bicolor</i> L., genótipos ‘CSF 11’, ‘CSF 15’, ‘P 76’ e ‘P 298’)/Silva et al. (2019a) ⁴	Em casa de vegetação sob cultivo em vasos (8 L) preenchidos com uma mistura de areia e humus (2:1, respectivamente) e irrigações com águas salobras (2,5; 5,0; 7,5 e 10,0 dS m ⁻¹ contendo NaCl, CaCl ₂ .H ₂ O e MgCl ₂ .6H ₂ O na razão equivalente de 7:2:1).	O efeito da salinidade foi mais pronunciado no genótipo de sorgo ‘P 298’ em relação aos genótipos ‘CSF 11’, ‘CSF 15’ e ‘P 76’.
Cana-de-açúcar (<i>Saccharum</i> spp., cv. ‘RB 92579’)/Godoi Neto et al. (2020) ⁵ e Morais et al. (2022) ⁵	Em campo aberto com lisímetros (1000 L) preenchidos com solo e irrigações com águas salobras (2,0; 4,0; 6,0 e 8,0 dS m ⁻¹ com NaCl e CaCl ₂ – 1:1 Ca:Na) com e sem fração de lixiviação (0,17). Irrigação com gotejadores autocompensantes, com vazão de 4,1 L h ⁻¹ .	Em todos os níveis de CEa avaliados, a fração de lixiviação de 0,17 melhorou a resposta da cana-de-açúcar, com maiores produções de biomassa fresca do colmo. A fração de lixiviação de 0,17 atenuou os efeitos dos sais sobre o crescimento, produtividade, qualidade tecnológica e rendimento industrial da cana-de-açúcar.

Algodão (<i>Gossypium hirsutum</i> L., ‘Fibermax 910’) e milho (<i>Zea mays</i> L., híbrido ‘BRS 2020’)/Ribeiro et al. (2020) ⁴	Em casa de vegetação (temperaturas entre 26,4 e 32,7°C) sob cultivo em colunas de PVC (~31 L) preenchidas com solo e irrigações com águas salobras (2,0; 4,0 e 6,0 dS m ⁻¹) combinadas com três doses de nitrogênio (60, 100 e 140%). Fração de lixiviação de 0,15.	A aplicação excessiva de nitrogênio (140%) foi benéfica apenas para o algodão sob menor salinidade (CEa de 2,0 dS m ⁻¹). Já para o milho, a fertilização com 60% da dose de N recomendada foi suficiente para garantir a produção de biomassa sob CEa de 6,0 dS m ⁻¹ , enquanto 100% foi melhor para o algodão.
Feijão-caupi (<i>Vigna unguiculata</i> Walp L., cv. ‘EPACE 10’) e milho (<i>Zea mays</i> L., cv. ‘BRS 4103’)/Araújo et al. (2021) ⁴	Em campo aberto em solo e irrigações sob três níveis de CEa (0,9 dS m ⁻¹ – água de poço e 2,5 e 5,0 dS m ⁻¹ com NaCl, CaCl ₂ .H ₂ O e MgCl ₂ .6H ₂ O na razão equivalente de 7:2:1).	Sob cultivo consorciado (feijão-caupi e milho), o estresse salino não afetou a produção do feijão-caupi. Para o milho, apenas na maior salinidade (CEa de 5,0 dS m ⁻¹) a produção foi menor.
Amendoim (<i>Arachis hypogaea</i> L., genótipo ‘AC 130’ e cv. ‘BR1’)/Canjá et al. (2021) ⁴	Em casa de vegetação (temperatura média de 27,0°C) sob cultivo em vasos (25 L) preenchidos com substrato e irrigações sob dois níveis de CEa (0,9 dS m ⁻¹ – água de poço e 5,0 dS m ⁻¹ com NaCl, CaCl ₂ .H ₂ O e MgCl ₂ .6H ₂ O na razão equivalente de 7:2:1).	A salinidade teve um efeito mais pronunciado na produção do amendoim do que na eficiência do uso da água para os dois genótipos. A salinidade resultou em maiores perdas na produção da cv. ‘BR-1’.
Milho (<i>Zea mays</i> L., híbrido ‘BRS 2020’)/Freitas et al. (2022) ⁴	Em casa de vegetação (temperatura média de 29,0°C) sob cultivo em colunas de PVC (~31 L) preenchidas com solo e irrigações com águas salobras (2,0; 4,0 e 6,0 dS m ⁻¹ contendo NaCl, CaCl ₂ .H ₂ O e MgCl ₂ .6H ₂ O na razão equivalente de 7:2:1) com fração de lixiviação fixa de 0,15 ou variável de acordo com a salinidade (0,19; 0,47 e 0,92, respectivamente).	Independentemente do nível de salinidade para irrigação do milho, a produtividade da água (PA) não foi afetada quando aplicada uma fração de lixiviação de 0,15. Já quando as frações de lixiviação foram calculadas para cada nível de salinidade, houve um decréscimo na PA.
Cana-de-açúcar (<i>Saccharum</i> spp., cv. ‘SP 813250’ e cv. ‘RB 92579’)/Laime et al. (2022) ⁶	Em campo aberto com lisímetros (1500 L) preenchidos com solo e irrigações com águas salobras (1,6; 2,6; 3,6 e 4,6 dS m ⁻¹ contendo NaCl, CaCl ₂ .H ₂ O e MgCl ₂ .6H ₂ O na razão equivalente de 7:2:1).	A salinidade não afetou os parâmetros da qualidade industrial das cultivares da cana-de-açúcar (percentagem de açúcares aparentes, sólidos solúveis, sacarose polarizada, percentagem de matéria insolúvel em água contida na cana e açúcares totais recuperáveis).
Amendoim (<i>Arachis hypogaea</i> L., cv. ‘BR-1’)/Lima et al. (2022b) ⁷	Em casa de vegetação sob cultivo em vasos (8 L) preenchidos com solo e irrigações com águas salobras (1,5; 3,0 e 4,5 dS m ⁻¹ contendo NaCl, CaCl ₂ .H ₂ O e MgCl ₂ .6H ₂ O na razão equivalente de 7:2:1).	A salinidade afetou negativamente o crescimento das plantas do amendoim, mais expressivamente sob maior salinidade (CEa de 4,5 dS m ⁻¹).

<p>Amendoim (<i>Arachis hypogaea</i> L., cv. 'BR-1')/Araújo et al. (2023)⁸</p>	<p>Em casa de vegetação sob cultivo em vasos (20 L) preenchidos com solo sob cinco lâminas de irrigação (224,36; 336,54; 448,72; 560,90 e 673,08 mm – 448,72 mm correspondeu 100% da evapotranspiração da cultura) com águas salobras (1,15; 2,15; 3,15 e 4,15 dS m⁻¹ obtidas pela adição de NaCl em água de poço – 2,15 dS m⁻¹). Irrigação com microtubos, com vazão de 2,5 L h⁻¹.</p>	<p>A aplicação de lâminas de irrigação correspondentes a 100% da evapotranspiração da cultura resultou nas maiores produções de biomassa fresca das vagens do amendoim, independentemente dos níveis de salinidade da água de irrigação.</p>
<p>Melancia (<i>Citrullus lanatus</i>, variedade 'Crimson Sweet')/Silva Junior et al. (2023b)⁹</p>	<p>Em campo aberto em solo e irrigações com águas salobras (1,5; 3,0 e 4,5 dS m⁻¹ contendo NaCl, CaCl₂.H₂O e MgCl₂.6H₂O na razão equivalente de 7:2:1).</p>	<p>O uso de mudas produzidas com água de baixa salinidade (0,3 dS m⁻¹) e salinidade moderada (1,5 dS m⁻¹), em comparação ao plantio direto de sementes, favoreceu o crescimento e o acúmulo de nutrientes em plantas de melancia irrigadas com águas salobras.</p>

¹ – estudo realizado em Mossoró, RN; ² – estudo realizado em Guanambi, BA; ³ – estudo realizado em Petrolina, PE; ⁴ – estudos realizados em Fortaleza, CE; ⁵ – estudos realizados em Recife, PE; ⁶ – estudo realizado em Campina Grande, PB; ⁷ – estudo realizado em Redenção, CE; ⁸ – estudo realizado em Arapiraca, AL; ⁹ – estudo realizado em Acaraú, CE.

Alternâncias do estresse salino de acordo com a fase fenológica da cultura

A aplicação do estresse salino ao longo das diferentes fases fenológicas das culturas impacta significativamente o crescimento, o desenvolvimento e a produtividade das mesmas. Portanto, a sensibilidade das plantas ao estresse salino varia de acordo com seu estágio de desenvolvimento, sendo o efeito mais pronunciado em algumas fases e menos em outras fases (Soares et al., 2018b; Lima et al., 2020b; Silva et al., 2020bc). A Tabela 2 apresenta estudos que investigaram o uso de águas salobras para irrigação, destacando sua aplicação em diferentes fases fenológicas das espécies vegetais.

No estudo de Soares et al. (2018b), a biomassa da pluma de três genótipos de algodoeiro, produzida sob estresse salino aplicado exclusivamente na fase vegetativa, foi equivalente à obtida em condições sem estresse salino. Quando o estresse salino foi aplicado exclusivamente durante a fase de floração, apenas o genótipo 'BRS Safira' alcançou uma biomassa da pluma equivalente à observada no cultivo conduzido sem estresse salino.

Esses resultados evidenciam as diferenças entre materiais vegetais da mesma espécie, ressaltando que a resposta das plantas ao estresse salino pode variar mesmo dentro do mesmo genótipo. Por exemplo, em estudos com o maracujazeiro, o genótipo 'BRS GA1' apresentou redução na produção de frutos, independentemente da estratégia de irrigação adotada em função da fase da cultura, quando submetido ao estresse salino (Lima et al., 2020a). Em contrapartida, Pinheiro et al. (2022ab) relataram produtividades e biomassa de frutos do maracujazeiro equivalentes às obtidas sob condições sem estresse salino, mesmo quando o estresse foi aplicado exclusivamente ou de forma combinada nas fases vegetativa e de frutificação. Esses dados reforçam a necessidade de avaliar individualmente os genótipos para identificar os mais tolerantes às condições de salinidade.

O estresse salino pode, em alguns casos, melhorar a qualidade de frutos, aumentando os teores de ácido ascórbico e sólidos solúveis totais. No maracujazeiro (Lima et al., 2022c), esses teores foram iguais ou superiores quando o estresse foi aplicado exclusivamente na fase de floração ou de forma combinada nas fases vegetativa e de floração, em comparação ao cultivo sem estresse salino ao longo de todo o ciclo da cultura. De forma semelhante, na minimelancia o estresse salino aplicado durante as fases de frutificação e maturação dos frutos resultou em teores iguais aos observados em condições sem estresse (Silva et al., 2020b). Esses resultados demonstram que, dependendo da fase de aplicação, o estresse salino pode agregar valor qualitativo aos frutos.

No estudo de Ribeiro et al. (2022), o estresse salino contínuo durante todas as fases fenológicas do feijoeiro teve um efeito mais negativo no crescimento das plantas em comparação aos estresses aplicados apenas nas fases de germinação e crescimento inicial ou pré-floração. Isso indica que o feijoeiro é mais sensível ao estresse salino durante todo o ciclo de cultivo.

No estudo de Cruz Filho et al. (2024) com o amendoizeiro, o estresse salino aplicado desde o início do cultivo (7 DAS) teve um impacto mais negativo no rendimento de grãos do que o estresse aplicado a partir dos 35 DAS. Isso sugere que o amendoizeiro, como muitas outras culturas, é particularmente sensível ao estresse salino nos estágios iniciais do crescimento, quando a planta ainda está se estabelecendo. Aplicar o estresse mais tarde no ciclo de cultivo pode permitir que as plantas se desenvolvam mais robustas, o que pode resultar em menor redução da produtividade.

Nos estudos de Semedo et al. (2024) e Sousa et al. (2024b), a produção da abobrinha italiana apresentou variações em função do nível de CEa. No primeiro estudo, a produção sob estresse salino (CEa de 3,0 dS m⁻¹) manteve-se semelhante à

obtida em condições sem estresse ao longo de todo o ciclo de cultivo, exceto na fase de germinação. Por outro lado, no segundo estudo, a aplicação do estresse salino (CEa de $2,6 \text{ dS m}^{-1}$), independentemente da fase, resultou em perdas de produção quando comparado ao cultivo sem estresse durante todo o ciclo.

A aclimação ao estresse é uma outra estratégia visando melhorar as respostas das plantas quando submetidas à salinidade. Por exemplo, de acordo com os registros de Silva Junior et al. (2023b), as plantas de melancia apresentaram um melhor crescimento e maior acúmulo de nutrientes quando as mudas levadas a campo foram produzidas com águas de baixa e moderada salinidade ($0,3$ e $1,5 \text{ dS m}^{-1}$, respectivamente) quando comparadas ao plantio direto das sementes.

Fração de lixiviação

Diferentes estudos apontam a importância da adoção adequada da fração de lixiviação para atenuar os impactos da salinidade sobre o crescimento e produtividade das culturas. A fração de lixiviação consiste na remoção de sais da

zona de crescimento das raízes para as camadas mais profundas do solo, ajudando a reduzir a concentração de sais tóxicos (Godoi Neto et al., 2020; Freitas et al., 2022; Morais et al., 2022).

Conforme apresentado na Tabela 2, a fração de lixiviação de $0,17$ mostrou-se eficaz em atenuar os efeitos dos sais sobre o crescimento e o rendimento da cana-de-açúcar (Godoi Neto et al., 2020; Morais et al., 2022). Isso sugere que o manejo adequado da lixiviação ajuda a remover os sais para as camadas mais profundas do solo, mitigando os impactos negativos da salinidade sobre o crescimento da cana-de-açúcar.

Para cultura do milho, Freitas et al. (2022) registraram que a fração de lixiviação de $0,15$ não afetou a produtividade da água, enquanto frações calculadas com base nos níveis de salinidade resultaram em decréscimos na produtividade da água. Isso sugere que o manejo adequado da lixiviação pode melhorar a eficiência no uso da água, especialmente sob condições de salinidade elevada.

Tabela 2: Irrigação com águas salobras em diferentes fases fenológicas das espécies de plantas no Nordeste brasileiro

Cultura/referência	Condições experimentais	Principais resultados
Algodão (<i>Gossypium hirsutum</i> L., genótipos ‘BRS Rubi’, ‘BRS Topázio’ e ‘BRS Safira’)/Soares et al. (2018b) ¹	Em casa de vegetação sob cultivo em vasos (20 L) preenchidos com solo e irrigações com água salobra (9,0 dS m ⁻¹ contendo NaCl, CaCl ₂ .H ₂ O e MgCl ₂ .6H ₂ O na razão equivalente de 7:2:1) durante as fases de crescimento vegetativo (16 dias após a semeadura – DAS até a floração aos 37 DAS), de floração (38 DAS até a frutificação aos 59 DAS) e de frutificação (60 DAS até o final do ciclo aos 113 DAS).	Para os três genótipos de algodoeiro avaliados, a biomassa da pluma produzida sob estresse salino aplicado exclusivamente na fase vegetativa foi equivalente à obtida nas condições sem estresse salino ao longo de todo o ciclo da cultura. Para o genótipo ‘BRS Safira’, quando o estresse salino foi aplicado exclusivamente durante a fase de floração, as médias de biomassa da pluma foram equivalentes às obtidas nas outras duas condições de cultivo.
Maracujá (<i>Passiflora edulis</i> Sims., ‘BRS GA1’)/Lima et al. (2020a) ²	Em campo aberto sob cultivo em solo e irrigações com água salobra (água de poço – CEa de 1,3 dS m ⁻¹ com adição de NaCl até 3,2 dS m ⁻¹) durante as fases de crescimento vegetativo, floração e de frutificação.	O estresse salino impactou negativamente a produção de frutos do maracujazeiro, independentemente da estratégia de irrigação adotada em função da fase da cultura.
Gergelim (<i>Sesamum indicum</i> L., genótipos ‘BRS Seda’ e ‘BRS Anahí’)/Lima et al. (2020b) ³	Em casa de vegetação sob cultivo em vasos (20 L) preenchidos com solo e irrigações com água salobra (2,7 dS m ⁻¹ com NaCl) durante as fases de crescimento vegetativo (15-31 DAS), de floração (32-56 DAS) e de frutificação (57-88 DAS).	As estratégias de aplicação de estresse salino exclusivamente nas fases vegetativa e de frutificação resultaram em uma produção de biomassa de sementes de gergelim equivalente à observada em condições sem estresse salino ao longo de todo o ciclo da cultura.
Melancia (<i>Citrullus lanatus</i> , cv. ‘Sugar Baby’)/Silva et al. (2020a) ¹	Em casa de vegetação sob cultivo em vasos (20 L) preenchidos com solo e irrigações com água salobra (4,0 dS m ⁻¹ contendo NaCl, CaCl ₂ .H ₂ O e MgCl ₂ .6H ₂ O na razão equivalente de 7:2:1) durante as fases de crescimento vegetativo (14 DAS até a floração aos 34 DAS), de floração (35 DAS até a frutificação aos 43 DAS), de frutificação (44 DAS até o enchimento dos frutos aos 58 DAS) e maturação (59 DAS até o final do ciclo aos 65 DAS).	As estratégias de aplicação do estresse salino, seja exclusivamente na fase vegetativa ou de forma combinada nas fases vegetativa e de frutificação, resultaram em um crescimento das plantas de melancia equivalente ao observado em condições sem estresse salino ao longo de todo o ciclo da cultura.
Melancia (<i>Citrullus lanatus</i> , cv. ‘Sugar Baby’)/Silva et al. (2020b) ¹	Em casa de vegetação sob cultivo em vasos (20 L) preenchidos com solo e irrigações com água salobra (3,2 dS m ⁻¹ contendo NaCl, CaCl ₂ .H ₂ O e MgCl ₂ .6H ₂ O	A qualidade dos frutos de minimelancia, avaliada pelos teores de ácido ascórbico e sólidos solúveis totais, sob estresse salino aplicado nas fases de

	<p>na razão equivalente de 7:2:1) durante as fases de crescimento vegetativo (25 DAS até a floração aos 41 DAS), de floração (42 DAS até a frutificação aos 55 DAS), de frutificação (56 DAS até o enchimento dos frutos aos 66 DAS) e maturação (67 DAS até o final do ciclo aos 85 DAS).</p>	<p>frutificação e maturação dos frutos, foi equivalente à observada em condições sem estresse salino durante todo o ciclo da cultura.</p>
<p>Maracujá (<i>Passiflora edulis</i> Sims., ‘BRS GA1’)/Lima et al. (2022c)² e Pinheiro et al. (2022a)²</p>	<p>Em campo aberto sob cultivo em solo e irrigações com água salobra (água de poço – CEa de 2,7 dS m⁻¹ com adição de NaCl até 4,0 dS m⁻¹) durante as fases de crescimento vegetativo, floração e de frutificação.</p>	<p>As estratégias de aplicação do estresse salino, seja exclusivamente na fase de floração ou de forma combinada nas fases vegetativa e de floração, resultaram em teores de ácido ascórbico e sólidos solúveis totais iguais ou superiores aos obtidos em condições sem estresse salino durante todo o ciclo da cultura.</p> <p>No primeiro ciclo, a produtividade do maracujazeiro submetido ao estresse salino, seja ele aplicado exclusivamente ou de forma combinada nas fases vegetativa e de frutificação, foi equivalente à produtividade observada nas condições sem estresse salino durante todo o ciclo da cultura. No segundo ciclo, a ausência de efeitos significativos na produtividade do maracujazeiro foi observada apenas quando o estresse salino foi aplicado exclusivamente na fase de floração.</p>
<p>Feijão-caupi (<i>Vigna unguiculata</i> L. Walp, cv. ‘Vita 7’)/Ribeiro et al. (2022)⁴</p>	<p>Em condições de campo com vasos (8 L) preenchidos com solo e irrigações com água salobra (3,2 dS m⁻¹ contendo NaCl, CaCl₂.H₂O e MgCl₂.6H₂O na razão equivalente de 7:2:1) nas fases de germinação e crescimento inicial, na fase pré-floração ou nas três fases.</p>	<p>O estresse salino contínuo em todas as fases fenológicas do feijoeiro afetou mais negativamente o crescimento das plantas em relação às aplicações do estresse nas fases de germinação e crescimento inicial ou de pré-floração.</p>
<p>Amendoim (<i>Arachis hypogaea</i> L.)/Cruz Filho et al. (2024)⁴</p>	<p>Em casa de vegetação sob cultivo em vasos (8 L) preenchidos com solo e areia (3:1, respectivamente) e irrigações com água salobra (4,0 dS m⁻¹ contendo NaCl,</p>	<p>O estresse salino aplicado desde o início do cultivo (7 DAS) afetou mais drasticamente o rendimento de</p>

<p>Abobrinha italiana (<i>Cucurbita pepo</i> L., cv. 'Caserta')/Semedo et al. (2024)⁴</p>	<p>CaCl₂.H₂O e MgCl₂.6H₂O na razão equivalente de 7:2:1) aos sete dias após a semeadura – DAS, 15 DAS, 25 DAT ou 35 DAS.</p> <p>Em condições de campo sob cultivo em vasos (11 L) preenchidos com substrato (mistura de arisco, areia e esterco bovino nas proporções de 4:2:1, respectivamente) e irrigações com água salobra (3,0 dS m⁻¹ contendo NaCl, CaCl₂.H₂O e MgCl₂.6H₂O na razão equivalente de 7:2:1) nas fases de germinação (até 11 dias após a semeadura – DAS), pré-floração (12 – 22 DAS), frutificação (23 – 42 DAS) e colheita (43 – 63 DAS).</p>	<p>grãos do amendoineiro comparado ao estresse aplicado a partir dos 35 DAS.</p> <p>A produção da abobrinha italiana sob estresse salino foi semelhante à obtida em condições sem estresse ao longo de todo o ciclo de cultivo, com exceção da fase de germinação.</p>
<p>Abobrinha italiana (<i>Cucurbita pepo</i> L.)/Sousa et al. (2024b)⁴</p>	<p>Em ambiente protegido sob cultivo em vasos (11 L) preenchidos com substrato (mistura de arisco, areia e esterco bovino nas proporções de 5:3:1, respectivamente) e irrigações com água salobra (2,6 dS m⁻¹ contendo com NaCl, CaCl₂.H₂O e MgCl₂.6H₂O na razão equivalente de 7:2:1) nas fases de floração e frutificação inicial (11 – 21 dias após o transplantio – DAT), frutificação completa (22 – 35 DAT) e colheita (36 – 52 DAT).</p>	<p>Independentemente da fase em que o estresse salino foi aplicado, observaram-se perdas de produção em comparação ao cultivo sem estresse ao longo de todo o ciclo.</p>

¹ – estudos realizados em Campina Grande, PB; ² – estudos realizados em São Domingos, PB; ³ – estudo realizado em Pombal, PB; ⁴ – estudos realizados em Redenção, CE.

Irrigação por pulsos vs. irrigação contínua

A irrigação por pulsos consiste em fracionar a lâmina de irrigação diária, aplicando-se em curtos períodos cíclicos de molhamento e repouso; com isso, promovendo uma melhor distribuição da umidade no solo ao longo do tempo (Menezes et al., 2024; Souza et al., 2024). Nesse sentido, essa técnica mostra-se promissora quando se empregam águas salobras nas irrigações. De acordo com o estudo de Almeida et al. (2018) com feijão verde em vasos com solo, a irrigação por pulsos manteve o solo úmido por mais tempo; conseqüentemente, a lâmina de irrigação com água salobra foi menor. Portanto, a quantidade de sais acumulada no solo também foi menor, o que retardou os efeitos deletérios dos sais sobre as plantas. Já no estudo de Damasceno et al. (2024) com berinjela em vasos usando o mesmo solo em dois ciclos sucessivos, registraram que, na irrigação por pulsos com águas salobras houve maior acúmulo de sais na camada superficial do solo (0-15 cm) como consequência da constante manutenção da umidade nessa camada avaliada. Já na irrigação contínua, a umidade se concentrou na camada subjacente do solo; conseqüentemente, o acúmulo de sais.

Portanto, a irrigação por pulsos pode ajudar a minimizar os efeitos negativos da salinidade sobre o crescimento das plantas. Na forma tradicional de irrigação (denominada contínua), além do potencial osmótico, com o secamento do solo até a próxima irrigação, a absorção de água pelas plantas é restringida pela ação do potencial mátrico (Melo et al., 2020a). Já na irrigação por pulsos, a manutenção dos níveis de umidade na camada superficial do solo pode diminuir os efeitos adversos do estresse salino pela diluição dos sais (Jorda et al., 2018).

A partir dos estudos apresentados na Tabela 3, é possível destacar várias conclusões sobre os efeitos das irrigações por pulsos e contínua usando águas salobras em diferentes culturas (feijão verde,

berinjela e amendoim). Sob cultivo de feijão verde por Almeida et al. (2018), a irrigação por pulsos promoveu maiores produções, principalmente nos maiores níveis de salinidade (condutividade elétrica da água – CEa de 3,5 e 4,5 dS m⁻¹). Isso sugere que a irrigação por pulsos pode ser mais eficiente em contextos de salinidade elevada, possivelmente por permitir uma melhor distribuição de água nas raízes, reduzindo o impacto da salinidade.

No caso da berinjela em estudo por Arriero et al. (2020), a irrigação por pulsos ocasionou menores perdas de produção total e comercializável de frutos quando a salinidade da água de 2,5 dS m⁻¹ foi produzida com NaCl. Já para essa mesma salinidade produzida com CaCl₂, as maiores produções foram observadas sob irrigação contínua. Isso sugere que a interação entre o tipo de sal e a forma de irrigação pode ser relevante na resposta da berinjela.

Também com a berinjela e estudos realizados no mesmo local, a qualidade dos frutos medida por sólidos solúveis totais, acidez total titulável e relação SST/ATT (Damasceno et al., 2021) e a produção (Damasceno et al., 2022) não foram afetadas pela irrigação por pulsos ou contínua. Isso sugere que, tais parâmetros avaliados não foram sensivelmente alterados por essas práticas de irrigação, independentemente da salinidade.

Para cultura do amendoim, a irrigação por pulsos foi mais eficaz em promover maior crescimento e produção (Cruz et al., 2021) e maiores acúmulos de nutrientes (Cruz et al., 2024), independentemente do nível de salinidade; promoveu maiores produtividades da água sob os níveis de salinidade de 1,6; 2,8 e 4,0 dS m⁻¹ (Silva et al., 2022a). Isso pode ser um indicativo que a irrigação por pulsos é mais eficiente no uso da água em condições de salinidade; adicionalmente, um maior acúmulo de nutrientes pode indicar uma melhor absorção de elementos essenciais para o desenvolvimento do amendoineiro.

Tabela 3: Cultivo de diferentes espécies de plantas sob irrigações por pulsos ou contínuas com águas salobras no Nordeste brasileiro

Cultura/referência	Condições experimentais	Principais resultados
Feijão (<i>Phaseolus vulgaris</i> L., ‘Macarrão Favorito’)/Almeida et al. (2018) ¹	Em casa de vegetação (temperaturas entre 21,8 e 34,8°C) sob cultivo em vasos (21 L) preenchidos com solo, com irrigação por pulsos (lâmina total de água aplicada seis vezes ao longo do dia em intervalos de 30 min) ou contínuas [#] com águas salobras (1,5; 2,5; 3,5 e 4,5 dS m ⁻¹ com NaCl). Irrigação com gotejadores autocompensantes, com vazão de 2,2 L h ⁻¹ .	As maiores produções do feijão verde foram obtidas sob irrigação por pulsos, principalmente nos maiores níveis de CEa (3,5 e 4,5 dS m ⁻¹).
Berinjela (<i>Solanum melongena</i> L.)/Arriero et al. (2020) ¹	Em casa de vegetação sob cultivo em vasos (100 L) preenchidos com solo, com irrigações por pulsos (lâmina total de água aplicada seis vezes ao longo do dia em intervalos de 30 min) ou contínuas [#] com água salobra (2,5 dS m ⁻¹ com NaCl ou CaCl ₂). Irrigação com gotejadores não autocompensantes, com vazão de 2,1 L h ⁻¹ .	A irrigação por pulsos promoveu menores perdas de produção total e comercializável de frutos de berinjela sob salinidade (2,5 dS m ⁻¹) com NaCl. Já na salinidade produzida com CaCl ₂ , as maiores produções foram sob irrigação contínua.
Amendoim (<i>Arachis hypogaea</i> L., ‘BR-1’)/Cruz et al. (2021) ² , Silva et al. (2022a) ² e Cruz et al. (2024) ²	Em campo aberto com lisímetros (240 L) preenchidos com solo, sob irrigação por pulsos (lâmina total de água aplicada cinco vezes ao longo do dia em intervalos de 1 h) ou contínuas [#] com águas salobras (1,6; 2,8; 4,0; 5,2 e 6,4 dS m ⁻¹ com NaCl). Irrigação com gotejadores autocompensantes, com vazão de 2,0 L h ⁻¹ .	Independente da salinidade, a irrigação por pulsos promoveu as melhores respostas de crescimento e produção do amendoimzeiro. Maiores produtividades da água foram registradas sob irrigação por pulsos com os níveis de CEa de 1,6; 2,8 e 4,0 dS m ⁻¹ .
Berinjela (<i>Solanum melongena</i> L., ‘Florida Market’)/Damasceno et al. (2021) ¹ e Damasceno et al. (2022) ¹	Em casa de vegetação (temperaturas entre 24,8 e 25,2°C) sob cultivo em vasos (100 L) preenchidos com solo, com irrigação por pulsos (lâmina total de água aplicada seis vezes ao longo do dia em intervalos de 30 min) ou contínuas [#] com águas salobras (1,5; 3,5 e 4,5 dS m ⁻¹ com NaCl). Irrigação com gotejadores não autocompensantes, com vazão de 2,1 L h ⁻¹ .	Independente da salinidade, a qualidade dos frutos de berinjela (sólidos solúveis totais – SST, acidez total titulável – ATT e relação SST/ATT) não foi afetada pelas irrigações por pulsos ou contínuas. Independente da salinidade, o crescimento e a produção de frutos de berinjela não foram afetados pelas irrigações por pulsos ou contínuas.

[#] – lâmina total de água aplicada de uma única vez; ¹ – estudos realizados em Cruz das Almas, BA; ² – estudos realizados em Recife, PE.

Uso de águas residuárias na irrigação

Em um cenário de escassez de água e agravante deterioração da sua qualidade, o reuso de águas residuárias é uma alternativa

promissora para agricultura (Silva et al., 2022b; Feitosa et al., 2025). Essa prática permite reduzir a demanda sobre as fontes convencionais de água e promover a

reciclagem de nutrientes, podendo reduzir a necessidade de fertilizantes químicos (Lima et al., 2021; Araújo et al., 2025).

Caracterização físico-química e microbiológica de águas residuárias

A Tabela 4 fornece uma análise detalhada da origem e das tecnologias de tratamento de águas residuárias, incluindo águas cinzas e esgotos domésticos, utilizadas em diversos estudos para o reuso agrícola. Na Tabela 5, estão apresentadas as diretrizes que estabelecem padrões de qualidade da água para reuso agrícola sem causar danos à saúde pública, ao meio ambiente e à qualidade dos produtos cultivados.

As águas residuárias provenientes de esgotos domésticos apresentam elevado

potencial para reuso agrícola, principalmente após tratamentos que garantam a redução de contaminantes (Alves et al., 2012; Sousa Neto et al., 2012; Oliveira et al., 2014; Feitosa et al., 2015; Batista et al., 2017; Dantas et al., 2019a; Azevedo Júnior et al., 2020; Costa et al., 2021; Lima et al., 2021; Araújo et al., 2022; Carvalho, 2023; Melo et al., 2023; Almeida, 2024). Outra fonte destacada é a água cinza, oriunda de atividades domésticas, como lavagem de roupas e banho, que apresenta menor carga poluente e exige tratamentos menos complexos (Feitosa et al., 2011; Melo et al., 2020b; França et al., 2022; Melo et al., 2023; Araújo e Dias, 2024; Cunha et al., 2024; Dias, 2024).

Tabela 4: Origem das águas residuárias e tecnologias de tratamento empregadas em estudos voltados ao reuso agrícola

Origem	Tecnologia	Período de análise	Referência
Água cinza	Tanque séptico e filtro anaeróbio, sistema alagado construído e reator solar	Setembro a outubro de 2010	Feitosa et al. (2011) ¹
Esgoto doméstico	Estação de tratamento de esgoto (ETE)	Não informado	Alves et al. (2012) ²
Esgoto doméstico	Estação de tratamento de esgoto (ETE)	Novembro de 2009 a março de 2010	Sousa Neto et al. (2012) ¹
Esgoto doméstico	Tanque séptico e dois filtros anaeróbios	Abril a julho de 2012	Oliveira et al. (2014) ²
Esgoto doméstico	Não informado	Agosto a dezembro de 2014	Feitosa et al. (2015) ³
Esgoto doméstico	Tanque séptico e filtros anaeróbios	Agosto de 2012 a julho de 2013	Batista et al. (2017) ²
Esgoto doméstico	Reator UASB	Não informado	Barros et al. (2018) ⁴
Esgoto doméstico	Reator UASB; sistema decanto-digestor e filtração anaeróbica; filtração anaeróbica	Não informado	Dantas et al. (2019a) ⁵
Esgoto doméstico	Tanque séptico e filtro anaeróbio	Julho e dezembro de 2018	Torres et al. (2019) ⁶
Esgoto doméstico	Fossa séptica e dois filtros anaeróbios	Setembro a dezembro de 2016	Azevedo Júnior et al. (2020) ²
Água cinza	Fossa séptica e filtro anaeróbico de fluxo ascendente	Não informado	Melo et al. (2020b) ¹
Esgoto doméstico	Lagoa de polimento	Não informado	Costa et al. (2021) ⁷

Esgoto doméstico	Reator UASB	Abril a agosto de 2016	Lima et al. (2021) ⁵
Esgoto doméstico	Estação de tratamento de esgoto (ETE)	Setembro a dezembro de 2020	Araújo et al. (2022) ⁸
Água cinza	Biofiltro	Não informado	França et al. (2022) ⁹
Água cinza	Sistema Bioágua Familiar (SBF) composto por caixa de gordura e filtro anaeróbio	Abril de 2018 a março de 2020	Barroso et al. (2023) ¹⁰
Esgoto doméstico	Fossa séptica biodigestora (FSB)	Não informado	Carvalho (2023) ¹¹
Água cinza	Biorreator anaeróbio	Não informado	Melo et al. (2023) ¹²
Esgoto doméstico	Reator UASB	Não informado	Melo et al. (2023) ¹²
Esgoto doméstico	Estação de tratamento de esgoto (ETE)	Abril a novembro de 2022	Almeida (2024) ¹³
Água cinza	Sistema decanto-digestor	Agosto de 2022; fevereiro, julho e novembro de 2023	Araújo e Dias (2024) ¹⁴
Água cinza	Estação de tratamento de esgoto (ETE)	Outubro a dezembro de 2017	Cunha et al. (2024) ¹
Água cinza	Sistema Bioágua Familiar (SBF) composto por caixa de gordura e filtro anaeróbio	Entre 2013 e 2015	Dias (2024) ¹⁵

¹ – área localizada em Mossoró, RN; ² – área localizada no Assentamento Rural Milagres em Apodi, RN; ³ – área localizada em Juazeiro do Norte, CE; ⁴ – área localizada em Campina Grande, PB; ⁵ – área localizada em Ibirimir, PE; ⁶ – área localizada em São Paulo do Potengi, RN; ⁷ – área localizada em Caruaru, PE; ⁸ – área localizada em Russas, CE; ⁹ – área na localidade Tourão em Juazeiro, BA; ¹⁰ – áreas localizadas em comunidades rurais dos municípios de Potiretama e Tabuleiro do Norte, CE; ¹¹ – área localizada em Feira de Santana, BA; ¹² – área localizada no Instituto Nacional do Semiárido em Campina Grande, PB; ¹³ – área localizada em Pesqueira, PE; ¹⁴ – áreas localizadas em comunidades rurais de Encanto e São Miguel, RN; ¹⁵ – áreas localizadas em comunidades e assentamentos rurais de municípios do Sertão do Apodi, RN.

Tabela 5: Padrões de águas de reuso para fins agrícolas

Parâmetros	Unidade	Padrão	Referência	Resultados/autores
pH	-	5,0 – 9,0	Brasil (2020)	(4,94 – 8,07) ^a ; 7,74 ^b ; 7,40 ^c ; 7,30 ^d ; 7,74 ^e ; 7,70 ^f ; 7,31 ^g ; 7,34 ^h ; (6,87 ^A ; 6,88 ^B e 6,95 ^C) ⁱ ; 7,60 ^j ; (7,50 – 8,90) ^k ; (6,90 – 7,40) ^l ; 7,50 ^m ; 8,20 ⁿ ; 7,20 ^o ; (6,80 – 7,10) ^q ; (6,50 – 7,60) ^r ; (7,60 e 7,42) ^{s?} ; (6,90 – 7,60) ^D ; 7,30 – 7,80 ^E e 6,50 – 7,40 ^F) ^u ; (5,16 – 8,76) ^v ; 6,58 ^w
<i>E. coli</i>	NMP 100 mL ⁻¹	≤ 1.000 [#] ≤ 10.000 [@]		(11 – 110.000) ^a ; 460.000 ^c ; 2.200 ^d ; 29.000 ^{f%} ; 9.800 ^h ; (1.700.000 – 240.000.000) ^k ; 6.000 ⁿ ; (1.020 – 6.400) ^q ; (1,8 – 45,0) ^r ; (1,8 – 3.900,0) ^t ; (1.360 – 4.260.000) ^v ; 1.800.000 ^w
CE	dS m ⁻¹	≤ 3,0	Almeida (2010)	(1,61 – 2,30) ^a ; 0,24 ^b ; 1,75 ^c ; 0,98 ^d ; 1,70 ^e ; 12,80 ^f ; 1,39 ^g ; 1,10 ^h ; (2,14 ^A ; 1,99 ^B e 1,88 ^C) ⁱ ; 0,96 ^j ; (1,92 – 2,43) ^{k+} ; (1,03 – 1,12) ^l ; 0,74 ^m ; 1,39 ⁿ⁺ ; 2,10 ^o ; 1,66 ^p ; (0,65 – 0,96) ^{q+} ; (1,70 – 2,10) ^r ; (1,09 e 1,54) ^{s?} ; (4,20 – 6,30) ^t ; (1,40 – 2,20) ^D ; 1,60 – 1,70 ^E e 0,40 – 2,00 ^F) ^u ; (1,16 – 1,25) ^v ; 1,18 ^w

N-NO ₃ ⁻		≤ 10,0	(1,60 – 13,00) ^a ; 19,49 ^b ; 0,07 ^c ; 0,90 ^e ; 1,31 ^f ; (2,14 – 15,88) ^l ; 124,00 ^o [§] ; (2,24 e 1,10) ^{s?} ; 7,30 ^w
N-NH ₄ ⁺		≤ 5,0	4,51 ^b ; 20,16 ^c ; 6,07 ^e ; (100,90 – 183,00) ^k ; (28,58 – 31,56) ^l ; 4,47 ^m ; 15,00 ⁿ ; (14,00 – 84,00) ^r
P-PO ₄ ³⁻	mg L ⁻¹	≤ 2,0	(2,98 – 24,61) ^a ; 8,43 ^b ; 3,16 ^c ; 2,76 ^e ; 7,80 ^h ; (10,30 ^A ; 8,70 ^B e 9,40 ^C) ⁱ ; (5,50 – 9,80) ^k ; (6,73 – 7,85) ^l ; 0,25 ^m ; 8,90 ⁿ ; 10,70 ^p ; (4,70 – 11,60) ^q ; (7,90 – 20,80) ^r ; (17,50 e 12,87) ^{s?} ; 3,72 ^w
K ⁺		≤ 2,0	8,50 ^c ; 22,04 ^f ; 32,05 ^g [^] ; 23,70 ^h ; (43,60 ^A ; 42,40 ^B e 53,60 ^C) ⁱ ; 109,45 ^j [§] ; (107,00 – 112,00) ^k ^{^^} ; (27,36 – 28,14) ^l [§] ; 16,81 ^m [§] ; 43,78 ^o [§] ; 54,73 ^p [§] ; (2,30 – 17,50) ^q ; (15,60 – 90,90) ^r ; (230,10 e 269,10) ^{s?} ; 52,77 ^w [§]
Ca ²⁺		≤ 20,0	1,60 ^b [*] ; 9,05 ^c [*] ; 3,91 ^e [*] ; 7,00 ^f [§] ; 3,88 ^g ; 1,21 ^h ^s ; (7,76 ^A ; 5,46 ^B e 7,52 ^C) ⁱ [*] ; 0,60 ^j [§] ; (0,39 – 0,41) ^k ^{^^} ; (0,87 – 0,97) ^l [§] ; 1,21 ^m [§] ; 3,74 ^o [§] ; 2,90 ^p [§] ; (6,00 – 26,95) ^q [*] ; (0,92 e 0,79) ^{s?} ; 7,16 ^w ^s
Mg ²⁺		≤ 5,0	3,35 ^b [*] ; 1,80 ^c [*] ; 1,25 ^e [*] ; 9,00 ^f [§] ; 4,44 ^g ; 0,76 ^h ^s ; (3,68 ^A ; 5,18 ^B e 2,78 ^C) ⁱ [*] ; (1,75 – 2,12) ^l [§] ; 0,78 ^m [§] ; 1,73 ^o [§] ; 3,20 ^p [§] ; (6,50 – 9,88) ^q [*] ; (1,08 e 2,42) ^{s?} ; 6,15 ^w ^s
Na ⁺	meq L ⁻¹	≤ 40,0	1,44 ^c [*] ; 6,76 ^d [§] ; 3,17 ^f [*] ; 5,50 ^g ; 7,03 ^h ^s ; (4,31 ^A ; 5,07 ^B e 4,86 ^C) ⁱ [*] ; 7,10 ^j [§] ; (3,91 – 6,74) ^k ^{^^} ; (3,16 – 3,30) ^l [§] ; 5,07 ^m [§] ; 5,78 ^o [§] ; 10,10 ^p [§] ; (0,78 – 7,76) ^q [*] ; (2,40 e 4,52) ^{s?} ; 9,39 ^w ^s
HCO ₃ ⁻		≤ 10,0	7,75 ^f [§] ; 6,83 ^g ; 2,40 ^j ; (6,60 – 6,77) ^l [§] ; 2,70 ^m [§] ; 4,60 ^p [§] ; (0,40 e 0,00) ^{s?} ; 8,90 ^w ^s
Cl ⁻		≤ 30,0	2,57 ^b [*] ; 9,58 ^c [*] ; 5,40 ^e [*] ; 6,00 ^f [*] ; 8,47 ^g ; 2,30 ^h ^s ; (4,83 ^A ; 4,49 ^B e 5,25 ^C) ⁱ [*] ; (3,50 – 3,75) ^l [§] ; 8,00 ^m [§] ; 4,82 ^o [§] ; 13,00 ^p [§] ; (0,40 – 2,42) ^q [*] ; (2,50 e 3,75) ^{s?} ; (7,20 – 24,00) ^D ; 7,60 – 15,00 ^E e 3,40 – 26,00 ^F) ^u ; 14,70 ^w ^s
RAS	(mmol _c L ⁻¹) ^{0,5}	≤ 15,0	0,62 ^c ^{&} ; 6,22 ^d ; 1,12 ^f ^{&} ; 2,70 ^g ; 7,08 ^h ^{&} ; (1,80 ^A ; 2,20 ^B e 2,14 ^C) ⁱ ; (2,65 – 2,76) ^l ^{&} ; 5,50 ^m ; 3,50 ^o ^{&} ; 5,78 ^p ^{&} ; (0,31 – 1,81) ^q ^{&} ; (2,40 e 3,57) ^{s?} ; (0,60 – 5,50) ^D ; 0,50 – 14,00 ^E e 0,60 – 6,20 ^F) ^u ; 4,07 ^w

E. coli – *Escherichia coli* (coliformes termotolerantes); CE – condutividade elétrica; N-NO₃⁻ – nitrato; N-NH₄⁺ – nitrogênio amoniacal; P-PO₄³⁻ – fósforo (fosfato); K⁺ – potássio; Ca²⁺ – cálcio; Mg²⁺ – magnésio; Na⁺ – sódio; HCO₃⁻ – bicarbonatos; Cl⁻ – cloreto; RAS – razão de adsorção de sódio; # – alimentos consumidos crus e cuja parte comestível tenha contato com o solo; @ – outras culturas e pastagens; ^a – Feitosa et al. (2011); ^b – Alves et al. (2012); ^c – Sousa Neto et al. (2012); ^d – Azevedo et al. (2013) e Oliveira et al. (2014); ^e – Feitosa et al. (2015); ^f – Batista et al. (2017); ^g – Barros et al. (2018); ^h – Lemos et al. (2018); ⁱ – Dantas et al. (2019a); ^j – Tavares et al. (2019); ^k – Torres et al. (2019); ^l – Azevedo Júnior et al. (2020); ^m – Melo et al. (2020b); ⁿ – Costa et al. (2021); ^o – Lima et al. (2021); ^p – Araújo et al. (2022); ^q – França et al. (2022); ^r – Carvalho (2023); ^s – Melo et al. (2023); ^t – Almeida (2024); ^u – Araújo e Dias (2024); ^v – Cunha et al. (2024); ^w – Dias (2024); ^{A, B e C} – valores obtidos sob tratamento do esgoto doméstico com reator UASB, sistema decanto-digestor e filtragem anaeróbica e filtragem anaeróbica, respectivamente; [?] – valores obtidos para esgoto doméstico e água cinza, respectivamente; ^{D e E} – amostras de água cinza coletadas em duas unidades produtivas em comunidade rural de Encanto, RN; ^F – amostra de água cinza coletada em unidade produtiva em comunidade rural de São Miguel, RN; [§] – valor expresso originalmente em NMP mL⁻¹; ^{*} – valor expresso originalmente em μS cm⁻¹; [^] – valor expresso originalmente em meq L⁻¹; [§] – valores expressos originalmente em mmol_c L⁻¹; ^{^^} – valor expresso originalmente em ppm; ^{*} – valores expressos originalmente em mg L⁻¹; [&] – valores calculados.

Para o pH das águas residuárias, os valores registrados nos diferentes estudos encontram-se dentro da faixa recomendada para o reuso agrícola (Tabela 5). Uma vez utilizadas para irrigação, essas águas podem influenciar diversos processos biológicos e químicos no solo. No estudo de Feitosa et al. (2011), uma miniestação foi instalada em uma residência para o tratamento de água cinza, onde os valores de pH (4,94 – 8,07) variaram de acordo com o ponto de coleta (à montante do filtro, à jusante do filtro, à jusante do sistema alagado construído e no reator solar) e período da amostragem. Variações de pH (5,16 – 8,76) na mesma magnitude foram registradas por Cunha et al. (2024) também com água cinza (sob tratamentos em tanque de equalização e reator ultravioleta). Essas variações podem ser explicadas por diversos fatores ligados tanto às características da água de entrada (variação da sua composição ao longo do tempo em função das atividades realizadas) quanto aos componentes dos sistemas de tratamento. Também com água cinza, menores variações nos valores de pH (6,90 – 7,60; 7,30 – 7,80 e 6,50 – 7,40) foram registradas por Araújo e Dias (2024), de acordo com o local e período de coleta.

De forma similar, os valores de pH variaram conforme o ponto de coleta (6,90 – 7,40) (Azevedo Júnior et al., 2020) e período da amostragem (6,80 – 7,10) (França et al., 2022) e (6,50 – 7,60) (Carvalho, 2023). No entanto, nesses estudos as variações dos valores de pH foram mínimas; em parte, pode ser explicado pela origem das águas residuárias. No primeiro estudo, as amostras analisadas foram coletadas em três pontos distintos da estação de tratamento de esgoto (ETE) doméstico de uma comunidade rural: antes da ETE, depois da ETE e no reservatório utilizado para acumular o efluente para irrigação. No segundo estudo, a água cinza (cozinha e dos chuveiros) originada de uma república estudantil foi tratada em biofiltro. Para o terceiro estudo, o esgoto doméstico foi tratado em fossa séptica biodigestora.

Em geral, nos estudos de Alves et al. (2012), Sousa Neto et al. (2012), Oliveira et al. (2014), Feitosa et al. (2015), Batista et al. (2017) e Lima et al. (2021), os valores de pH de águas residuárias de esgoto doméstico tratado foram na mesma magnitude (7,74; 7,40; 7,30; 7,74; 7,70 e 7,20, respectivamente). Assim como também no estudo de Melo et al. (2023), com valores de pH de 7,60 e 7,42 para esgoto doméstico tratado e água cinza, respectivamente. No estudo de Dantas et al. (2019a), os valores de pH de esgoto doméstico sob diferentes tratamentos foram na mesma magnitude (6,87; 6,88 e 6,95).

Os padrões microbiológicos, particularmente aqueles expressos pela presença de coliformes termotolerantes, desempenham um papel crucial na avaliação da qualidade microbiológica das águas residuárias (Jesus et al., 2020; Silva et al., 2022b). Esses coliformes, um grupo de bactérias que inclui a *Escherichia coli*, são amplamente utilizados como indicadores de contaminação fecal, uma vez que sua presença pode sinalizar a introdução de material fecal e, conseqüentemente, a possível presença de microrganismos patogênicos (Araújo e Andrade, 2020). Conforme os padrões microbiológicos apresentados na Tabela 5, o nível populacional de coliformes termotolerantes deve ser inferior a 1.000 NMP 100 mL⁻¹ para espécies vegetais destinadas ao consumo cru; já para culturas que não são consumidas cruas, o limite permitido deve ser inferior a 10.000 NMP 100 mL⁻¹. Esses critérios visam garantir a segurança microbiológica dos alimentos e minimizar riscos à saúde pública.

Conforme os estudos apresentados na Tabela 5, os níveis populacionais de coliformes termotolerantes (2.200 NMP 100 mL⁻¹) (Azevedo et al., 2013), (6.000 NMP 100 mL⁻¹) (Costa et al., 2021), (1.020 – 6.400 NMP 100 mL⁻¹) (França et al., 2022), (1,8 – 45,0 NMP 100 mL⁻¹) (Carvalho, 2023) e (1,8 – 3.900,0 NMP 100 mL⁻¹) (Almeida, 2024) variaram dentro dos padrões. No estudo realizado por Feitosa et

al. (2011), observaram-se que, independentemente do período de amostragem, o nível de coliformes termotolerantes na água cinza coletada à montante do filtro, que atingiu 110.000 NMP 100 mL⁻¹, não atendeu aos critérios estabelecidos para o reuso agrícola. No estudo realizado por Cunha et al. (2024), também utilizando água cinza e diferentes períodos de amostragem, o critério para reuso foi atendido em apenas uma amostra do reator ultravioleta, com um nível de 1.360 NMP 100 mL⁻¹. Em contraste, as amostras provenientes do tanque de equalização apresentaram concentrações significativamente superiores, chegando a 4.260.000 NMP 100 mL⁻¹.

Esses resultados destacam a importância de um monitoramento rigoroso e contínuo dos parâmetros microbiológicos das águas residuárias antes de seu uso para fins agrícolas. A presença de microrganismos patogênicos representa uma potencial ameaça à saúde pública e pode causar a contaminação do solo, comprometendo a sustentabilidade e a segurança do sistema agrícola.

Além do aporte hídrico, as águas residuárias também contribuem com nutrientes essenciais, reduzindo, assim, a necessidade de utilização de fertilizantes industriais (Guimarães et al., 2018; Jesus et al., 2020). É evidente que a concentração de nutrientes presentes nas águas residuárias influencia diretamente a condutividade elétrica (CE). Quando essas águas são aplicadas ao solo, os sais tendem a se acumular na zona radicular. Caso não ocorra uma lixiviação adequada, esse acúmulo pode levar à salinização do solo, resultando em possíveis prejuízos à produção agrícola. De acordo com a Tabela 5, com exceção dos estudos de Batista et al. (2017), que registraram valor de CE de 12,80 dS m⁻¹ e de Almeida (2024), com valores variando entre 4,20 e 6,30 dS m⁻¹, os demais resultados de CE atenderam aos critérios estabelecidos para o nível de salinidade tolerado pelas culturas agrícolas.

O íon sódio (Na⁺) é o principal responsável pelo processo de salinização do solo. Altas concentrações de Na⁺ e cloreto (Cl⁻) podem causar toxicidade às plantas, comprometendo seu desenvolvimento e produtividade. As concentrações de Na⁺ e Cl⁻ nos estudos apresentados na Tabela 5 encontram-se dentro dos padrões estabelecidos para o reuso de águas residuárias na agricultura.

A concentração de Na⁺ nas águas residuárias pode impactar significativamente a permeabilidade (infiltração) do solo, bem como a absorção de nutrientes pelas plantas. Para avaliar adequadamente os efeitos da água de irrigação na redução da capacidade de infiltração do solo, é fundamental considerar, de forma integrada, a razão de adsorção de sódio (RAS) e a salinidade. Conforme os resultados apresentados na Tabela 5, de modo geral, com base na RAS, o uso dessas águas residuárias para irrigação apresenta baixo risco de sodificação do solo.

Efeito do uso de águas residuárias sobre o crescimento das espécies vegetais

Como já mencionado, além de fornecer aporte hídrico, as águas residuárias também oferecem nutrientes essenciais que promovem o crescimento das plantas. Conforme apresentado na Tabela 6, diferentes estratégias foram adotadas para o uso de esgoto doméstico tratado (EDT), destacando-se práticas voltadas para o aproveitamento sustentável e seguro desse recurso na agricultura. Na maioria dos estudos foram utilizadas espécies vegetais que não são destinadas ao consumo humano. Destaca-se, entretanto, o estudo de Batista et al. (2017), demonstrando-se que o uso de EDT na irrigação do mamoeiro não alterou as características físico-químicas dos frutos, mantendo-os dentro dos padrões comerciais e adequados para consumo *in natura*. Destaca-se também o estudo de Tavares et al. (2019), os quais registraram um aumento na produção de frutos de pimentão ao aplicarem diferentes

proporções de EDT. Além disso, os autores asseguraram que os frutos estavam livres de contaminantes, uma vez que não houve contato direto do EDT com a parte aérea das plantas. Uma característica que merece destaque nesses estudos é o uso predominante da irrigação localizada para a aplicação das águas residuárias tratadas. A água é aplicada próxima à região radicular das plantas, minimizando o contato dessas águas com a parte aérea das culturas, incluindo folhas, flores e frutos. Essa característica é essencial, principalmente quando se trata do reuso agrícola, pois reduz significativamente os riscos de contaminação microbiológica dos produtos agrícolas.

Entre os demais estudos, destacam-se aqueles que investigaram espécies com finalidades específicas, como o algodão para produção de fibras (Sousa Neto et al., 2012; Lima et al., 2018; Lima et al., 2019; Lima et al., 2021; Araújo et al., 2020; Araújo et al., 2022), a palma forrageira para alimentação animal (Lemos et al., 2018; Azevedo Júnior et al., 2020; Carvalho, 2023), o girassol voltado para a extração de óleo vegetal e a geração de biomassa destinada a biocombustíveis (Barros et al., 2018; Dantas et al., 2018; Barros et al., 2019; Dantas et al., 2019ab, Dantas et al., 2020) e o girassol ornamental (Melo et al., 2020b).

Diversas estratégias têm sido adotadas para o uso de águas residuárias tratadas na irrigação, especialmente em cenários de escassez hídrica, como aqueles encontrados em muitas regiões semiáridas do Nordeste brasileiro. No estudo de Lima et al. (2021) com o algodoeiro, reportaram que a irrigação exclusiva com efluente doméstico

tratado combinada com adubação mineral potássica, resultou em fibras de melhor qualidade, atendendo aos padrões exigidos pela indústria têxtil. Esses resultados destacam que, embora o efluente tratado contribua significativamente como fonte nutricional, ajustes na fertilização são fundamentais para atender às demandas específicas da cultura e às condições do solo, garantindo a maximização da produtividade e da qualidade do produto final.

Araújo et al. (2022) também estudaram o cultivo do algodoeiro, utilizando irrigação suplementar com EDT em combinação com adubação mineral NPK em diferentes cenários de escassez hídrica. Os resultados mostraram um aumento significativo na produtividade da cultura sob irrigação suplementar com EDT. Esse aumento foi atribuído à maior disponibilidade de nutrientes no solo, fornecidos pelo EDT durante a irrigação, o que promoveu uma melhora na eficiência fotossintética do algodoeiro, potencializando seu desempenho produtivo.

Conforme evidenciado nos estudos de Lemos et al. (2018), Azevedo Júnior et al. (2020) e Carvalho (2023), a palma forrageira é outra espécie que se destaca como uma excelente opção para o uso de EDT na irrigação. Essa cultura é particularmente adaptada a condições adversas, demonstrando notável capacidade de desenvolvimento em sistemas de cultivo em sequeiro. Assim, a irrigação com EDT tem o potencial de intensificar ainda mais o crescimento da palma forrageira, conseqüentemente, promovendo uma maior produtividade.

Tabela 6: Uso de esgoto doméstico tratado para irrigação de diferentes espécies de plantas no Nordeste brasileiro

Cultura/referência	Condições experimentais	Principais resultados
Tomate (<i>Lycopersicon esculentus</i> Mill, variedade ‘Santa Clara’)/Alves et al. (2012) ¹	Em casa de vegetação sob cultivo em bandejas (128 células) preenchidas com substrato de fibra de coco e irrigações com diferentes proporções de esgoto doméstico tratado – EDT (25, 50, 75 e 100%).	O número de folhas, a altura e a massa seca das mudas do tomateiro aumentaram com a proporção de EDT.
Algodão (<i>Gossypium hirsutum</i> L., cv. ‘8H’)/Sousa Neto et al. (2012) ¹	Cultivo em canteiros com solo e irrigações com diferentes proporções de EDT (25, 50, 75 e 100%). Irrigação com microtubos, com vazão de 3,3 L h ⁻¹ .	A área foliar e a massa seca da parte aérea do algodoeiro aumentaram com a proporção de EDT.
Feijão caupi (<i>Vigna unguiculata</i> L.)/Feitosa et al. (2015) ²	Em campo aberto sob cultivo em vasos (6 L) preenchidos com uma mistura de solo e composto orgânico (3:1, respectivamente) e irrigações com diferentes proporções de EDT (20, 50, 80 e 100%).	Os maiores acúmulos de massas de matéria seca das folhas e total foram obtidos sob 100% de EDT.
Mamão (<i>Carica papaya</i> L., híbrido ‘Tainung 1’)/Batista et al. (2017) ³	Em campo aberto sob cultivo em solo e irrigações com diferentes proporções de EDT (33, 67 e 100%). Irrigação com sistema bubbler, com vazão das mangueiras emissoras de 28 L h ⁻¹ .	A qualidade dos frutos do mamoeiro (sólidos solúveis totais – SST, acidez total titulável – ATT, relação SST/ATT e pH) não foi afetada pelas irrigações com EDT.
Girassol (<i>Helianthus annuus</i> L., cv. ‘Catissol 01’)/Barros et al. (2018) ⁴ e Barros et al. (2019) ⁴	Em casa de vegetação sob cultivo em vasos (20 L) preenchidos com solo e irrigações com EDT.	A irrigação com EDT favoreceu uma melhor qualidade das variáveis relacionadas às flores dos girassóis. A irrigação com EDT favoreceu o crescimento das plantas de girassol.
Palma forrageira (<i>Opuntia tuna</i> L., variedade ‘Orelha-de-elefante Mexicana’)/Lemos et al. (2018) ³	Em campo aberto sob cultivo em solo e irrigações com EDT. Irrigação por sulcos, sistema de baixa pressão adaptado com microtubos.	As concentrações de Na ⁺ na palma forrageira aumentaram significativamente quando irrigada com EDT em comparação ao cultivo realizado em condições de sequeiro.
Girassol (<i>Helianthus annuus</i> L., cv. ‘Helio 250’)/Dantas et al. (2019a) ⁵ e Dantas et al. (2019b) ⁵	Em campo aberto sob cultivo em solo e duas lâminas de irrigação (100 e 120% da evapotranspiração da cultura – ETc) com esgoto doméstico (ED) com diferentes tratamentos (reator UASB; sistema decanto-digestor e filtração anaeróbica; filtração anaeróbica). Irrigação por	Independente do tratamento, as maiores concentrações de fósforo e enxofre no capítulo do girassol foram registradas usando ED; para o cálcio, maiores concentrações foram obtidas sob tratamento com reator UASB.

	gotejamento, com vazão dos emissores de 4,0 L h ⁻¹ .	As maiores médias dos componentes de crescimento e produção do girassol foram registradas sob os tratamentos do ED, principalmente usando reator UASB e sistema decanto-digestor com filtragem anaeróbica.
Algodão (<i>Gossypium hirsutum</i> L., cv. 'BRS Rubi')/Lima et al. (2019) ⁵ e Lima et al. (2021) ⁵	Em campo aberto sob cultivo em solo (temperatura média do ar e umidade relativa de 24,6°C e 63,0% durante o período experimental) e diferentes lâminas de irrigação com EDT (50, 75, 100, 125 e 150% da ETc).	A lâmina de irrigação de 100% da ETc com EDT promoveu maior crescimento das plantas e produção de sementes do algodoeiro. As lâminas de irrigação de 75 e 100% da ETc com EDT promoveram as melhores respostas do algodoeiro em termos de produção e qualidade da fibra.
Pimentão (<i>Capsicum annuum</i> L., cv. 'Margarita')/Tavares et al. (2019) ^{1#}	Em casa de vegetação sob cultivo em vasos (12 L) preenchidos com substrato de fibra de coco e irrigações com diferentes proporções de EDT (25, 50, 75 e 100%).	A produção de frutos de pimentão aumentou com a proporção de EDT.
Palma forrageira (<i>Opuntia</i> sp., variedade 'Orelha-de-elefante Mexicana')/Azevedo Júnior et al. (2020) ³	Em campo aberto sob cultivo em solo e irrigações com EDT. Irrigação com sistema bubbler, com vazão das mangueiras emissoras de 80 L h ⁻¹ .	A irrigação com EDT mostrou-se viável para o crescimento e produção da palma em relação ao cultivo em condições de sequeiro.
Girassol (<i>Helianthus annuus</i> L., cv. 'Bonito de Outono Sortido' e cv. 'Sol Vermelho')/Melo et al. (2020b) ¹	Em casa de vegetação sob cultivo em vasos (10 L) preenchidos com substrato de fibra de coco e irrigações com diferentes proporções de água cinza tratada (25, 50, 75 e 100%).	As diferentes proporções de água cinza favoreceram o crescimento das plantas e qualidade das flores dos girassóis.
Algodão (<i>Gossypium hirsutum</i> L., cv. 'BRS 433')/Araújo et al. (2022) ⁶	Em campo aberto sob cultivo em solo e irrigação suplementar com EDT. Irrigação com fita gotejadora, com vazão de 1,6 L h ⁻¹ .	A irrigação suplementar com EDT promoveu ganhos de produção e qualidade da fibra do algodoeiro.
Palma forrageira (<i>Opuntia ficus-índica</i> (L.) Mill.)/Carvalho (2023) ⁷	Em campo aberto sob cultivo em vasos (20 L) preenchidos com solo e irrigações com diferentes proporções de EDT (25, 50, 75 e 100%).	As melhores respostas da palma em termos de crescimento e produção foram obtidas nas maiores proporções de EDT, especialmente na de 75%.

¹ – estudos realizados em Mossoró, RN; ² – estudo realizado em Juazeiro do Norte, CE; ³ – estudos realizados no Assentamento Rural Milagres em Apodi, RN; ⁴ – estudo realizado em Campina Grande, PB; ⁵ – estudos realizados em Ibimirim, PE; ⁶ – estudo realizado em Russas, CE; ⁷ – estudo realizado em Feira de Santana, BA; # – esgoto doméstico tratado coletado no Assentamento Soledade em Apodi, RN.

Efeito do uso de águas residuárias sobre a qualidade do solo

O uso de águas residuárias na irrigação das culturas oferece diversos benefícios, como o aporte hídrico e nutricional. No entanto, se essas águas não forem manejadas de forma adequada, podem trazer riscos potenciais ao solo (Garcia et al., 2012; Oliveira et al., 2014; Alves et al., 2015b; Morais et al., 2016). O uso dessas águas pode resultar em alterações físicas, químicas e microbiológicas no solo. Nesse contexto, Garcia et al. (2012) destaca que, a longo prazo, a irrigação com águas residuárias pode ocasionar prejuízos significativos ao solo, especialmente se não houver um manejo adequado. Entretanto, esses efeitos podem variar principalmente devido às características das águas residuárias utilizadas, ao tipo de solo e à capacidade de extração de nutrientes pelas espécies vegetais (Varallo et al., 2012; Andrade Filho et al., 2013; Dantas et al., 2018).

O excesso de sódio no solo afeta diretamente sua salinidade e os valores da razão de adsorção de sódio (RAS), provocando efeitos adversos como a

dispersão das partículas de argila e a redução da condutividade hidráulica, comprometendo a estrutura e a funcionalidade do solo (Urbano et al., 2017; Dantas et al., 2018). Adicionalmente, conforme destacado por Morais et al. (2016), as águas residuárias contêm inúmeros microrganismos patogênicos, representando uma potencial fonte de contaminação para o solo. A Tabela 7 apresenta as características físico-químicas e microbiológicas dos solos após serem submetidos à irrigação com águas residuárias tratadas, evidenciando os impactos dessa prática nas propriedades do solo. No estudo de Morais et al. (2016), os níveis populacionais de coliformes termotolerantes no solo apresentaram variações conforme o período de amostragem. Durante a estação seca, os valores foram praticamente ausentes, com concentrações variando entre 300 e 420 NMP 100 mL⁻¹. Já na estação chuvosa, os níveis aumentaram, e em um dos pontos de amostragem os valores não atenderam aos critérios estabelecidos para o reuso agrícola, apresentando variações entre 300 e 15.000 NMP 100 mL⁻¹.

Tabela 7: Características físico-químicas e microbiológicas de solos após irrigação com águas residuárias tratadas no Nordeste brasileiro

Tipo de solo/camada avaliada/referência	Condições de cultivo	Principais resultados
Latossolo Vermelho Amarelo e Cambissolo/0–0,20 m/Andrade Filho et al. (2013) ¹	Cultivo com algodão aplicando diferentes proporções de esgoto doméstico tratado (EDT) por 115 dias.	No Latossolo, os valores de pH permaneceram praticamente inalterados, independentemente das proporções de EDT aplicadas. Já no Cambissolo, os valores de pH aumentaram proporcionalmente às quantidades de EDT utilizadas. De forma semelhante, os teores de Na ⁺ apresentaram aumento, sendo esse incremento mais acentuado no Cambissolo.
Cambissolo TA Eutrófico Típico/0–0,20; 0,20–0,40 e 0,40–0,60 m/Azevedo et al. (2013) ² e Oliveira et al. (2014) ²	Cultivo com pimenta malagueta aplicando diferentes proporções de EDT por cinco meses.	Na camada superficial do solo, os valores de CEes aumentaram proporcionalmente às quantidades de EDT aplicadas. Nas demais camadas, os valores apresentaram variações, com tendências de aumento ou redução dependendo da proporção de EDT utilizada. Um comportamento semelhante foi observado para os teores de Na ⁺ no solo.

Neossolo distrófico/0–0,20 m/Andrade et al. (2015) ³	Regolítico	Cultivo com girassol aplicando EDT por 55 dias.	O aumento das proporções de EDT resultou em uma tendência de redução nos valores de pH do solo; contudo, observou-se um aumento desses valores com o aumento da profundidade. Por outro lado, os teores de Zn, Cu, Fe e Mn permaneceram inalterados, independentemente das proporções de EDT aplicadas.
Não informado/0–0,20 e 0,20–0,40 m/Morais et al. (2016) ²		Cultivo com capim-elefante aplicando EDT por cinco meses.	Os valores de Na ⁺ , RAS, HCO ₃ ⁻ , pH e CEes do solo permaneceram praticamente inalterados com o uso de EDT em comparação às irrigações realizadas com água de abastecimento.
Não informado/0–0,20; 0,20–0,40 e 0,40–0,60 m/Oliveira et al. (2016) ⁴		Cultivo com abóbora aplicando EDT por 123 dias.	Coliformes termotolerantes (<i>Escherichia coli</i>) (300 – 15.000 ^a NMP 100 mL ⁻¹ e < 300 – 420 ^b NMP 100 mL ⁻¹)*.
Cambissolo TA Eutrófico Típico/0–0,20 m/Lira et al. (2017) ²		Cultivo com sorgo aplicando EDT.	pH (6,0 – 6,3), CEes (0,14 – 0,17 dS m ⁻¹), K ⁺ (0,3 – 0,4 cmol _c dm ⁻³), Ca ²⁺ (2,3 – 2,7 cmol _c dm ⁻³), Mg ²⁺ (0,9 – 1,2 cmol _c dm ⁻³) e Na ⁺ (0,9 – 1,1 cmol _c dm ⁻³).
Neossolo típico/0–0,20; 0,20–0,40 e 0,40–0,60 m/Dantas et al. (2018) ⁵	Quartzarênico	Cultivo com girassol aplicando esgoto doméstico (ED) com diferentes tratamentos por 50 dias.	CEes (0,43 – 0,50 dS m ⁻¹), Na ⁺ (43,32 – 66,51 mg dm ⁻³) e Mg ²⁺ (1,50 – 3,00 cmol _c dm ⁻³).
Argissolo Amarelo/0–0,20 m/Azevedo Júnior et al. (2020) ²	Vermelho	Cultivo com palma forrageira aplicando EDT por 234 dias.	CEes (1,01 ^c ; 1,21 ^d e 1,43 ^e dS m ⁻¹ /1,40 ^f ; 0,81 ^g e 0,86 ^h dS m ⁻¹), Na ⁺ (5,16 ^c ; 6,37 ^d e 8,24 ^e mmol _c L ⁻¹), RAS (4,05 ^c ; 4,86 ^d e 5,53 ^e (mmol L ⁻¹) ^{0,5}), K ⁺ (0,89 ^f ; 0,44 ^g e 0,49 ^h mmol _c L ⁻¹), Ca ²⁺ (3,68 ^f ; 1,20 ^g e 1,82 ^h mmol _c L ⁻¹) e Mg ²⁺ (2,33 ^f ; 1,29 ^g e 1,25 ^h mmol _c L ⁻¹).
Latossolo Amarelo distrófico/0–0,20 m/Costa et al. (2021) ⁶	Vermelho	Cultivo com ipê roxo aplicando EDT por 60 dias.	pH (5,40 ⁱ ; 6,00 ^j e 6,25 ^k), CEes (0,09; 0,08 e 0,11 dS m ⁻¹), K ⁺ (81,90; 66,70 e 62,70 mg dm ⁻³), Na ⁺ (78,60; 57,60 e 68,60 mg dm ⁻³), Ca ²⁺ (1,35; 1,66 e 1,51 cmol _c dm ⁻³) e Mg ²⁺ (3,22; 2,32 e 2,56 cmol _c dm ⁻³).
Não informado/0–0,20 m/França et al. (2022) ⁷		Cultivo com acerola aplicando água cinza por 90 dias.	Os valores de pH do solo permaneceram praticamente inalterados em relação aos registrados antes do cultivo. De forma semelhante, as concentrações de Ca ²⁺ , Mg ²⁺ e K ⁺ apresentaram variações mínimas ao longo do experimento.
Solo com textura arenosa/0–0,20 m/Carvalho (2023) ⁸		Cultivo com palma forrageira aplicando diferentes proporções de EDT por 215 dias.	pH (7,48 ^l ; 7,43 ^m e 7,51 ⁿ), CEes (0,52; 0,38 e 0,55 dS m ⁻¹) [#] , K ⁺ (0,05; 0,05 e 0,05 cmol _c dm ⁻³), Na ⁺ (0,051; 0,075 e 0,094 cmol _c dm ⁻³), Ca ²⁺ (17,00; 10,85 e 10,75 cmol _c dm ⁻³) e Mg ²⁺ (7,10; 7,20 e 12,90 cmol _c dm ⁻³).
			Os valores de pH do solo permaneceram praticamente inalterados em relação aos registrados antes do cultivo, independentemente das proporções de EDT

Planossolo Háplico/0–0,30 m/Melo et al. (2023) ⁹	Cultivo com moringa aplicando diferentes proporções de água cinza por 30 dias e EDT por mais 80 dias.	aplicadas. Em contrapartida, observou-se um aumento nos teores de K ⁺ e P no solo. Na maior proporção de água residuária, observou-se uma leve redução no pH do solo em relação à condição inicial de cultivo. Em contrapartida, nas demais proporções, os valores de pH apresentaram um aumento. Os teores de Na ⁺ e a CEEs aumentaram proporcionalmente às quantidades de água residuária aplicadas.
Não informado/0–0,20 e 0,20–0,40 m/Dias (2024) ¹⁰	Cultivo com hortaliças aplicando água cinza.	pH (7,26 e 7,52; 7,17 e 7,55), CEEs (0,29 e 0,50; 0,22 e 0,37 dS m ⁻¹), Na ⁺ (18,7 e 271,0; 16,2 e 245,0 mg dm ⁻³), K ⁺ (106,0 e 447; 117,0 e 384 mg dm ⁻³), Ca ²⁺ (6,03 e 7,41; 6,42 e 6,75 cmol _c dm ⁻³) e Mg ²⁺ (2,57 e 3,76; 2,17 e 2,79 cmol _c dm ⁻³).

Zn – zinco; Cu – cobre; Fe – ferro; Mn – manganês; CEEs – condutividade elétrica do extrato de saturação do solo; K⁺ – potássio; Ca²⁺ – cálcio; Mg²⁺ – magnésio; Na⁺ – sódio; P – fósforo; RAS – razão de adsorção de sódio; ¹ – estudo realizado em Mossoró, RN; ² – estudos realizados no Assentamento Rural Milagres em Apodi, RN; ³ – estudo realizado em Campina Grande, PB; ⁴ – estudo realizado em Cravolândia, BA; ⁵ – estudos realizados em Ibimirim, PE; ⁶ – estudo realizado em Caruaru, PE; ⁷ – estudo realizado na localidade Tourão em Juazeiro, BA; ⁸ – estudo realizado em Feira de Santana, BA; ⁹ – estudo realizado no Instituto Nacional do Semiárido em Campina Grande, PB; ¹⁰ – análises realizadas em comunidades e assentamentos rurais de municípios do Sertão do Apodi, RN; ^a – análises realizadas no período chuvoso; ^b – análises realizadas no período seco; ^c, ^d e ^e – valores obtidos sob tratamento do esgoto doméstico com reator UASB, sistema decanto-digestor e filtragem anaeróbica e filtragem anaeróbica, respectivamente; ^f, ^g e ^h – valores obtidos para as profundidades de 0–0,20, 0,20–0,40 e 0,40–0,60 m, respectivamente; * – valores expressos originalmente em NMP mL⁻¹; ⁱ, ^j e ^k – valores obtidos sob irrigação com EDT a cada 7, 14 e 21 dias, respectivamente; ^l, ^m e ⁿ – análises realizadas aos 30, 60 e 90 dias de cultivo, respectivamente;; [#] – valor expresso originalmente em µS cm⁻¹.

Conforme os estudos apresentados na Tabela 7, os valores de pH do solo apresentaram variações que dependeram dos incrementos nas proporções de EDT. Essas variações foram influenciadas por fatores como o tipo de solo (Andrade Filho et al., 2013; Andrade et al., 2015; Costa et al., 2021; Carvalho, 2023), a profundidade (Oliveira et al., 2014) e frequência de amostragem (França et al., 2022), as lâminas (Oliveira et al., 2016) e frequências de irrigação com EDT (Azevedo Júnior et al., 2020). Esses elementos determinaram se os valores de pH permaneceram inalterados, aumentaram ou diminuíram.

O uso de águas residuárias tratadas não resultou em problemas de salinidade do solo, conforme indicado pelos valores da condutividade elétrica do extrato de saturação (CEEs), que se mantiveram dentro de níveis aceitáveis. As variações nos valores de CEEs, conforme observado no estudo de Azevedo et al. (2013), foram mais acentuadas na camada superficial do solo.

Nas camadas mais profundas, os valores apresentaram flutuações, com tendências de aumento ou redução dependendo da proporção de EDT utilizada. Um comportamento semelhante foi relatado no estudo de Dantas et al. (2018).

O Na⁺ é o principal íon responsável por contribuir para a salinidade do solo. De forma semelhante aos valores de CEEs, no estudo de Azevedo et al. (2013), observou-se um comportamento similar nos teores de Na⁺ no solo, com maior acúmulo na camada superficial e variações nas camadas mais profundas, dependendo das proporções de água residuária aplicadas. De forma semelhante, no estudo de Andrade Filho et al. (2013), observou-se que o acúmulo de Na⁺ no solo variou conforme o tipo de solo, apresentando um aumento relacionado às suas características específicas. Nos estudos de Andrade et al. (2015) e Oliveira et al. (2016), os valores de Na⁺ e CEEs não apresentaram alterações significativas ou as mudanças observadas foram mínimas. Já no

estudo de Lira et al. (2017), os valores de Na^+ e CEes apresentaram variações de acordo com as áreas cultivadas com diferentes cultivares de sorgo.

No estudo de Melo et al. (2023), os teores de Na^+ e a CEes aumentaram proporcionalmente às quantidades de água residuária aplicadas. De forma semelhante, Dias (2024) também registrou variações nos valores de Na^+ e CEes em amostras de solo coletadas em comunidades e assentamentos rurais de municípios do Sertão do Apodi, RN. Nessas localidades, foi implantado o sistema Bioágua Familiar para o tratamento de águas cinzas destinadas ao cultivo de hortaliças.

Efeitos das águas de baixa qualidade na hidráulica de sistemas de irrigação

Como já mencionado, a irrigação localizada oferece diversos benefícios para o uso de águas de baixa qualidade, como as salobras e as residuárias tratadas. Isso ocorre porque a água é aplicada diretamente na zona radicular das plantas, o que reduz os riscos de toxicidade por Na^+ e Cl^- ao utilizar águas salobras, além de minimizar a contaminação por microrganismos na parte aérea das plantas ao empregar águas residuárias. No entanto, a irrigação localizada apresenta maior suscetibilidade ao entupimento dos emissores. Esse problema resulta, principalmente, na redução da uniformidade de aplicação de água e no desempenho hidráulico dos emissores, comprometendo a eficiência do sistema. A Tabela 8 apresenta estudos que avaliaram os coeficientes relacionados à uniformidade de aplicação de águas salobras na irrigação por gotejamento.

No estudo de Silva (2014), foi observada uma redução na uniformidade de aplicação de água, expressa pelos coeficientes de uniformidade de Christiansen (CUC) e de distribuição (CUD), com o aumento do número de horas de funcionamento do sistema de irrigação. As maiores variações foram registradas sob os maiores níveis de salinidade (CEa de 3,5 e 4,5 dS m^{-1}). Além disso, essas variações nos coeficientes

também foram influenciadas pelas pressões de operação do sistema de irrigação. No entanto, essas variações foram mínimas, não ultrapassando 3,0%. Quanto ao grau de entupimento (GE) dos emissores, os valores foram ligeiramente menores nos maiores níveis de salinidade. Menores valores de GE indicam uma maior passagem livre da água pelos emissores. No estudo de Silva (2014), observou-se que a redução no GE ocorreu quando foram aplicadas as maiores pressões de serviço.

Em um estudo semelhante realizado por Zocoler et al. (2015), utilizando os mesmos níveis de salinidade, mas com pressões de serviço diferentes, os valores de CUD apresentaram variações mínimas.

Esses resultados podem indicar a influência do tipo de emissor utilizado no desempenho do sistema de irrigação. Por exemplo, no estudo de Brito et al. (2016), foi observada uma maior uniformidade na aplicação de água salobra ao utilizar gotejadores do tipo labirinto 'in-line'. Por outro lado, o gotejador autocompensante 'on-line' demonstrou maior suscetibilidade à obstrução com o aumento do tempo de uso do sistema de irrigação. Tais diferenças também foram observadas nos estudos de Cunha et al. (2020) e Santos et al. (2021). Ainda no estudo de Brito et al. (2016), os valores de CUC e CUD variaram significativamente em função da quantidade de água salobra aplicada, resultando em uma redução no desempenho do sistema. Esse efeito foi atribuído à maior deposição de sais nos emissores.

De forma semelhante, em estudos com águas residuárias tratadas, foram testados diferentes tipos de gotejadores (Acuña Chinchilla et al., 2016; Costa et al., 2019; Silva et al., 2019b; Rodrigues Filho et al., 2020; Costa et al., 2024a). Esses estudos também analisaram os efeitos do tratamento das águas residuárias sobre o desempenho hidráulico dos gotejadores, conforme apresentado na Tabela 9.

Tabela 8: Irrigação localizada usando águas salobras no Nordeste brasileiro

Condições experimentais	Caracterização e condições de uso do sistema de irrigação	Principais resultados
Em casa de vegetação/uso de águas salobras (1,5; 2,5; 3,5 e 4,5 dS m ⁻¹) aplicadas a diferentes pressões de serviço (60, 100, 140 e 160 kPa)/Silva (2014) ¹	Mangueira gotejadora de 16,1 mm (gotejador autocompensante, com vazão de 2,3 L h ⁻¹). Avaliações da uniformidade após a instalação do sistema, 210 e 350 horas de funcionamento em dois ciclos com girassol.	CUC (97,00 – 98,00% ^a e 97,50 – 96,00% ^b); CUD (97,50 – 94,50% ^a e 97,00 – 94,00% ^b); GE (7,50 – 13,00% ^a e 1,80 – 13,00% ^b).
Em casa de vegetação/uso de águas salobras (1,5; 2,5; 3,5 e 4,5 dS m ⁻¹) aplicadas a diferentes pressões de serviço (59, 98, 137 e 157 kPa)/Zocoler et al. (2015) ¹	Mangueira gotejadora (gotejador autocompensante, com vazão de 2,3 L h ⁻¹).	Os valores de CUD variaram de acordo com os níveis de salinidade e pressões de serviço, entre 94,0 e 97,5%.
Em campo aberto/usando água salobra de poço tubular (CEa de 3,6 dS m ⁻¹)/Brito et al. (2016) ²	Diferentes lâminas aplicadas no abacaxizeiro (50, 75, 100 e 125% da evapotranspiração da cultura – ETc) via irrigação por gotejamento (emissores autocompensantes ‘on line’, com vazão de 8,0 L h ⁻¹). Diferentes lâminas aplicadas na cultura da palma forrageira (7, 15, 33, 50 e 100% da evapotranspiração de referência – ET _o) via irrigação por gotejamento (emissores tipo labirinto ‘in line’, com vazão de 4,0 L h ⁻¹). Avaliações da uniformidade aos 180 e 360 dias de experimento.	CUC (66,06 – 87,10% ^c e 51,50 – 81,01% ^d ; 97,88 – 98,76% ^e e 87,68 – 96,14% ^f) e CUD (65,84 – 84,97% ^c e 56,85 – 77,65% ^d ; 97,09 – 98,42% ^e e 80,31 – 93,64% ^f).
Em laboratório/uso de águas salobras de poços profundos (0,52 – 0,81; 0,56 – 1,09 e 1,46 – 2,56 dS m ⁻¹)/Cunha et al. (2020) ³	Três modelos de gotejadores (Netafim Streamline 16100, Naandanjain/Taldrip e Amanco/Drip, com vazões de 1,60; 1,70 e 1,60 L h ⁻¹ , respectivamente) sob diferentes tempos de operação (100, 250, 500 e 750 h).	Os valores de CUD variaram de acordo com os níveis de salinidade e tempos de operação do sistema.
Em campo aberto/usando água salobra de poço tubular (CEa de 2,91 dS m ⁻¹)/Santos et al. (2021) ²	Diferentes tipos de emissores (fita gotejadora com vazão de 3,8 L h ⁻¹ ; gotejador Irritec com 4,0 L h ⁻¹ ; gotejador Netafim com 4,0 L h ⁻¹ ; gotejador Irritec com 8,0 L h ⁻¹ ; gotejador Netafim com 8,0 L h ⁻¹ ; gotejador Agrojet com 10,0 L h ⁻¹ ; gotejador Irritec ajustável com 12,0 L h ⁻¹ ; gotejador Netafim 12,0 L h ⁻¹) simulando a lâmina de irrigação da palma forrageira.	CUC (92,17 – 98,06%) e CUD (88,93 – 97,04%).

¹ – estudos realizados em Campina Grande, PB; ² – estudo realizado em Guanambi, BA; ³ – estudo realizado em Mossoró, RN; CUC – coeficiente de uniformidade de Christiansen; CUD – coeficiente de uniformidade de distribuição; GE – grau de entupimento; ^a e ^b – valores obtidos após 210 e 350 horas de funcionamento do sistema de irrigação, respectivamente; ^c e ^d – valores obtidos nas avaliações realizadas 180 e 360 dias de experimento com abacaxizeiro, respectivamente; ^e e ^f – valores obtidos nas avaliações realizadas 180 e 360 dias de experimento com a palma forrageira, respectivamente.

Tabela 9: Irrigação localizada usando águas residuárias tratadas no Nordeste brasileiro

Condições experimentais/referência	Caracterização e condições de uso do sistema de irrigação	Principais resultados
Em campo aberto/usando diferentes tratamentos do esgoto doméstico (reator UASB + lagoa de polimento; decanto digestor + filtro digestor + lagoa de estabilização; filtro digestor + lagoa de estabilização)/Silva et al. (2012) ¹	Mangueira gotejadora (gotejador externo, com vazão de 3,75 L h ⁻¹). Avaliações da uniformidade no início, aos 69 e 120 dias de experimento com a mamona.	Vazão média (4,14; 4,14 e 4,06) ^a e (4,15; 4,07 e 4,39) ^b ; CUD (87,90; 84,00 e 88,30%) ^a e (53,80; 70,00 e 45,70%) ^b
Em campo aberto/usando diferentes tratamentos do esgoto doméstico (reator UASB, decanto digestor + filtro anaeróbico e filtro anaeróbico)/Dantas et al. (2014) ¹	Tubo gotejador de 16,0 mm, com vazão de 4,0 L h ⁻¹ . Avaliações da uniformidade no início, aos 7, 18, 32, 58, 67 e 101 dias após a semeadura (DAS) do girassol.	Independentemente do tratamento aplicado ao esgoto doméstico e do tempo de operação do sistema, as variações nos valores de CUC e CUD foram mínimas com a lâmina de irrigação de 100% da evapotranspiração da cultura (ET _c). No entanto, com o incremento de 20% no volume de água (120% da ET _c), observou-se uma maior dispersão nos valores de CUC e CUD.
Em campo aberto/usando diferentes tratamentos do esgoto doméstico (reator UASB + lagoa de estabilização; digestor anaeróbico + filtro digestor + lagoa de estabilização; filtro digestor + lagoa de estabilização)/Acuña Chinchilla et al. (2016) ¹	Diferentes tipos de emissores (gotejador interno autocompensante, com vazão de 2,0 L h ⁻¹ ; gotejador interno não autocompensante, com vazão de 2,0 L h ⁻¹ ; gotejador externo autocompensante de saída superior, vazão de 2,0 L h ⁻¹ ; gotejador externo autocompensante de saída lateral dupla, vazão de 2,2 L h ⁻¹) simulando a lâmina de irrigação do algodoeiro. Avaliações da uniformidade no início, com 7 e 55 horas de funcionamento do sistema.	A uniformidade da irrigação, expressa pelo CUD, variou conforme o tipo de gotejador, a técnica utilizada para o tratamento do esgoto doméstico e o tempo de aplicação do sistema.
Em campo aberto/usando diferentes proporções de esgoto doméstico (25, 50, 75 e 100%)/Fernandes et al. (2017) ²	Mangueira gotejadora (gotejador tipo labirinto não autocompensante, com vazão de 1,65 L h ⁻¹). Avaliações da uniformidade no início, 42, 84 e 133 h da aplicação do esgoto doméstico.	Os valores de CUC e CUD diminuíram de forma mais acentuada ao utilizar maiores proporções de esgoto doméstico (75 e 100%) ao longo das horas de operação das unidades de irrigação.

<p>Em laboratório/usando esgoto doméstico tratado/Silva et al. (2019b)³ e Rodrigues Filho et al. (2020)³</p>	<p>Quatro modelos de gotejadores não autocompensantes (Netafim Super Typhoon, Netafim Tiran, Netafim Streamline e Naan Dan Jain Tal Drip, com vazões de 1,60; 2,00; 1,60 e 1,70 L h⁻¹, respectivamente) sob diferentes tempos de operação (80, 160, 240, 320 e 400 h).</p>	<p>As vazões dos quatro tipos de gotejadores reduziram progressivamente com o aumento do tempo de operação das unidades de irrigação. Os valores de CUD apresentaram uma redução ao longo do tempo de operação das unidades de irrigação que utilizavam quatro diferentes tipos de gotejadores.</p>
<p>Em laboratório/usando água residuária tratada em reator UASB/Lima et al. (2023b)⁴</p>	<p>Mangueira gotejadora de 17,0 mm (gotejador integrado não autocompensante, com vazão de 1,7 L h⁻¹). Avaliações da uniformidade no início e 600 h da aplicação de água residuária.</p>	<p>A vazão média dos emissores reduziu significativamente com o tempo de operação do sistema de irrigação.</p>
<p>A céu aberto em Unidade Experimental de Reuso de Água (UERA)/água residuária sanitária/Costa et al. (2024a)³</p>	<p>Três tipos de gotejadores (Plastro Hydro-drip Super e Netafim Tiran não autocompensantes e Netafim PCJ-CNJ autocompensante, com vazões de 1,65; 2,00 e 2,00 L h⁻¹, respectivamente). Avaliações da uniformidade após a instalação do sistema, 80, 160, 240, 320 e 400 horas de funcionamento.</p>	<p>CUC (97,73; 51,18; 67,86; 60,86; 58,38; 57,89%)^c, (96,75; 97,04; 96,66; 96,04; 95,21; 92,33%)^d e (98,10; 97,80; 96,47; 90,26; 91,64; 85,25%)^e.</p>
<p>Em laboratório/usando esgoto doméstico tratado/Costa et al. (2024b)⁴</p>	<p>Dois tipos de mangueira gotejadora (Azud Sprint e Petroisa Tiquira não autocompensante, com vazões de 1,6 e 1,5 L h⁻¹, respectivamente). Avaliações da uniformidade com 576 h de funcionamento do sistema com esgoto doméstico.</p>	<p>Vazão média (1,25 e 0,95 L h⁻¹)^f, CUD (48,97 e 16,69%) e GE (21,93 e 47,22%).</p>

¹ – estudos realizados em Ibimirim, PE; ² – estudo realizado no Assentamento Rural Milagres em Apodi, RN; ³ – estudos realizados em Mossoró, RN; ⁴ – estudo realizado em Campina Grande, PB; CUC – coeficiente de uniformidade de Christiansen; CUD – coeficiente de uniformidade de distribuição; GE – grau de entupimento; ^a – valores obtidos na avaliação realizada aos 69 dias para o esgoto doméstico tratado com reator UASB + lagoa de polimento (UASB + LP), decanto digestor + filtro digestor + lagoa de estabilização (DD + FD + LE) e filtro digestor + lagoa de estabilização (FD + LE), respectivamente; ^b – valores obtidos na avaliação realizada aos 120 dias para o esgoto doméstico tratado com UASB + LP, DD + FD + LE e FD + LE, respectivamente; G1 – gotejador interno autocompensante; G2 – gotejador interno não autocompensante; G3 – gotejador externo autocompensante de saída superior; G4 – gotejador externo autocompensante de saída lateral dupla; ^c – valores obtidos usando o gotejador Plastro Hydro-drip Super com 0, 80, 160, 240, 320 e 400 horas de funcionamento, respectivamente; ^d – valores obtidos usando o gotejador Netafim Tiran com 0, 80, 160, 240, 320 e 400 horas de funcionamento, respectivamente; ^e – valores obtidos usando o gotejador Netafim PCJ-CNJ com 0, 80, 160, 240, 320 e 400 horas de funcionamento, respectivamente; ^f – valores obtidos usando as mangueiras gotejadoras Azud Sprint e Petroisa Tiquira, respectivamente.

No estudo de Silva et al. (2012), as vazões médias dos gotejadores permaneceram praticamente constantes ao longo das avaliações, independentemente dos diferentes tratamentos aplicados ao esgoto doméstico. Quanto ao CUD, na primeira avaliação, realizada aos 69 dias, os valores foram semelhantes entre os diferentes tratamentos aplicados ao esgoto doméstico. No entanto, na avaliação realizada aos 120 dias, os valores de CUD apresentaram uma redução geral, especialmente para o tratamento que utilizou filtro digestor associado a uma lagoa de estabilização. A menor eficiência na remoção de sólidos suspensos totais por esse método foi provavelmente a principal causa das baixas uniformidades observadas.

Em um estudo conduzido por Dantas et al. (2014) no mesmo local, além dos diferentes tratamentos aplicados ao esgoto doméstico, foram utilizadas duas lâminas de irrigação (100 e 120% da evapotranspiração da cultura – ETc). Ao aplicar a maior lâmina de irrigação com águas provenientes dos diferentes tratamentos de esgoto doméstico, observaram-se uma maior dispersão nos valores de CUC e CUD ao longo das avaliações. Segundo os autores, esse comportamento pode ser parcialmente explicado pelo maior tempo de operação necessário para aplicar a lâmina de irrigação, o que aumenta a tendência de incrustações nas paredes internas dos tubos gotejadores.

Além do tipo de tratamento empregado no esgoto doméstico, o desempenho hidráulico do sistema de irrigação está intimamente relacionado ao tipo de emissor utilizado, como observado por Acuña Chinchilla et al. (2016). O uso do gotejador G4 não foi recomendado para irrigação com esgoto doméstico tratado, pois, após 55 horas de funcionamento, os gotejadores estavam praticamente obstruídos, resultando em um CUD próximo de 0%. Nessa mesma avaliação, o gotejador G2 apresentou desempenho inferior sob os tratamentos de esgoto doméstico com UASB + LE e digestor anaeróbio (DA) +

FD + LE, alcançando CUDs próximos de 60 e 50%, respectivamente. Esses valores foram menores em comparação aos gotejadores G1 e G3, que apresentaram CUDs próximos de 70 e 60%, respectivamente. Sob o tratamento com FD + LE, o gotejador G3 apresentou um CUD inferior, próximo de 60%, em comparação aos gotejadores G1 e G2, que alcançaram valores próximos de 70%. De forma semelhante, no estudo de Costa et al. (2024a), um tipo de gotejador apresentou uma redução drástica no CUC ao atingir 80 horas de operação. Para outros dois tipos de gotejadores, ao alcançar 320 horas de operação, os valores de CUC permaneceram próximos de 92 e 95%. Após 576 horas de funcionamento do sistema com esgoto doméstico, Costa et al. (2024b) registraram baixos valores de CUD (48,97 e 16,69%) e elevados graus de entupimento (21,93 e 47,22%) para dois tipos de gotejadores.

Ao testar quatro diferentes gotejadores, observou-se um comportamento semelhante entre eles em termos de redução das vazões (Silva et al., 2019b) e dos valores de CUD (Rodrigues Filho et al., 2020) em função do tempo de operação das unidades de irrigação. Ainda de acordo com os autores, esse comportamento foi atribuído à obstrução causada pelo biofilme formado pela interação entre agentes físico-químicos e microbiológicos presentes no esgoto sanitário tratado, o que resultou no entupimento parcial dos gotejadores.

Em resumo, o processo que leva ao entupimento dos gotejadores é complexo e o fenômeno é influenciado por vários parâmetros relacionados a qualidade da água, como a concentração de sólidos suspensos e a composição química (Silva et al., 2019b; Lequette et al., 2020). No estudo de Fernandes et al. (2017), após 133 horas de operação das unidades de irrigação, as maiores proporções de esgoto doméstico (75 e 100%) resultaram em menores valores de CUC (47 e 54%, respectivamente) em comparação com as proporções de 25 e 50%, que apresentaram valores de 72%.

Conclusões

Diante do cenário das mudanças climáticas, a produção de alimentos torna-se vulnerável à variação da disponibilidade hídrica. Nesse contexto, as regiões semiáridas, como o Nordeste brasileiro, enfrentam secas prolongadas, o que compromete a produção agrícola e a oferta de alimentos, tanto para o consumo humano quanto animal. Como resposta a esse desafio, a busca por fontes hídricas de qualidade inferior tem se consolidado como uma alternativa para garantir a convivência com as condições hídricas dessas regiões. Neste contexto, no presente trabalho realizou-se uma revisão abrangente da literatura, com o objetivo de destacar as contribuições científicas relacionadas ao uso de águas salobras e águas residuárias domésticas tratadas para irrigação no Nordeste brasileiro. Com base nessas informações, as conclusões obtidas foram as seguintes:

1) O uso de águas salobras é uma alternativa viável para regiões com escassez hídrica; especialmente quando selecionados materiais vegetais tolerantes à salinidade, bem como a adoção de estratégias (alternâncias de acordo com a fase fenológica da cultura, irrigação por pulsos, entre outras) para mitigar o estresse salino.

2) Outra fonte com grande potencial para expandir as áreas irrigadas é o uso de águas residuárias tratadas, especialmente para o cultivo de espécies forrageiras destinadas à alimentação animal.

3) Outro aspecto importante é a adoção da irrigação localizada para a aplicação dessas águas de qualidade inferior, já que um dos principais desafios é o risco de entupimento dos emissores e contaminação da parte colhida.

Referências

Abdelsalam, H.; Mostafa, H.; El-Ansary, M.; Awad, M.; Sultan, W. Evaluation of saline and magnetized water on emitter hydraulic performance and clogging in drip irrigation. *Scientific Reports*, v. 14, 7339, 2024. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-57543-8>

Acuña Chinchilla, S. R. Performance de emissores em irrigação por gotejamento com uso de esgoto doméstico tratado. Recife: Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2016. 108p. Dissertação de Mestrado.

Almeida, G. C. Reúso de água e cobertura morta no cultivo de forrageiras consorciadas no Agreste pernambucano. Recife: Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2024. 146p. Tese de Doutorado.

Almeida, O. Á. Qualidade da água de irrigação. 1. ed. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2010. 234p.

Almeida, W. F.; Paz, V. P. S.; Jesus, A. P. C.; Silva, J. S.; Gonçalves, K. S.; Oliveira, A. S. Yield of green beans subjected to continuous and pulse drip irrigation with saline water. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 22, n. 7, p. 476-481, 2018. <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v22n7p476-481>

Alves, F. A. L.; Silva, S. L. F.; Maia, J. M.; Freitas, J. B. S.; Silveira, J. A. G. Regulação do acúmulo de Na⁺ e resistência à salinidade em (*Vigna unguiculata* (L.) Walp). *Pesquisa Agropecuária Pernambucana*, v. 20, n. 1, p. 1-10, 2015a. <http://dx.doi.org/10.12661/pap.2015.001>

Alves, P. F. S.; Santos, S. R.; Kondo, M. K.; Pegoraro, R. F.; Araújo, E. D. Soil physical attributes in chemigated banana plantation with wastewater. *Engenharia Agrícola*, v. 35, n. 6, p. 998-1008, 2015b. <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v35n6p998-1008/2015>

Alves, R. C.; Ferreira Neto, M.; Nascimento, M. L.; Oliveira, M. K. T.; Linhares, P. S. F.; Cavalcante, J. S. J.; Oliveira, F. A. Reutilização de água residuária na produção de mudas de tomate. *Agropecuária Científica no Semi-Árido*, v. 8, n. 4, p. 77-81, 2012. <https://doi.org/10.30969/acsa.v8i4.219>

Andrade, L. O.; Nobre, R. G.; Dias, N. S.; Gheyi, H. R.; Soares, F. A. L.; Nascimento, E. C. S. Morfometria de plantas de girassol ornamental e atributos químicos de um solo irrigado com água residuária e adubado com esterco. *Científica*, v. 43, n. 3, p. 268-279, 2015. <http://dx.doi.org/10.15361/1984-5529.2015v43n3p268-279>

Andrade Filho, J.; Sousa Neto, O. N.; Dias, N. S.; Nascimento, I. B.; Medeiros, J. F.; Cosme,

C. R. Atributos químicos de solo fertirrigado com água residuária no semiárido brasileiro. *Irriga*, v. 18, n. 4, p. 661-674, 2013. <https://doi.org/10.15809/irriga.2013v18n4p661>

Araújo, A. F. B.; Cavalcante, E. S.; Lacerda, C. F.; Albuquerque, F. A.; Sales, J. R. S.; Lopes, F. B.; Ferreira, J. F. S.; Costa, R. N. T.; Lima, S. C. R. V.; Bezerra, M. A.; Gheyi, H. R. Fiber quality, yield, and profitability of cotton in response to supplemental irrigation with treated wastewater and NPK fertilization. *Agronomy*, v. 12, n. 10, 2527, 2022. <https://doi.org/10.3390/agronomy12102527>

Araujo, A. F. B.; Lacerda, C. F.; Cavalcante, E. S.; Sales, J. R. S.; Costa, R. N. T.; Lopes, F. B. Irrigação suplementar do algodoeiro com água residuária. *Irriga*, v. 25, n. 4, p. 683-688, 2020. <http://dx.doi.org/10.15809/irriga.2020v25n4p683-688>

Araújo, A. P. B.; Amorim, A. V.; Lacerda, C. F.; Sousa, C. H. C.; Oliveira, L. K. B.; Araújo, M. E. B.; Gheyi, H. R. Effect of intercropping on the growth and yield of cowpea and maize crops irrigated with brackish water. *International Journal of Development Research*, v. 11, n. 5, p. 46635-46638, 2021. <https://doi.org/10.37118/ijdr.21808.05.2021>

Araújo, D. L.; Andrade, R. F. Qualidade físico-química e microbiológica da água utilizada em bebedouros de instituições de ensino no Brasil: Revisão sistemática da literatura. *Brazilian Journal of Health Review*, v. 3, n. 4, p. 7301-7324, 2020. <https://doi.org/10.34119/bjhrv3n4-009>

Araújo, E. D.; Cunha, F. F.; Ferreira, L. B.; Borges, A. C. Morphophysiological performance of cowpea fertigated with sanitary sewage at different depths. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 29, n. 1, e283096, 2025. <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v29n1e283096>

Araújo, J. E. A.; Dias, N. S. Potencial uso agrícola de água cinza tratada em sistema de produção familiar. *Revista Caderno Pedagógico*, v. 21, n. 10, p. 1-21, 2024. <https://doi.org/10.54033/cadpedv21n10-258>

Araújo, M. D. R.; Farias, L. R. A.; Santos, L. V.; Santos, M. D. S.; Silva, D. S.; Alves, T. N. B.; Santos, D. P.; Sousa, I. F.; Silva, S.; Santos, M. A. L. Desempenho agrônômico da cultura do

amendoim irrigado com água salina em ambiente protegido. *Revista Observatorio de La Economía Latinoamericana*, v. 21, n. 8, p. 9881-9900, 2023. <https://doi.org/10.55905/oelv21n8-110>

Arriero, S. S.; Almeida, W. F.; Paz, V. P. S.; Damasceno, L. F. Yield of eggplant using low quality water and pulse drip irrigation. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 24, n. 12, p. 822-826, 2020. <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v24n12p822-826>

Azevedo, J.; Dutra, I. C. B.; Costa, F. G. B.; Batista, R. O.; Costa, L. R. Alterações químicas de Cambissolo fertirrigado com água residuária doméstica tratada. *Agropecuária Científica no Semi-Árido*, v. 9, n. 2, p. 66-76, 2013. <https://doi.org/10.30969/acsa.v9i2.358>

Azevedo Júnior, M. S.; Ferreira Neto, M.; Medeiros, J. F.; Sá, F. V. S.; Lima, Y. B.; Lemos, M.; Queiroz, J. L. F.; Batista, R. O. Growth and biomass production of prickly pear in the second cycle irrigated with treated domestic sewage. *Bioscience Journal*, v. 36, n. 1, p. 51-60, 2020. <http://dx.doi.org/10.14393/BJ-v36n1a2020-42175>

Barros, H. M. M.; Gheyi, H. R.; Travassos, K. D.; Dias, N. S.; Barros, M. K. L. V.; Leite, M. S. Produção de girassol irrigado com água residuária sob adubação inorgânica. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, v. 12, n. 3, p. 2604-2612, 2018. <http://dx.doi.org/10.7127/rbai.v12n300722>

Barros, H. M. M.; Gheyi, H. R.; Travassos, K. D.; Dias, N. S.; Leite, M. S.; Barros, M. K. L. V.; Rivera, R. C. Sunflower growth irrigated with sewage effluent under organic fertilization. *Bioscience Journal*, v. 35, n. 6, p. 1839-1846, 2019. <https://doi.org/10.14393/BJ-v35n6a2019-42227>

Barroso, A. A. F.; Nascimento, F. J. S. C.; Chaves, J. R.; Lima, P. F.; Santos, H. O. R. Qualidade das águas cinza geradas pelo sistema bioágua familiar para reúso agrícola no Ceará. *Irriga*, v. 28, n. 3, p. 592-601, 2023. <http://dx.doi.org/10.15809/irriga.2023v28n3p592-601>

Batista, A. A.; Dutra, I.; Carmo, F. F.; Izidio, N. S. C.; Batista, R. O. Qualidade dos frutos de mamoeiro produzidos com esgoto doméstico tratado. *Revista Ciência Agronômica*, v. 48, n.

1, p. 70-80, 2017. <https://doi.org/10.5935/1806-690.20170008>

Brasil. Lei nº 14.026/2020. Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera as Leis nº 9.984/2000, nº 10.768/2003, nº 11.107/2005, nº 11.445/2007, nº 12.305/2010, nº 13.089/2015, nº 13.5029/2017. Diário Oficial da União, Brasília, 15 de julho de 2020.

Brito, C. F. B.; Fonseca, V. A.; Santos, M. R. Desempenho de sistemas de irrigação por gotejamento com aplicação da água salina. Revista Agrotecnologia, v. 6, n. 1, p. 10-17, 2016. <https://doi.org/10.12971/5011>

Brito, C. F. B.; Fonseca, V. A.; Santos, M. R.; Arantes, A. M.; Donato, S. L. R. Irrigation with saline water on pineapple grown in the semi-arid of Bahia state. Bioscience Journal, v. 35, n. 6, p. 1810-1820, 2019 <http://dx.doi.org/10.14393/BJ-v35n6a2019-41898>

Canjá, J. F.; Sales, J. R. S.; Pinho, L. L.; Sousa, N. I. G.; Lacerda, C. F.; Sousa, G. G. Production and water use efficiency of peanut under salt stress and soil cover. Revista Ciência Agronômica, v. 52, n. 2, e20217818, 2021. <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20210040>

Carvalho, I. C. Palma forrageira (*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.) fertirrigada com efluente doméstico tratado por fossa séptica biodigestora. Feira de Santana: Universidade Estadual de Feira de Santana, 2023. 71p. Dissertação de Mestrado.

Cavalcante, E. S.; Lacerda, C. F.; Mesquita, R. O.; Melo, A. S.; Ferreira, J. F. S.; Teixeira, A. S.; Lima, S. C. R. V.; Sales, J. R. S.; Silva, J. S.; Gheyi, H. R. Supplemental irrigation with brackish water improves carbon assimilation and water use efficiency in maize under tropical dryland conditions. Agriculture, v. 12, n. 4, 544, 2022. <https://doi.org/10.3390/agriculture12040544>

Costa, D. O.; Vale, H. S. M.; Batista, R. O.; Silva, P. C. M.; Lemos Filho, L. C. A.; Santos, D. B. Suscetibilidade ao entupimento de gotejadores aplicando água residuária doméstica tratada. Revista em Agronegócio e Meio Ambiente, v. 12, n. 4, p. 1251-1266, 2019. <https://doi.org/10.17765/2176-9168.2019v12n4p1251-1266>

Costa, D. O.; Vale, H. S. M.; Silva, S. S.; Batista, R. O.; Rocha, T. A. L. C. G. Entupimento e uniformidade de distribuição em unidades gotejadoras operando com efluente sanitário tratado. Revista Brasileira de Geografia Física, v. 17, n. 5, p. 3284-3297, 2024a. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v17.5.p3284-3297>

Costa, J. L.; Ribeiro, M. H. G.; Ionekura Júnior, M. K.; Gonçalves, E. A. P. Reuso de esgoto tratado no cultivo de ipê roxo (*Tabebuia avellanedae*) em solo ácido. Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais, v. 12, n. 10, p. 314-327, 2021. <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2021.010.0026>

Costa, M. V. P.; Dantas Neto, J.; Lima, V. L. A.; Lima, M. G. M.; Araujo, M. S. F.; Saboya, L. M. F.; Souza, T. R. A.; Pinto, Y. M. F. Água residuária de esgoto doméstico parcialmente tratado no desempenho hidráulico de unidades gotejadoras. Caderno Pedagógico, v. 21, n. 5, e4441, 2024b. <https://doi.org/10.54033/cadpedv21n5-178>

Cruz, R. I. F.; Silva, G. F.; Silva, C. S.; Silva, M. M.; Menezes, S. M.; Silva, S.; Chaves, L. H. G.; Cruz, F. J. R.; Santos Júnior, J. A.; Rolim, M. M.; Araújo, E. R. Accumulation and exportation of macronutrients by peanut crops under pulse irrigation with brackish water. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 28, n. 10, e284591, 2024. <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v28n10e284591>

Cruz, R. I. F.; Silva, G. F.; Silva, M. M.; Silva, A. H. S.; Santos Júnior, J. A.; Silva, Ê. F. F. Productivity of irrigated peanut plants under pulse and continuous dripping irrigation with brackish water. Revista Caatinga, v. 34, n. 1, p. 208-218, 2021. <http://dx.doi.org/10.1590/1983-21252021v34n121rc>

Cunha, J. L. O.; Silva, S. L.; Batista, R. O.; Marques, B. C. D.; Coelho, D. C. L.; Silva, E. B. Monitoramento da bioincrustação em fitas gotejadoras aplicando água com distintas temperaturas e salinidades. Irriga, v. 25, n. 1, p. 1-13, 2020. <http://dx.doi.org/10.15809/irriga.2020v25n1p1-13>

Cruz Filho, E. M.; Sousa, G. G.; Ribeiro, R. M. R.; Cambissa, P. B. C.; Souza, M. V. P.; Nogueira, R. S. Estratégias de irrigação com água salobra e adubação na cultura do

amendoim. *Nativa*, v. 12, n. 1, p. 20-25, 2024. <https://doi.org/10.31413/nat.v12i1.14047>

Cunha, M. E.; Batista, R. O.; Matos, G. X.; Sousa, A. L. V.; Reges, L. B. L.; Paiva, L. A. L.; Marques, B. C. D.; Mesquita, F. O. Monitoramento e avaliação de sistema compacto para tratamento e uso agrícola de água cinza. *Revista Observatorio De La Economia Latinoamericana*, v. 22, n. 2, e3310, 2024. <https://doi.org/10.55905/oelv22n2-145>

Damasceno, L. F.; Belo, L. R. M.; Gheyi, H. R.; Cova, A. M. W.; Lima, G. S.; Marques, L. J. Qualidade da berinjela irrigada com águas salobras via gotejamento contínuo e por pulsos. *Irriga*, v. 1 (Edição Especial – Nordeste), n. 1, p. 1-13, 2021. <http://dx.doi.org/10.15809/irriga.2021v1n1p1-13>

Damasceno, L. F.; Cova, A. M. W.; Bisneto, A. I. T.; Moura, C. N.; Belo, L. R. M.; Menezes, R. V.; Gheyi, H. R. Eggplant cultivation in salinized soil under drip and pulse irrigation. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, v. 18, p. 82-95, 2024. <http://dx.doi.org/10.7127/rbai.v1801352>

Damasceno, L. F.; Cova, A. M. W.; Gheyi, H. R.; Almeida, W. F.; Dias, J. A. A. L.; Ribeiro, V. S. Production and water consumption of eggplant under salt stress and continuous drip and pulse drip irrigation. *Revista Caatinga*, v. 35, n. 2, p. 450-459, 2022. <http://dx.doi.org/10.1590/1983-21252022v35n220rc>

Dantas, D. C.; Silva, Ê. F. F.; Dantas, M. S. M.; Silva, G. F.; Rolim, M. M. Sunflower nutrition irrigated with domestic sewage treated. *Comunicata Scientiae*, v. 10, n. 2, p. 286-292, 2019a. <https://doi.org/10.14295/cs.v10i2.2448>

Dantas, D. C.; Silva, Ê. F. F.; Dantas, M. S. M.; Silva, G. F.; Santos, A. N.; Rolim, M. M. Cultivation of sunflower irrigated with domestic sewage treated in Quartzarenic Neosol. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v. 13, n. 2, e5520, 2018. <https://doi.org/10.5039/agraria.v13i2a5520>

Dantas, D. C.; Silva, Ê. F. F.; Lima, R. P.; Dantas, M. S. M.; Rolim, M. M.; Silva, G. F. Nutrient extraction by *Helianthus annuus* L. irrigated with treated domestic sewage. *Sustainable Water Resources Management*, v.

6, 59, 2020. <https://doi.org/10.1007/s40899-020-00422-7>

Dantas, D. C.; Silva, Ê. F. F.; Mélo, R. F.; Dantas, M. S. M.; Silva, G. F.; Silva, M. M. Desempenho de um sistema de irrigação por gotejamento utilizando efluente doméstico. *Irriga*, v. 1, n. 1 (Edição Especial Inovagri), p. 179-189, 2014. <https://doi.org/10.15809/irriga.2014v1n1p179>

Dantas, D. C.; Silva, Ê. F. F.; Rolim, M. M.; Silva, M. M.; Morais, J. E. F.; Lira, R. M. Production components of sunflower plants irrigated with treated domestic wastewater and drinking water in semiarid region. *Revista Ceres*, v. 66, n. 1, p. 34-40, 2019b. <https://doi.org/10.1590/0034-737X201966010005>

Dias, I. C. G. M. Sistema bioágua familiar: Oportunidade de reúso de água cinza em residências rurais no Semiárido brasileiro. Recife: Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2024. 121p. Tese de Doutorado.

Feitosa, A. P.; Lopes, H. S. S.; Batista, R. O.; Costa, M. S.; Moura, F. N. Avaliação do desempenho de sistema para tratamento e aproveitamento de água cinza em áreas rurais do semiárido brasileiro. *Engenharia Ambiental*, v. 8, n. 3, p. 196-206, 2011.

Feitosa, D. A. S.; Ferreira, K. P. F.; Aragão, N. S. C.; Santos, B. N.; Oliveira, J. S.; Silva, R. J.; Santos, J. F. S.; Brito, M. E. B.; Cordeiro Junior, J. J. F.; Oliveira, G. H. F. Performance of maize hybrids grown in a semi-arid region under rainfed and wastewater irrigation systems. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 29, n. 5, e281710, 2025. <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v29n5e281710>

Feitosa, S. O.; Silva, S. L.; Feitosa, H. O.; Carvalho, C. M.; Feitosa, E. O. Crescimento do feijão caupi irrigado com diferentes concentrações efluente tratado e água salina. *Agropecuária Técnica*, v. 36, n. 1, p. 146-155, 2015. <https://doi.org/10.25066/agrotec.v36i1.23360>

Fernandes, F. G. B. C.; Batista, R. O.; Ferreira, D. J. L.; Silva, S. L.; Pereira, J. O.; Cunha, J. L. O. Desempenho de sistema de irrigação por gotejamento operando com diluições de água residuária doméstica tratada. *Revista Espacios*, v. 38, n. 43, p. 1-10, 2017.

- França, C. L. E.; Amorim, M. C. C.; Olszewski, N.; Belém, C. S. Uso de água cinza tratada na irrigação de frutícola no semiárido: Aspectos legais e qualidade do solo. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, v. 17, n. 3, p. 167-177, 2022. <https://doi.org/10.18378/rvads.v17i3.9330>
- Freitas, E. D.; Lacerda, C. F.; Amorim, A. V.; Ferreira, J. F. S.; Costa, C. A. G.; Silva, A. O.; Gheyi, H. R. Leaching fraction impacts water use efficiency and nutrient losses in maize crop under salt stress. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 26, n. 11, p. 797-806, 2022. <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v26n11p797-806>
- Galvão Sobrinho, T.; Silva, A. A. R.; Lima, G. S.; Lima, V. L. A.; Borges, V. E.; Nunes, K. G.; Soares, L. A. A.; Saboya, L. M. F.; Gheyi, H. R.; Gomes, J. P.; Fernandes, P. D.; Azevedo, C. A. V. Foliar applications of salicylic acid on boosting salt stress tolerance in sour passion fruit in two cropping cycles. *Plants*, v. 12, n. 10, 2023, 2023. <https://doi.org/10.3390/plants12102023>
- Garcia, G. O.; Rigo, M. M.; Cecílio, R. A.; Reis, E. F.; Bauer, M. O.; Rangel, O. J. P. Propriedades químicas de um solo cultivado com duas forrageiras fertirrigadas com esgoto doméstico tratado. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v. 7, n. suplemento, p. 737-742, 2012. <https://doi.org/10.5039/agraria.v7isa1906>
- Godoi Neto, A. H.; Silva, Ê. F. F.; Morais, J. E. F.; Andrade, L. G. L.; Cutrim, W. O.; Lacerda, C. F. Water potential, biochemical indicators and yield of sugarcane irrigated with brackish water and leaching. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 24, n. 5, p. 312-318, 2020. <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v24n5p312-318>
- Gois, G. C.; Matias, A. G. S.; Araújo, G. G. L.; Campos, F. S.; Simões, W. L.; Lista, F. N.; Guimarães, M. J. M.; Silva, T. S.; Magalhães, A. L. R.; Silva, J. K. B. Nutritional and fermentative profile of forage sorghum irrigated with saline water. *Biological Rhythm Research*, v. 53, n. 2, p. 246-257, 2022. <https://doi.org/10.1080/09291016.2019.1629088>
- Guimarães, M. J. M.; Simões, W. L.; Oliveira, A. R.; Araujo, G. G. L.; Silva, Ê. F. F.; Willadino, L. G. Biometrics and grain yield of sorghum varieties irrigated with salt water. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 23, n. 4, p. 285-290, 2019. <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v23n4p285-290>
- Guimarães, T. R. F. C. S.; Costa, J. P. N.; Medeiros, J. F. Uso de água de esgoto doméstico tratado na produção de sorgo soca. *Water Resources and Irrigation Management*, v. 7, n. 1, p. 1-7, 2018.
- Jesus, F. L. F.; Santos, O. N. A.; Talamini Junior, M. V.; Gomes, T. M.; Rossi, F.; Sánchez-Román, R. M. Águas residuárias para irrigação no Brasil: Uma abordagem química, física e microbiológica. *Irriga*, v. 25, n. 3, p. 562-589, 2020. <http://dx.doi.org/10.15809/irriga.2020v25n3p562-589>
- Jorda, H.; Perelman, A.; Lazarovitch, N.; Vanderborght, J. Exploring osmotic stress and differences between soil–root interface and bulk salinities. *Vadose Zone Journal*, v. 17, n. 1, p. 1-13, 2018. <https://doi.org/10.2136/vzj2017.01.0029>
- Laime, E. M. O.; Fernandes, P. D.; Souto Filho, L. T.; Dias, M. S.; Silva, F. A. Agrotechnological characteristics of sugarcane cultivars irrigated with salinized water. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 26, n. 11, p. 875-884, 2022. <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v26n11p875-884>
- Lemes, E.; Mendonça, A.; Oliveira, S.; Neves, E.; Ritter, R.; Fin, S.; Meneghello, G. Salinidade: reflexo no acúmulo de sódio e de macronutrientes na parte aérea de plantas de arroz irrigado. *Magistra*, v. 31, p. 768-778, 2020.
- Lemos, M.; Ferreira Neto, M.; Medeiros, J. F.; Dias, N. S.; Silva, Ê. F. F.; Lira, R. B. Nutritional evaluation of forage cactus fertigated with domestic sewage effluent. *Revista Caatinga*, v. 31, n. 2, p. 476-486, 2018. <http://dx.doi.org/10.1590/1983-21252018v31n224rc>
- Lequette, K.; Ait-Mouheb, N.; Wéry, N. Hydrodynamic effect on biofouling of millilabyrinth channel and bacterial communities in drip irrigation systems fed with reclaimed

wastewater. *Science of the Total Environment*, v. 738, 139778, 2020.

<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139778>

Lessa, C. I. N.; Lacerda, C. F.; Cajazeiras, C. C. A.; Neves, A. L. R.; Lopes, F. B.; Silva, A. O.; Sousa, H. C.; Gheyi, H. R.; Nogueira, R. S.; Lima, S. C. R. V.; Costa, R. N. T.; Sousa, G. G. Potential of brackish groundwater for different biosaline agriculture systems in the Brazilian semi-arid region. *Agriculture*, v. 13, n. 3, 550, 2023a. <https://doi.org/10.3390/agriculture13030550>

Lessa, C. I. N.; Sousa, G. G.; Sousa, H. C.; Silva Junior, F. B.; Leite, K. N.; Moraes, J. G. L. Growth of yellow passion-fruit seedlings in different substrates under salt stress. *Water Resources and Irrigation Management*, v. 12, n. 1-3, p. 91-100, 2023b.

<https://doi.org/10.19149/wrim.v12i1-3.3231>

Lima, A. F. S.; Luz, L. N.; Santos, M. F.; Silva Filho, F. V.; Gouveia, F. A. L.; Casimiro, J. A. O. Eficiência fisiológica e desempenho do amendoim sob estresse salino e inoculado com *Bradyrhizobium*. *Water Resources and Irrigation Management*, v. 11, n. 1-3, p. 22-35, 2022b. <https://doi.org/10.19149/wrim.v11i1-3.2819>

Lima, B. L. C.; Silva, Ê. F. F.; Bezerra, J. R. C.; Silva, G. F.; Cruz, F. J. R.; Santos, P. R.; Campeche, L. F. S. M. Agronomic performance of colored cotton influenced by irrigation with treated domestic sewage and potassium fertilization in semi-arid region of Brazil. *DYNA*, v. 86, n. 210, p. 74-80, 2019. <https://doi.org/10.15446/dyna.v86n210.77022>

Lima, B. L. C.; Silva, Ê. F. F.; Santos, H. R. B.; Souza, E. R. Potassium fertilization and irrigation with treated wastewater on gas exchange of colored cotton. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 22, n. 11, p. 741-746, 2018. <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v22n11p741-746>

Lima, B. L. C.; Silva, Ê. F. F.; Zonta, J. H.; Cordão Terceiro Neto, C. P.; Lacerda, C. F.; Ferreira, J. F. S.; Cruz, F. J. R. Irrigation with wastewater and K fertilization ensure the yield and quality of coloured cotton in a semiarid climate. *Agronomy*, v. 11, n. 12, 2370, 2021. <https://doi.org/10.3390/agronomy11122370>

Lima, G. S.; Lacerda, C. N.; Soares, L. A. A.; Gheyi, H. R.; Araújo, R. H. C. R. Production characteristics of sesame genotypes under different strategies of saline water application. *Revista Caatinga*, v. 33, n. 2, p. 490-499, 2020b. <https://doi.org/10.1590/1983-21252020v33n221rc>

Lima, G. S.; Pinheiro, F. W. A.; Gheyi, H. R.; Soares, L. A. A.; Soares, M. D. M.; Silva, F. A.; Azevedo, C. A. V.; Lima, V. L. A. Postharvest quality of sour passion fruit under irrigation strategies with brackish water and potassium application in two crop cycles. *Water, Air, & Soil Pollution*, v. 233, 452, 2022c. <https://doi.org/10.1007/s11270-022-05922-0>

Lima, G. S.; Pinheiro, F. W. A.; Gheyi, H. R.; Soares, L. A. A.; Sousa, P. F. N.; Fernandes, P. D. Saline water irrigation strategies and potassium fertilization on physiology and fruit production of yellow passion fruit. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 26, n. 3, p. 180-189, 2022a. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v26n3p180-189>

Lima, G. S.; Pinheiro, F. W. A.; Souza, W. B. B.; Soares, L. A. A.; Gheyi, H. R.; Nobre, R. G.; Queiroga, R. C. F.; Fernandes, P. D. Physiological indices of sour passion fruit under brackish water irrigation strategies and potassium fertilization. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 27, n. 5, p. 383-392, 2023a. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v27n5p383-392>

Lima, G. S.; Silva, J. B.; Pinheiro, F. W. A.; Soares, L. A. A.; Gheyi, H. R. Potassium does not attenuate salt stress in yellow passion fruit under irrigation management strategies. *Revista Caatinga*, v. 33, n. 4, p. 1082-1091, 2020a. <https://doi.org/10.1590/1983-21252020v33n423rc>

Lima, M. G. M.; Lima, V. L. A.; Ferreira, D. J. L.; Dantas Neto, J.; Saboya, L. M. F.; Araujo, M. S. F.; Costa, M. V. P.; Pinto, Y. M. F. Desempenho hidráulico de emissores irrigados com efluente de reator anaeróbio e monitoramento por controle estatístico. *Contribuciones a Las Ciencias Sociales*, v. 16, n. 9, p. 18360-18372, 2023b. <https://doi.org/10.55905/revconv.16n.9-269>

Lira, R. B.; Ferreira Neto, M.; Medeiros, J. F.; Dias, N. S.; Brito, R. F.; Oliveira, L. L. Atributos químicos de um Cambissolo Háplico

- fertirrigado com efluente doméstico. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, v. 11, n. 6, p. 1845-1853, 2017.
<http://dx.doi.org/10.7127/rbai.v11n600635>
- Matsura, E. E.; Gomes, T. M. Água de reúso na agricultura irrigada. In: Paolinelli, A.; Dourado Neto, D.; Mantovani, E. C. (ed.). *Agricultura irrigada no Brasil: Recursos hídricos e sustentabilidade*. 1. ed. Piracicaba: ESALQ/USP, 2022. p. 45-61.
<https://doi.org/10.11606/9786587391229>
- Melo, A. R.; Silva, P. F.; Dantas Neto, J.; Silva, F. A.; Costa Júnior, D. S.; Pérez-Marin, A. M. Alterações químicas do solo após irrigação com efluentes e adubação fosfatada cultivado com *Moringa oleifera* Lam. *Ciência Florestal*, v. 33, n. 3, e70786, 2023.
<https://doi.org/10.5902/1980509870786>
- Melo, H. F.; Souza, E. R.; Almeida, B. G.; Mulas, M. Water potential in soil and *Atriplex nummularia* (phytoremediator halophyte) under drought and salt stresses. *International Journal of Phytoremediation*, v. 20, n. 3, p. 249-255, 2018. <https://doi.org/10.1080/15226514.2017.1374334>
- Melo, H. F.; Souza, E. R.; Dourado, P. R. M.; Lins, C. M. T.; Santos, H. R. B.; Monteiro, D. R.; Paulino, M. K. S. S.; Almeida, B. G.; Santos, M. A. Comparison of water and osmotic potentials on *Vigna unguiculata* stress response. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 44, e0200070, 2020a.
<https://doi.org/10.36783/18069657rbcs20200070>
- Melo, M. R. S.; Dias, N. S.; Medeiros, I. J. N.; Travassos, K. D.; Miranda, N. O.; Gurgel, M. T.; Lemos Neto, H. S.; Fernandes, C. S. Strategies for applying gray water effluent on ornamental sunflower crops. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 27, n. 31, p. 38537-38544, 2020b.
<https://doi.org/10.1007/s11356-020-09200-6>
- Menezes, S. M.; Silva, G. F.; Silva, M. M.; Oliveira Filho, R. A.; Jardim, A. M. R. F.; Silva, J. R. I.; Silva, Ê. F. F.; Silva, J. V.; Santos, M. A. L. Pulse drip irrigation improves yield, physiological responses, and water-use efficiency of sugarcane. *Water Conservation Science and Engineering*, v. 9, 25, 2024.
<https://doi.org/10.1007/s41101-024-00258-8>
- Morais, J. E. F.; Silva, Ê. F. F.; Godoi Neto, A. H.; Lima, B. L. C.; Lira, R. M.; Berto, S. D. C.; Jardim, A. M. R. F.; Simões Neto, D. E.; Silva, T. G. F.; Rolim, M. M. Sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) under saline stress: Growth, productivity, technological quality, and industrial yield. *Industrial Crops & Products*, v. 188, 115642, 2022.
<https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.115642>
- Morais, M. A.; Ferreira Neto, M.; Silva, G. F.; Lira, R. B.; Brito, R. F.; Miguel, L. C. V. Contaminação microbiológica no perfil do solo por águas residuárias. *HOLOS*, v. 3, p. 76-83, 2016. <https://doi.org/10.15628/holos.2016.2782>
- Moura, P. G.; Aranha, F. N.; Handam, N. B.; Martin, L. E.; Salles, M. J.; Carvajal, E.; Jardim, R.; Sotero-Martins, A. Água de reúso: uma alternativa sustentável para o Brasil. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 25, n. 6, p. 791-808, 2020. <https://doi.org/10.1590/S1413-4152202020180201>
- Oliveira, A. F. M.; Fernandes, F. G. B. C.; Batista, R. O.; Souza, L. D.; Gurgel, M. T. Teores de metais pesados em cambissolo irrigado com água residuária doméstica e água de poço. *Revista Ambiente & Água*, v. 9, n. 2, p. 303-312, 2014. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1309>
- Oliveira, P. C. P.; Gloaguen, T. V.; Gonçalves, R. A. B.; Santos, D. L.; Couto, C. F. Soil chemistry after irrigation with treated wastewater in semiarid climate. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 40, e0140664, 2016. <https://doi.org/10.1590/18069657rbcs20140664>
- Pinheiro, F. W. A.; Lima, G. S.; Gheyi, H. R.; Soares, L. A. A.; Nobre, R. G.; Fernandes, P. D. Brackish water irrigation strategies and potassium fertilization in the cultivation of yellow passion fruit. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 46, e022621, 2022a.
<http://dx.doi.org/10.1590/1413-7054202246022621>
- Pinheiro, F. W. A.; Lima, G. S.; Gheyi, H. R.; Soares, L. A. A.; Oliveira, S. G.; Silva, F. A. Gas exchange and yellow passion fruit production under irrigation strategies using brackish water and potassium. *Revista Ciência Agrônômica*, v. 53, e20217816, 2022b.
<https://doi.org/10.5935/1806-6690.20220009>

- Ribeiro, A. A.; Lacerda, C. F.; Neves, A. L. R.; Sousa, C. H. C.; Braz, R. S.; Oliveira, A. C.; Pereira, J. M. G.; Ferreira, J. F. S. Uses and losses of nitrogen by maize and cotton plants under salt stress. *Archives of Agronomy and Soil Science*, v. 67, n. 8, p. 1119-1133, 2020. <https://doi.org/10.1080/03650340.2020.1779228>
- Ribeiro, R. M. R.; Sousa, G. G.; Barbosa, A. S.; Lacerda, C. F.; Freire, M. H. C.; Moraes, J. G. L. Irrigation strategies with saline water and phosphate fertilization in cowpea culture. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v. 17, n. 3, e2572, 2022. <https://doi.org/10.5039/agraria.v17i3a2572>
- Rodrigues Filho, R. A.; Fonseca, R. D.; Silva, K. B.; Paiva, L. A. L.; Teixeira, A. D. S.; Carvalho, F. E.; Batista, R. O. Análise do desempenho de gotejadores não autocompensantes operando com esgoto sanitário tratado. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, v. 3, n. 3, p. 1271-1283, 2020. <https://doi.org/10.34188/bjaerv3n3-046>
- Sánchez-Román, R. M.; Queluz, J. G. T.; Silva, T. L.; Ventura, K. M.; Pitoro, V. S. J. Alternativas de sistemas de tratamento de água residuária para reúso na fertirrigação de hortaliças em cultivo convencional e vertical. In: Paolinelli, A.; Dourado Neto, D.; Mantovani, E. C. (ed.). *Agricultura irrigada no Brasil: Recursos hídricos e sustentabilidade*. 1. ed. Piracicaba: ESALQ/USP, 2022. p. 63-79. <https://doi.org/10.11606/9786587391229>
- Santos, M. R.; Fernandes, W. S.; Souza, J. A. A.; Souza, V. A. P. Eficiência de sistema de irrigação por gotejamento utilizando água salobra. *Brazilian Journal of Development*, v. 7, n. 7, p. 73248-73262, 2021. <https://doi.org/10.34117/bjdv7n7-480>
- Semedo, T. C. M.; Sousa, G. G.; Sousa, H. C.; Schneider, F.; Lima, J. M. P.; Gomes, K. R.; Simplício, A. Á. F.; Saraiva, K. R. Production and fruit quality of Italian zucchini under brackish water irrigation strategies. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 28, n. 10, e277139, 2024. <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v28n10e277139>
- Silva, A. H. S.; Santos Júnior, J. A.; Silva, M. M.; Silva, G. F.; Cruz, R. I. F.; Medeiros, S. S.; Freire, M. M. Production and water relations of peanut irrigated with brackish water under pulse and continuous drip. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 26, n. 11, p. 789-796, 2022a. <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v26n11p789-796>
- Silva, J. L. A.; Medeiros, J. F.; Alves, S. S. V.; Oliveira, F. A.; Silva Junior, M. J.; Nascimento, I. B. Uso de águas salinas como alternativa na irrigação e produção de forragem no semiárido nordestino. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 18, n. (Suplemento), p. S66-S72, 2014. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v18nsuppS66-S72>
- Silva, K. B.; Batista, R. O.; Coelho, D. C. L.; Marques, B. C. D.; Mesquita, F. O.; Cunha, J. L. O. Vazão de gotejadores aplicando esgoto sanitário tratado e prevenção do entupimento com catalisador enzimático. *Revista em Agronegócio e Meio Ambiente*, v. 12, n. 2, p. 679-699, 2019b. <https://doi.org/10.17765/2176-9168.2019v12n2p679-699>
- Silva, L. P.; Silva, M. M.; Correa, M. M.; Souza, F. C. D.; Silva, Ê F. F. Desempenho de gotejadores autocompensantes com diferentes efluentes de esgoto doméstico. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 16, n. 5, p. 480-486, 2012. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662012000500003>
- Silva, M. L.; Cavalcante, I. O.; Lima, M. O.; Lima, P. F. S.; Lima, R. E. M. Irrigation with saline water and use of organic matter change *Gliricidia sepium* seeds quality. *International Journal Semiarid*, v. 7, p. 128-139, 2024. <https://doi.org/10.56346/ijsa.v7i7.199>
- Silva, M. L. S.; Sousa, H. G.; Silva, M. L. S.; Lacerda, C. F.; Gomes-Filho, E. Growth and photosynthetic parameters of saccharine sorghum plants subjected to salinity. *Acta Scientiarum. Agronomy*, v. 41, e42607, 2019a. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v41i1.42607>
- Silva, P. C. C.; Silva, P. V. S. R.; Cova, A. M. W.; Silva, M. G.; Santos, T. S.; Paz, V. P. S.; Gheyi, H. R. Utilização de efluentes domésticos em agricultura irrigada. In: Paolinelli, A.; Dourado Neto, D.; Mantovani, E. C. (ed.). *Agricultura irrigada no Brasil: Recursos hídricos e sustentabilidade*. 1. ed. Piracicaba:

ESALQ/USP, 2022b. p. 215-230.
<https://doi.org/10.11606/9786587391229>

Silva, P. F. Uniformidade de vazão em mangueira gotejadora autocompensante utilizando água salina. Campina Grande: Universidade Federal de Campina Grande, 2014. 99p. Dissertação de Mestrado.

Silva, S. S.; Lima, G. S.; Lima, V. L. A.; Gheyi, H. R.; Soares, L. A. A.; Fernandes, P. D. Application strategies of saline water and nitrogen doses in mini watermelon cultivation. *Comunicata Scientiae*, v. 11, e3233, 2020c.
<https://doi.org/10.14295/cs.v11i0.3233>

Silva, S. S.; Lima, G. S.; Lima, V. L. A.; Gheyi, H. R.; Soares, L. A. A.; Moreira, R. C. L.; Fernandes, P. D.; Andrade, E. M. G.; Pinheiro, F. W. A. Salinity management strategies and potassium fertilization in watermelon (*Citrullus lanatus*) cultivation. *Australian Journal of Crop Science*, v. 14, n. 10, p. 1601-1607, 2020a.
<https://doi.org/10.21475/ajcs.20.14.10.p2388>

Silva, S. S.; Lima, G. S.; Lima, V. L. A.; Gheyi, H. R.; Soares, L. A. A.; Oliveira, J. P. M.; Araújo, A. C.; Gomes, J. P. Production and quality of watermelon fruits under salinity management strategies and nitrogen fertilization. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 41, n. (6Supl2), p. 2923-2936, 2020b.
<https://doi.org/10.5433/1679-0359.2020v41n6Supl2p2923>

Silva Junior, F. B.; Lacerda, C. F.; Sousa, G. G.; Sales, J. R. S.; Mendonça, A. M. Morphophysiology and inorganic solutes in watermelon irrigated with brackish water in different planting systems. *Revista Caatinga*, v. 36, n. 4, p. 833-842, 2023a.
<http://dx.doi.org/10.1590/1983-21252023v36n411rc>

Silva Junior, F. B.; Lacerda, C. F.; Sousa, G. G.; Sousa, J. T. M.; Mendonça, A. M.; Silva, M. G.; Pereira Filho, J. V.; Santos, M. F. Nutritional status of watermelon irrigated with brackish water in different planting systems. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 27, n. 5, p. 367-374, 2023b.
<http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v27n5p367-374>

Soares, L. A. A.; Fernandes, P. D.; Lima, G. S.; Brito, M. E. B.; Nascimento, R.; Arriel, N. H. C. Physiology and production of naturally-colored cotton under irrigation strategies using

salinized water. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 53, n. 6, p. 746-755, 2018b.
<https://doi.org/10.1590/S0100-204X2018000600011>

Soares, L. A. A.; Fernandes, P. D.; Lima, G. S.; Gheyi, H. R.; Nobre, R. G.; Sá, F. V. S.; Moreira, R. C. L. Saline water irrigation strategies in two production cycles of naturally colored cotton. *Irrigation Science*, v. 38, n. 4, p. 401-413, 2020.
<https://doi.org/10.1007/s00271-020-00682-3>

Soares, L. A. A.; Fernandes, P. D.; Lima, G. S.; Suassuna, J. F.; Brito, M. E. B.; Sá, F. V. S. Growth and fiber quality of colored cotton under salinity management strategies. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 22, n. 5, p. 332-337, 2018a.
<https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v22n5p332-337>

Sousa, G. G.; Goes, G. F.; Sousa, J. T. M.; Silva Junior, F. B.; Simplício, A. Á. F.; Barbosa, A. S.; Saraiva, S. E. L. Emergency, initial growth and biomass of peanut genotypes irrigated with brackish waters. *Water Resources and Irrigation Management*, v. 13, n. 1-3, p. 110-119, 2024a.
<https://doi.org/10.19149/wrim.v13i1-3.4768>

Sousa, G. G.; Sousa, H. C.; Viana, T. V. A.; Lessa, C. I. N.; Freire, M. H. C.; Oliveira, M. S.; Leite, K. N.; Lopes, F. B. Irrigation strategies with brackish water in the cultivation of Italian zucchini under potassium fertilization. *Horticultura Brasileira*, v. 42, e280253, 2024b.
<http://dx.doi.org/10.1590/s0102-0536-2024-e280253>

Sousa Neto, O. N.; Andrade Filho, J.; Dias, N. S.; Rebouças, J. R. L.; Oliveira, F. R. A.; Diniz, A. A. Fertilização do algodoeiro utilizando efluente doméstico tratado. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 16, n. 2, p. 200-208, 2012.
<https://doi.org/10.1590/S1415-43662012000200011>

Souza, C. S.; Silva, G. F.; Silva, J. V. B.; Silva, M. M.; Silva, Ê. F. F.; Rolim, M. M. Production of green cowpea beans fertigated by continuous and pulse drip irrigation. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 59, e03463, 2024.
<https://doi.org/10.1590/S1678-3921.pab2024.v59.03463>

Tavares, F. B.; Silva, A. C. R.; Fernandes, C. S.; Moura, K. K. C. F.; Travassos, K. D. Crescimento e produção de pimentão utilizando água residuária doméstica tratada. *Revista*

Brasileira de Agricultura Irrigada, v. 13, n. 5, p. 3683-3690, 2019.

<http://dx.doi.org/10.7127/rbai.v13n5001131>

Torres, D. M.; Nascimento, S. S.; Souza, J. F.; Freire, J. O. Tratamento de efluentes e produção de água de reúso para fins agrícolas. HOLOS, v. 8, e9192, 2019.

<https://doi.org/10.15628/holos.2019.9192>

Urbano, V. R.; Mendonça, T. G.; Bastos, R. G.; Souza, C. F. Effects of treated wastewater irrigation on soil properties and lettuce yield. Agricultural Water Management, v. 181, p. 108-115, 2017.

<https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.12.001>

Varallo, A. C. T.; Souza, C. F.; Santoro, B. L. Mudanças nas características físico-químicas de um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico após a irrigação com água de reúso na cultura da alface-crespa (*Lactuca sativa*, L.). Engenharia Agrícola, v. 32, n. 2, p. 271-279, 2012.

<https://doi.org/10.1590/S0100-69162012000200007>

Venâncio, J. B.; Dias, N. S.; Medeiros, J. F.; Moraes, P. L. D.; Nascimento, C. W. A.; Sousa Neto, O. N.; Sá, F. V. S. Yield and morphophysiology of onion grown under salinity and fertilization with silicon. Scientia Horticulturae, v. 301, 111095, 2022.

<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2022.111095>

Zocoler, J. L.; Ribeiro, P. H. P.; Silva, N. F.; Cunha, F. N.; Teixeira, M. B.; Soares, F. A. L. Desempenho de um sistema de irrigação por gotejamento com aplicação de água salina. Irriga, v. 1, n. 1 (Edição Especial), p. 234-247, 2015.

<https://doi.org/10.15809/irriga.2015v1n1p234>