



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE



PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

ANA PAULA ALVES FEITOSA DE AMORIM

**USO DE EFLUENTE DOMÉSTICO TRATADO NO CULTIVO DE  
PIMENTA DE CHEIRO (*CAPSICUM CHINENSE*)**

Caruaru

2023

ANA PAULA ALVES FEITOSA DE AMORIM

**USO DE EFLUENTE DOMÉSTICO TRATADO NO CULTIVO DE  
PIMENTA DE CHEIRO (*CAPSICUM CHINENSE*)**

Dissertação apresentada ao programa de Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de mestra em Engenharia Civil e Ambiental. Área de concentração: Tecnologia Ambiental.

Orientadora: Profa. Dra. Elizabeth Amaral Pastich Gonçalves

Coorientadora: Profa. Dra. Kenia Kelly Barros da Silva

Caruaru

2023

Catálogo na fonte:  
Bibliotecária – Nasaré Oliveira - CRB/4 - 2309

A524u Amorim, Ana Paula Alves Feitosa de.  
Uso de efluente doméstico tratado no cultivo de pimenta de cheiro  
(capsicum chinense). / Ana Paula Alves Feitosa de Amorim. – 2023.  
82 f.; il.: 30 cm.

Orientadora: Elizabeth Amaral Pastich Gonçalves.  
Coorientadora: Kenia Kelly Barros da Silva.  
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco, CAA,  
Programa de Pós- Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, 2023.  
Inclui Referências.

1. Água - Reuso. 2. Nitrogênio. 3. Produtividade. 4. Irrigação. 5.  
Semiárido. I. Gonçalves, Elizabeth Amaral Pastich (Orientadora). II.  
Silva, Kenia Kelly Barros da (Coorientador). III. Título.

CDD 620 (23. ed.) UFPE (CAA 2023-043)

ANA PAULA ALVES FEITOSA DE AMORIM

**USO DE EFLUENTE DOMÉSTICO TRATADO NO CULTIVO DE  
PIMENTA DE CHEIRO (*CAPSICUM CHINENSE*)**

Dissertação apresentada ao programa de Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de mestra em Engenharia Civil e Ambiental. Área de concentração: Tecnologia Ambiental.

Aprovado em: 14 de agosto de 2023.

**Banca examinadora**

---

Profa. Dra. Elizabeth Amaral Pastich Gonçalves (Orientadora)  
Universidade Federal de Pernambuco - UFPE

---

Prof. Dr. Mario Takayuki Kato - (Examinador externo)  
Universidade Federal de Pernambuco - UFPE

---

Dra. Shyrlane Torres Soares Veras – (Examinadora externa)  
Universidade Federal de Pernambuco - UFPE  
Empresa Águas de Teresina

Dedico este trabalho a meus pais, José Bernardo Feitosa e Maria José Feitosa,  
E a meu esposo e filho, Sandro Correia de Amorim e Nicolás Bernardo Feitosa de Amorim,  
pela dedicação e amor incondicional.

## **AGRADECIMENTOS**

Gostaria de agradecer a Deus.

A toda a minha família que se faz presente mesmo com a distância, principalmente meus pais José Bernardo Feitosa e Maria José Feitosa, pelas ligações diárias de força e fé e a meus irmãos Egnaldo, João Paulo, Jéssica pelo amor e apoio.

Agradeço ao meu esposo e melhor amigo Sandro Amorim pelo amor, apoio, dedicação e cuidado diário a nossa família.

A meu filho Nicolás Bernardo aquele que amo incondicionalmente e é a minha força, meu motivo e minha alegria.

A orientadora Dra. Elizabeth Pastich e a coorientadora Dra. Kenia Barros pelas orientações diárias e toda paciência e carinho comigo e com a pesquisa.

Aos laboratórios LSA–UFPE e LEA-UFPE e todos os seus membros que não medem esforços para que as pesquisas possam ser testadas e aplicadas.

A todos os professores que participaram de minha formação direta ou indiretamente nesta etapa. Aos técnicos que me auxiliaram no desenvolvimento da pesquisa, em especial Emanuelle Henrique. Ao Setor de Transporte do CAA-UFPE, principalmente aos motoristas, que contribuíram com as coletas, além de suas funções. E ainda, o secretário do PPGECAM, José Marcelo por toda dedicação com os alunos de pós-graduação, a minha gratidão.

Em especial aos amigos que estiveram comigo em todos os momentos compartilhando seus conhecimentos, experiências e amizade, em especial Raquel Ferreira, Gustavo Aguiar, Thais Silva, José Floro, Tatiane Chaves, Iálysson Medeiros, Geowana Laurentino e Aline Nascimento.

"O sertanejo é, antes de tudo, um forte." (CUNHA, 1993, p. 51)

## RESUMO

Períodos prolongados de seca levam à escassez e são responsáveis pelas dificuldades em manter o abastecimento. A produção de alimentos requer grande quantidade de água e frequentemente recorre a fertilizantes minerais que, se usados de forma excessiva, podem impactar negativamente ao solo, devido ao acúmulo de substâncias químicas. Uma solução promissora à sustentabilidade agrícola é o uso de efluentes tratados para fertirrigar culturas, desde que atendam às necessidades de água e nutrientes das plantas. Este estudo focou no uso de efluentes domésticos tratados, a diferentes lâminas de irrigação, no cultivo de pimenta-de-cheiro, a fim de fornecer fundamentos técnicos e científicos a essa prática de reúso da água na produção de hortaliças, no semiárido. O experimento foi realizado em Caruaru – PE, nas instalações do Campus Agreste da Universidade Federal de Pernambuco, em uma estufa. O delineamento experimental foi em blocos inteiramente casualizado, com 8 tratamentos e 3 repetições, cada. As plantas foram irrigadas com água e efluente doméstico tratado (E), utilizando diferentes lâminas de água (50% e 100% da quantidade de água necessária para atender às demandas hídricas da cultura). As águas de irrigação (água e E) estavam em conformidade com as normas e regulamentos nacionais e internacionais. As regas com E interferiram nos estádios fenológicos das plantas, incluindo o aparecimento da flor, floração plena, aparecimento do primeiro fruto, frutificação plena e início da colheita. Após 60 dias do plantio das mudas, surgiram as primeiras flores das plantas submetidas aos tratamentos T5 (100%E) e T7 (100%+NPK). As plantas regadas com 50% da irrigação recomendada (água e E) iniciaram a floração após 75 dias do plantio, evidenciando que a escassez de água pode atrasar o progresso do desenvolvimento das plantas. As concentrações de nitrogênio total nas plantas estiveram dentro das expectativas, entre 28 e 60 g kg<sup>-1</sup>, exceto nos tratamentos irrigados com água a 50% da lâmina recomendada. As plantas submetidas ao T5 (100%E) apresentaram maiores valores em termos de peso (4,8 g), comprimento (44,1 mm), diâmetro (19,9 mm) espessura do pericarpo (5,0 mm) e número de sementes (30 unidades), mostrando que E foi suficiente para suprir as necessidades de água e nutrientes dos pimenteiros. Ademais, não foi observada contaminação dos frutos por coliformes fecais em todos os tratamentos estudados. Os resultados deste experimento, inferem que o uso agrícola de efluente doméstico tratado emerge como uma alternativa promissora, atuando não apenas na conservação de água potável, mas também como fonte de adubação benéfica ao desenvolvimento saudável da pimenta-de-cheiro.

**Palavras-chave:** reúso; nitrogênio; produtividade; semiárido; níveis de irrigação.

## ABSTRACT

Prolonged periods of drought lead to shortages and are responsible for difficulties in maintaining supplies. Food production requires a large quantity of water and often resorts to mineral fertilizers which, if used excessively, can hurt the soil due to the accumulation of chemical substances. A promising solution to agricultural sustainability is to use treated effluents to fertigate crops if they meet the plant water and nutrient needs. This study focused on using treated domestic effluent at different irrigation rates in chili pepper plantation to provide technical and scientific support for the water reuse in vegetable production in the semi-arid region. The experiment was carried out in a greenhouse installed in the Agreste Campus of the Federal University of Pernambuco, in Caruaru - PE. The experimental design was entirely randomized, with eight treatments and three replications each. Plants were irrigated with water and treated with domestic effluent (E), using different water levels (50% and 100% of the water needed to meet the crop's water demands). The irrigation water (water and E) complied with national and international standards and regulations. Watering with E interfered with the phenological stages of the plants, including the emergence of the flower, full flowering, the appearance of the first fruit, full fruiting and the start of the harvest. Sixty days after planting the seedlings, the first flowers appeared on the plants subjected to treatments T5 (100%E) and T7 (100%+NPK). Plants watered with 50 per cent of the recommended irrigation (water and E) started flowering 75 days after planting, showing that water shortages can delay the progress of plant development. Total nitrogen concentrations in the plants were within expectations, between 28 and 60 g kg<sup>-1</sup>, except in the treatments irrigated with water at 50 per cent of the recommended level. Plants submitted to T5 (100%E) showed higher values in terms of weight (4.8 g), length (44.1 mm), diameter (19.9 mm) pericarp thickness (5.0 mm) and number of seeds (30 units), showing that E was sufficient to meet the pepper plants' water and nutrient needs. In addition, no fecal coliform contamination of the fruit was observed in all the treatments studied. These results suggest that the agricultural use of treated domestic effluent is a promising alternative, acting not only to conserve water but also as a source of fertilizer beneficial to the development of chili peppers.

**Keywords:** reuse; nitrogen; productivity; semiarid; irrigation levels.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Mapa 1 -	Semiárido do Brasil	21
Mapa 2 -	Área de estudo – Município de Caruaru	33
Fotografia 1 -	Estufa instalada no CAA/UFPE	34
Fotografia 2 -	Etapas do crescimento da Pimenta de Cheiro	35
Figura 1 -	Dia do plantio (a); Germinação de pimenteiro (b); Aparecimento de 4 folhas verdadeiras (c)	36
Figura 2 -	Volume de vazios – Capacidade de Campo teórica	37
Figura 3 -	Capacidade de Campo do solo	37
Fotografia 3 -	Saída da Lagoa de maturação ETE Rendeiras para Rio Ipojuca	39
Figura 4 -	Etapas do pré-tratamento e Tratamento da ETE Rendeiras-Caruaru	40
Figura 5 -	Pré-plantio e blocos experimentais	42
Figura 6 -	Início de floração	52
Gráfico 1 -	Crescimento médio do pimenteiro (altura)	53
Figura 7 -	Análise de Variância (ANOVA) para o crescimento em altura da planta (cm)	54
Figura 8 -	Análise de Variância (ANOVA) para o número de folhas	56
Figura 9 -	Teores de nitrogênio em tecido foliar	57
Figura 10 -	Teores de proteína bruta em tecido foliar	58
Figura 11 -	Produtividade Pimenta de Cheiro	59
Figura 12 -	Análise de Variância (ANOVA) para o número de frutos	60
Figura 13 -	Análise de Variância (ANOVA) para o peso dos frutos	61
Figura 14 -	Análise de Variância (ANOVA) para o comprimento dos frutos	62
Figura 15 -	Análise de Variância (ANOVA) para o diâmetro dos frutos	63
Figura 16 -	Análise de Variância (ANOVA) para a espessura do pericarpo	64
Figura 17 -	Preparo para contagem de Sementes por tratamento e medições de espessura de pericarpo	64
Figura 18 -	Análise de Variância (ANOVA) quantidade de sementes dos frutos	65
Figura 19 -	Análise de Variância (ANOVA) para o Grau Brix dos frutos de Pimenta de Cheiro	66

Fotografia 4 - Praga nos pimenteiros 1	67
Fotografia 5 - Praga nos pimenteiros 2	68
Fotografia 6 - Experimento após ataques de pragas	69

## **LISTA DE QUADROS**

Quadro 1 -	Legislação e norma do Brasil para o uso de água de reúso na agricultura	30
Quadro 2 -	Metodologias utilizadas em análises das águas de irrigação (E e A)	43

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Necessidade de nutrientes do pimentão conforme teores do solo	40
Tabela 2 -	Fertilizantes adicionados ao solo por tratamento	40
Tabela 3 -	Descrição dos tratamentos	41
Tabela 4 -	Composição de parâmetros físicos, químicos e bacteriológicos das águas de irrigação	46
Tabela 5 -	Nutrientes contidos nas águas de irrigação	48
Tabela 6 -	Minerais nas águas de irrigação	49
Tabela 7 -	Características físicas do solo (IPA)	50
Tabela 8 -	Características químicas do solo utilizado no experimento	50

## LISTA DE SIGLAS

A	Água
CC	Capacidade de Campo
CE	Condutividade Elétrica
CF	Coliformes Fecais
CNRH	Conselho Nacional de Recursos Hídricos
CT	Coliformes Totais
CTCe	Capacidade de Troca de Cátions efetiva
DQO	Demanda Química de Oxigênio
E	Água de Reúso
EDT	Esgoto Doméstico Tratado
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto Sanitário
FAO	Organização das Nações Unidas Para Agricultura e Alimentação
IPA	Instituto Agronômico de Pernambuco
ODS	Organização Mundial de Saúde

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>16</b>
<b>2</b>	<b>HIPÓTESES</b>	<b>19</b>
<b>3</b>	<b>OBJETIVOS</b>	<b>20</b>
<b>3.1</b>	<b>Objetivo Geral</b>	<b>20</b>
<b>3.2</b>	<b>Objetivos específicos</b>	<b>20</b>
<b>4</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>21</b>
<b>4.1</b>	<b>Semiárido</b>	<b>21</b>
<b>4.2</b>	<b>Uso de água e fertilizantes na produção agrícola</b>	<b>22</b>
<b>4.3</b>	<b>Água de Reúso na agricultura</b>	<b>24</b>
4.3.1	Água de reúso pelo mundo	25
<b>4.4</b>	<b>Qualidade da água de reúso na agricultura e seus principais regulamentos e diretrizes</b>	<b>25</b>
4.4.1	Regulamentos e Diretrizes mundiais	28
4.4.2	Regulamentos e diretrizes no Brasil	29
<b>4.5</b>	<b>Cultura da Pimenta</b>	<b>30</b>
<b>5</b>	<b>METODOLOGIA</b>	<b>34</b>
<b>5.1</b>	<b>Área de estudo</b>	<b>34</b>
<b>5.2</b>	<b>Preparação e plantio de cultura da pimenta (Capcicum Chinense)</b>	<b>35</b>
<b>5.3</b>	<b>Águas de irrigação, adubação e estação de tratamento de esgotos</b>	<b>39</b>
<b>5.4</b>	<b>Tratamento e delineamento experimental</b>	<b>42</b>
<b>5.5</b>	<b>Caracterização das águas de irrigação</b>	<b>44</b>
<b>5.6</b>	<b>Caracterização do solo</b>	<b>45</b>
<b>5.7</b>	<b>Análises estatísticas</b>	<b>45</b>
<b>6</b>	<b>RESULTADOS</b>	<b>46</b>
<b>6.1</b>	<b>Qualidade das águas de irrigação</b>	<b>46</b>
6.1.1	Físico-químico	46
6.1.2	Nutrientes	49
<b>6.2</b>	<b>Solo</b>	<b>51</b>
<b>6.3</b>	<b>Aspectos agronômicos</b>	<b>53</b>
6.3.1	Efeito das águas de irrigação (água de reúso e água) sobre o desenvolvimento da pimenta de cheiro	54
6.3.2	Produtividade da Planta	59

<b>6.4</b>	<b>Pragas no cultivo de Pimenta de Cheiro</b>	<b>67</b>
<b>7</b>	<b>CONCLUSÕES</b>	<b>71</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>73</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A disponibilidade de água é um dos grandes desafios do mundo, a se vencer a médio e curto prazos. As áreas secas estão aumentando e à medida que o processo de desenvolvimento econômico acelera em muitos países, crescem a necessidade e a disputa pelos recursos hídricos em diversos setores de produtos (FAGHIH *et al.*, 2019; LIU, 2019).

É urgente uma mudança de paradigmas sobre a gestão sustentável da disposição dos subprodutos gerados em estações de tratamento de esgotos sanitários (ETEs), de forma a proteger o meio ambiente e, ao mesmo tempo, beneficiar a população, permitindo a recuperação de nutrientes para a produção de alimentos (MAGWAZA *et al.*, 2020). O gerenciamento de ETEs têm buscado soluções sustentáveis que envolvem a prática de recuperação e de reaproveitamento de alguns de seus subprodutos, como fontes de água, energia e nutrientes, por exemplo, para agregar valor de mercado e fornecer benefícios econômicos, ambientais e sociais (TARPANI e AZAPAGIC, 2023).

No Brasil, a má distribuição de água no território nacional tem causado problemas tanto de escassez quanto de excesso de água, além da degradação e poluição dos recursos hídricos. Entre as regiões afetadas com a escassez hídrica, destaca-se o Semiárido nordestino (CIRILO, 2015), que nos últimos anos tem sofrido com o agravamento do período de secas e o desabastecimento público de água em muitos dos seus municípios. A disponibilidade de água na região semiárida representa um grande entrave para seu desenvolvimento. A crescente demanda hídrica no abastecimento humano, industrial e agrícola, agravada pela poluição dos mananciais, aumenta a pressão sobre os recursos hídricos, constituindo um problema para os desenvolvimentos social e econômico (AMORIM *et al.*, 2016).

As características climáticas típicas de regiões semiáridas, associadas ao tipo de solo e à vegetação, limitam a produção agrícola (BORGES *et al.*, 2014; COELHO JUNIOR *et al.*, 2020), uma vez que, dentre os usos da água, a agricultura tem sido a grande responsável por cerca de 60 – 90% do consumo de água doce no mundo, a depender do desenvolvimento econômico e do clima local (VELASCO-MUÑOZ *et al.*, 2019). Ademais, o manejo inadequado do solo, associado a suas propriedades edáficas e ao empobrecimento de sua fertilidade em diversas áreas agrícolas, afetam os indicadores sensíveis do solo (LEOGRANDE *et al.*, 2022). Estes indicadores, associados ou não à necessidade do aumento da produção agrícola, têm levado os agricultores a procurarem fontes alternativas de água e de nutrientes que sustentem o plantio de alimentos.

Diante desta proposta, os esgotos domésticos, se devidamente tratados, podem ser usados como água de irrigação. Pois, representam uma alternativa atraente, em substituição às águas de melhor qualidade, uma vez que possuem água e nutrientes que podem induzir a redução do uso de fertilizantes inorgânicos na adubação de campos cultiváveis, além da redução do estresse hídrico, suporte econômico e ajuda na subsistência para os pequenos agricultores (QURESHI *et al.*, 2016; LONIGRO *et al.*, 2016; LIBUTTI *et al.* 2018; PRATAP *et al.*, 2023).

A presença de nutrientes essenciais ao desenvolvimento de plantas nos esgotos domésticos tratados (EDT), como, por exemplo, nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K), é uma das grandes vantagens do reúso agrícola, uma vez que o uso de fertilizantes inorgânicos baseado na fórmula NPK pode ser reduzido com a prática da fertirrigação de culturas com efluente tratado (ROSSI *et al.*, 2021). Associado a isso, a reutilização agrícola pode reduzir cargas ambientais de nutrientes nas águas superficiais (CHOJNACKA *et al.*, 2020).

No entanto, mesmo havendo diversos estudos científicos que abordaram o tema, o uso agrícola de EDT ainda precisa ser aprofundado, principalmente quando se refere às alterações físicas e químicas em solos, além da acumulação de nutrientes e os efeitos sobre reações bioquímicas em plantas, sob diferentes condições de aplicação do EDT, a longo prazo (LIBUTTI *et al.* 2018). Além disso, há uma preocupação com a qualidade do EDT, isto devido à presença de microrganismos patogênicos, os quais podem causar contaminação as culturas, e de sódio e sais que podem comprometer o sistema solo-planta (KIHILA *et al.*, 2014; OLIVEIRA *et al.*, 2022). Assim, o reúso agrícola de EDT deve ser feito sob condições controladas, no que diz respeito à qualidade do EDT.

Outro fator importante a ser estudado é o volume de água a ser aplicado a cada ciclo de irrigação e o sistema de irrigação, principalmente no caso do cultivo de alimentos consumidos crus (hortaliças, legumes, frutos e frutas, por exemplo), a fim de minimizar os riscos de contaminação do solo, de plantas e de corpos hídricos (superficiais e/ou subterrâneos) com microrganismos patogênicos, além da toxicidade de culturas devido ao excesso de nutrientes fornecidos via água de reúso (LOPEZ-GALVEZ *et al.*, 2014). Segundo Lonigro *et al.* (2016), ao avaliarem o efeito do reúso de efluentes tratados no cultivo de vegetais, indicadores microbianos, particularmente *Salmonella*, nunca foram encontrados no solo e nas plantas, e os rendimentos de culturas fertirrigadas com efluentes tratados foram maiores do que os obtidos com água doce, talvez pelo efeito positivo das concentrações de nutrientes mais elevadas transmitidas pelo efluente tratado.

As pimentas do gênero *Capsicum* são originárias da América do Sul e Central, e são uma das plantas mais antigas comercializadas no mundo (PERANTONI *et al.*, 2018). A pimenta

*Capsicum chinense* foi considerada a mais brasileira das espécies, possui diversas cultivares, sendo as mais conhecidas De Cheiro, Cumari do Pará, Murupi, Habanero, Bode e Biquinho, que variam quanto à pungência nos frutos (HEINRICH *et al.*, 2015).

No geral, as pimentas possuem grande importância pela presença de antioxidantes naturais, compostos fenólicos, vitaminas C e E, presença de capsaicinóides e caratenóides benéficas à saúde humana (MENDES *et al.*, 2019). São amplamente cultivadas por pequenos agricultores devido ao alto potencial produtivo, valor gastronômico, aceitação no mercado e retorno financeiro. No Brasil, são cerca de cinco mil hectares de pimentas plantadas; com 64% desta área cultivada com pimentas não pungentes e de polinização aberta (PELVINE, 2019; MARTINEZ *et al.*, 2021).

No entanto, o cultivo de pimentas na região do Semiárido nordestino do Brasil é afetado pela escassez, uma vez que a planta necessita de solo com umidade adequada e boa nutrição. Essa cultura é uma excelente opção para avaliar com o esgoto doméstico tratado contribui com o fornecimento de água e nutrientes. Adicionalmente, variações de lâminas de água no solo podem provocar distúrbios fisiológicos em várias partes da planta. Além disso, a necessidade de água da cultura varia ao longo das diferentes fases de desenvolvimento, o que implica em requerimentos distintos de irrigação durante todo o ciclo de cultivo. Dessa forma, é preciso compreender bem a variação do consumo de água nas diversas fases do desenvolvimento vegetativo das plantas, estudando sua fisiologia, para que seja possível aplicar a quantidade de água correta e assim melhorar a produtividade dos campos cultivados.

Diante desse cenário, este experimento estudou a viabilidade do aproveitamento de efluentes domésticos tratados, utilizando diferentes lâminas de irrigação no cultivo de pimentas. Além disso, foi avaliado, o crescimento e a produção das plantas de pimenta, bem como a absorção de nitrogênio e o teor de proteína bruta na planta e, foi analisado a presença de microorganismos patógenos nos frutos. O intuito foi fornecer embasamento teórico e científico para a implementação segura do reúso de efluentes tratados no cultivo de pimentas.

## 2 HIPÓTESES

- i. A água de reúso vai aumentar a produtividade de pimenteiros.
- ii. A água de reúso vai favorecer a produção de biomassa foliar e o crescimento das plantas.
- iii. Os frutos produzidos pelos pimenteiros fertirrigados com água de reúso não serão contaminados com microrganismos patogênicos.
- iv. As plantas irrigadas com água de reúso apresentarão maiores teores de nitrogênio e proteínas em tecido foliar.
- v. A redução das lâminas de água de irrigação causará efeitos adversos ao desenvolvimento das plantas.

### **3 OBJETIVOS**

#### **3.1 Objetivo Geral**

Estudar o efeito da fertirrigação com água de reúso, a diferentes lâminas de água, sobre o desenvolvimento, produtividade e fisiologia de pimenteiros do gênero (*Capcicum chinense*) cultivar De Cheiro, além da fitossanidade dos frutos.

#### **3.2 Objetivos específicos**

- i. Avaliar o desenvolvimento e a produtividade de pimenteiros irrigados com água de reúso;
- ii. Verificar a assimilação de nitrogênio pelas plantas irrigadas com água de reúso;
- iii. Avaliar os teores de proteína em tecido foliar das plantas irrigadas com água de reúso;
- iv. Analisar a contaminação dos frutos por microrganismos patogênicos produzidos por pimenteiros fertirrigados com água de reúso;
- v. Avaliar o efeito de diferentes lâminas de água de reúso sobre o desenvolvimento e os parâmetros bioquímicos de pimenteiros, durante o cultivo e pós-colheita.

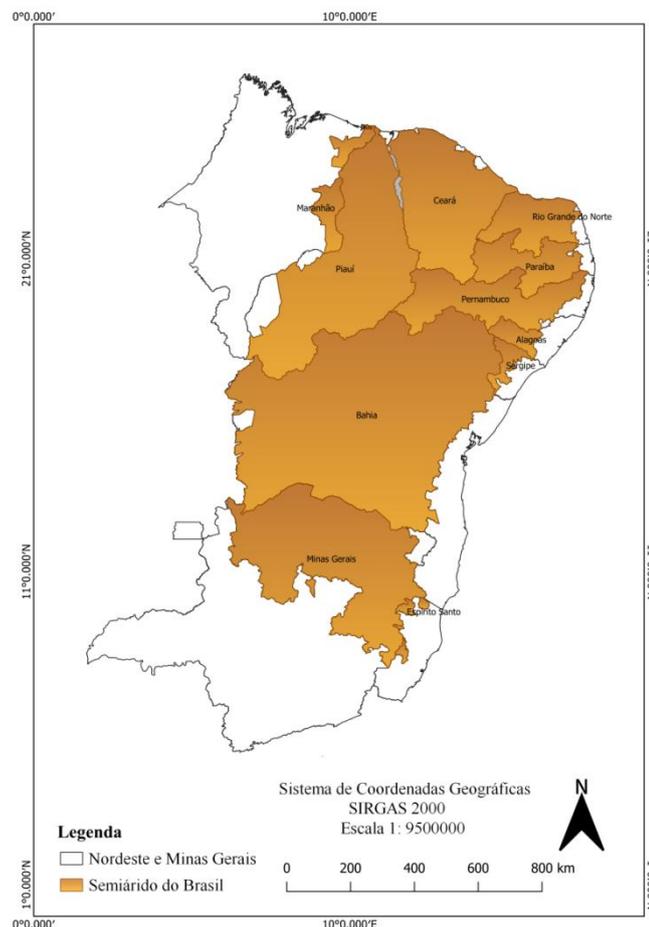
## 4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 4.1 Semiárido

O clima semiárido ocorre em áreas de alta pressão, entre os paralelos de 20° e 30°, em ambos os hemisférios (Norte e Sul), tendo como principais formas de vegetação as savanas e os estepes (BATISTA *et al.*, 2017).

No Brasil, o semiárido abrange uma área de 980.133,079 km<sup>2</sup>, que corresponde a 12% do território brasileiro (INSTITUTO NACIONAL DO SEMIÁRIDO, 2022). A região semiárida brasileira engloba 1.262 municípios (cerca de 20% dos municípios), os quais estão localizados nos estados do Maranhão, Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Bahia e Minas Gerais (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2022). A Mapa 1 apresenta o contorno do semiárido Brasileiro, que abrange quase todo o Nordeste e parte de Minas Gerais no Sudeste do país.

Mapa 1 – Semiárido do Brasil.



Fonte: A autora (2023).

O semiárido do Brasil passou por eventos severos de seca, de 2012 a 2018; que comprometeram o abastecimento de água (PILZ *et al.*, 2019). Este é composto por solos rasos com rocha aflorante, temperaturas elevadas que acarretam altas taxas de evaporação, tais características geram uma pressão excessiva sobre os recursos hídricos (CIRILO, 2015).

A seca é parte indissociável do semiárido brasileiro; no entanto, também ocorre o fenômeno das monções torrenciais, em curtos períodos anuais, que provocam cheias. Esta região ainda apresenta bioma predominante da caatinga e vegetação adaptada composta por mata espinhosa tropical (INSTITUTO NACIONAL DO SEMIÁRIDO, 2022).

O semiárido nordestino do Brasil é uma das regiões de sequeiro mais densamente povoadas do mundo (MARENCO *et al.*, 2017). Condicionado no clima semiárido, esta região tem como principal ecossistema o bioma caatinga. Esta combinação apresenta resultados de elevadas taxas de evapotranspiração e de curta estação chuvosa com alta variabilidade interanual (NOBRE, 2012; PILZ *et al.*; 2019). Além disso, há uma predominância de solos rasos, estes característicos do embasamento cristalino que abrange 70% do território, os quais são, em sua maioria, pouco desenvolvidos em função das condições de escassez das chuvas, que mitigam os processos químicos, e apresentam pouca capacidade de armazenamento de água em aquíferos (NOBRE, 2012; ARAUJO, 2011).

No semiárido nordestino, qualquer diminuição no volume médio de precipitação, que fica entre a seca e o inverno, resulta na queda na produção agrícola, no desemprego e no desabastecimento de água. Quando a diminuição é grande, ocorre evento de seca extrema gerando grandes impactos econômicos e sociais (LIMA e MAGALHÃES, 2018). A agricultura irrigada na Caatinga, através de tecnologias de práticas agrícolas diversificada contribuiu para o fortalecimento socioeconômico; no entanto estas tecnologias são restritas para pequenos grupos de agricultores, onde na maior parte deste bioma Caatinga, os agricultores têm que conviver com condições de produção distintas (SILVA *et al.*, 2019; LACERDA *et al.*, 2021).

#### **4.2 Uso de água e fertilizantes na produção agrícola**

O insumo mais importante para a produção agrícola é a água, a quantidade e a qualidade da água são fatores que influenciam diretamente na produção agrícola. Assim, devido à natureza imprevisível das chuvas e às demandas crescentes de outros setores que utilizam a água, este recurso pode ser um fator limitante (GOWDA *et al.*, 2009, MARWEIN *et al.*, 2017).

A demanda hídrica anual do setor agrícola ( $6.390 \times 10^9 \text{ m}^3\text{ano}^{-1}$ ) representa um volume considerável de água que é, aproximadamente, nove vezes maior que o volume gasto na

indústria ( $716 \times 10^9 \text{ m}^3\text{ano}^{-1}$ ) e 18,5 vezes mais que a demanda doméstica ( $344 \times 10^9 \text{ m}^3\text{ano}^{-1}$ ) (NASCIMENTO *et al.*, 2021). Assim, a água para agricultura no mundo representa 70% do uso total de água, sendo a maior parte usada para irrigação (ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS, 2021). Em países africanos e árabes, o consumo corresponde a 87% e 90%, respectivamente (CAMPBELL *et al.*, 2017); já a Ásia e a Índia, utilizam 90% da água, na agricultura de irrigação (HARRIS, 2017). Ainda, até 2050 é esperado que a demanda por alimentos aumente em 40%, conseqüentemente este aumento deverá ser proporcional ao aumento do consumo de água e uma produção agrícola intensa (ALVES *et al.*, 2023).

O Brasil é o país com a maior disponibilidade de recursos hídricos renováveis do mundo ( $8,65 \times 10^{12}$  milhões de  $\text{m}^3$  por ano) (FAO, 2017). Estima-se que 68,4% da vazão consumida de água seja destinada à irrigação (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2019). A área equipada para irrigação passou de aproximadamente meio milhão de hectares, para aproximadamente 6 milhões de hectares, entre os anos de 1960 e 2015, com perspectiva de chegar a mais de 10 milhões de hectares até 2030 (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2017).

Na agricultura, além da água, que influencia diretamente a produtividade agrícola, outro valioso insumo agrícola é o fertilizante, uma fonte de nutrientes que melhora a qualidade do solo e, conseqüentemente, o rendimento e produtividade das plantas. Ainda, aumentam rapidamente a produção agrícola e garantem a segurança alimentar (GONG *et al.*, 2022).

As plantas necessitam de 14 nutrientes, elementos minerais fornecidos pelo solo através das raízes, em grande quantidade as plantas requerem de nitrogênio (N), na forma de amônio e nitrato, do fósforo (P) convertido em íons de fosfato inorgânico e o potássio (K) absorvido na forma iônica. Além desses, as plantas necessitam em menor quantidade de enxofre (S), cálcio (Ca) e magnésio (Mg); o restante, micronutrientes essenciais a planta são ferro (Fe), zinco (Zn), cobre (Cu), manganês (Mn), molibdênio (Mo), cloro (Cl), boro (B), e níquel (Ni) (REETZ JUNIOR, 2017).

Os fertilizantes químicos podem ser minerais, orgânicos ou organominerais; na forma líquida, sólida ou quelato. Os minerais são formados pelas transformações químicas de rochas, solos ou minas para serem absorvidos pelas plantas e os orgânicos são oriundos dos restos animais ou vegetais após decomposição e mineralização para absorção. No entanto, o uso de fertilizantes em excesso tem causado problemas como degradação dos solos, problemas na saúde humana, insegurança alimentar. Assim, o equilíbrio dentro da adubação com fertilizantes é primordial, para manter a cultura saudável, repor os nutrientes removidos pela colheita e aumentar a produtividade destas (YARANUTRE, 2022).

Além disso, os benefícios são inúmeros também para o solo, trazendo benefícios às propriedades físicas, químicas e biológicas. Estes através do aumento da capacidade calorífica, redução das oscilações térmicas, agregação de partículas elementares, aumento da estabilidade estrutural, coesão em solos arenosos, aumento de permeabilidade hídrica e gasosa e aumento da capacidade de retenção hídrica para as propriedades físicas. Para as propriedades químicas pode haver regulação do potencial hidrogeniônico (pH), aumento na capacidade de troca catiônica, formação de quelatos, além da manutenção das reservas de nitrogênio e acerca das propriedades biológicas há um favorecimento na respiração radical e germinação das sementes, regulação das atividades microbianas, modificando atividade enzimática, melhorando nutrição mineral dos cultivos, favorecendo a solubilização de compostos minerais e ainda inibindo o efeito de algumas toxinas (DHALIWAL *et al.*, 2019).

O Brasil consome próximo a 15,8 milhões de toneladas de fertilizantes, que corresponde a cerca de 8% do total de fertilizantes consumidos no mundo, isto corresponde ao quarto lugar de maior consumo de fertilizantes global, atrás apenas dos países como China, Índia e Estados Unidos. Deste total consumido no Brasil, mais de 40% são utilizados apenas para uma cultura, a soja, que é a maior cultura produzida no país. Dos nutrientes utilizados na fertilização de culturas, o potássio (38%), o cálcio (33%) e o nitrogênio (29%) são os nutrientes mais aplicados nas produções agrícolas do Brasil. A demanda continua crescendo, havendo a necessidade de importar fertilizantes, o país passou de exportador para importador, assim o mercado agrícola do Brasil importa 80% de todo o fertilizante consumido no país, e produz apenas 20% (IFA, 2020; ALMEIDA e VOLOTÃO, 2020),

Os principais fornecedores de fertilizantes para o Brasil são Rússia, Ucrânia e China; desta forma, o país tem sofrido com a dificuldade de fornecimento deste insumo agrícola. Isto provoca o aumento dos preços de fertilizantes e elevando os custos da produção agrícola (XAVIER *et al.*, 2022; HALECKI e BEDLA, 2022).

### **4.3 Água de reúso na agricultura**

Ao considerar os subprodutos das ETEs como recursos passíveis de serem destinados a finalidades sustentáveis, em vez de resíduos de processo a serem descartados, esses elementos têm o potencial de gerar receitas. Isso transforma o ciclo de tratamento dos esgotos sanitários em um sistema fechado, representando uma economia em circuito fechado. (SILVA *et al.*, 2018).

Os esgotos sanitários geralmente são tratados por vias físicas, químicas e biológicas; que são agrupados em subsistemas (por exemplo, tratamentos primários, secundários e terciários), para alcançar a remoção de contaminantes, facilitar o gerenciamento dos subprodutos gerados e atender aos padrões legislativos sobre a qualidade da água descartada (RAHEEM *et al.*, 2018). Os efluentes resultantes desse processo de tratamento, quando lançados nos corpos receptores, ainda apresentam uma série de componentes, principalmente elevados teores de nitrogênio que, conforme grau de tratamento dos esgotos, podem apresentar de 15 a 70% das concentrações encontradas nos esgotos brutos ( $35 - 60 \text{ mg.L}^{-1}$ ), e de fósforo que, da mesma forma, podem apresentar de 0 a 20% das concentrações presentes nos afluentes das ETEs ( $4 - 12 \text{ mg.L}^{-1}$ ) (CAVALCANTI *et al.*, 2001; VON SPERLING, 2005).

Esses teores de nutrientes são grandes responsáveis pelo processo de eutrofização, o qual pode causar danos aos corpos receptores, como por exemplo, a depleção do oxigênio dissolvido, a perda da biodiversidade e a proliferação de algas (KIHILA *et al.*, 2014; OLIVEIRA *et al.*, 2022). O reúso de efluentes domésticos tratados na agricultura representa não só uma estratégia de reaproveitamento da água e dos nutrientes, mas também uma alternativa para minimizar o processo de eutrofização nos corpos hídricos (JARMILLO e RESTREPO, 2017; MUNIVAND *et al.*, 2023).

#### 4.3.1 Água de reúso pelo mundo

As águas residuárias eram utilizadas na agricultura como o próprio descarte de resíduos produzidos pelos assentamentos urbanos nas civilizações pré-históricas, na idade do Bronze (3200-1100 a.C.), sendo a irrigação do solo residuárias a prática mais comum na época (ANGELAKIS e SNYDER, 2015).

Entre os anos de 1550 e 1700 que o reúso das águas residuárias na agricultura foi estendido para Alemanha, Escócia e Inglaterra. Em 1800, esta prática foi adotada em cidades da Europa e Estados Unidos, sendo considerada uma prática legal em Londres, Paris e Boston (DRECHSEL *et al.*, 2010; TZANAKAKIS *et al.*, 2014). Na Austrália, os primeiros campos irrigados com águas residuárias surgiram no ano de 1987 (TZANAKAKIS *et al.*, 2014).

Embora utilizada há séculos, em cidades como Berlim (Alemanha), Londres (Inglaterra), Milão (Itália) e Paris (França), a prática do uso de águas residuárias na agricultura é limitado a 2,4% dos efluentes das estações de tratamento de águas residuárias na União Europeia (PEDREIRO *et al.*, 2010; GAWLIK e ALCÁDE-SANZ, 2014).

Em diversos países, como China, Espanha, Israel, Portugal e Estados Unidos grandes áreas são irrigadas com águas residuárias (HENDGES *et al.*, 2018). Há países que se destacam no uso desse efluente, como Chipre e Malta que fazem reúso de 90% e 60%, respectivamente, das águas residuárias, devido problemas com falta de água, assim como outros países como Jordânia e Israel que utilizam na irrigação 80% e 90% respectivamente das águas residuárias tratadas pela mesma condição (UM WORLD WATER ASSESSMENT PROGRAMME, 2017; VOULVOULIS, 2018; CHOJNACKA *et al.*, 2020).

A irrigação com uso de águas residuárias foi de 26% da produção de vegetais no Paquistão (Ásia Meridional) e 80% da produção de hortaliças em Hanói (Vietnã) (ENSINK *et al.*, 2004; LAI, 2000). Nos Estados Unidos, apenas 1,5% das águas residuais passam por reutilização, sendo a Califórnia o estado que mais adota essa prática. Lá, são utilizados 656 milhões de metros cúbicos de águas residuais para reúso (PEDREIRO *et al.*, 2010). As águas residuárias também são empregadas em diferentes graus de diluição ou mesmo sem tratamento, como é o caso de Gana (África Ocidental) que as águas residuárias são diluídas em rios e córregos e utilizadas informalmente em 11.500 hectares de áreas de irrigação no México e aproximadamente 260.000 hectares são irrigados com águas residuárias parcialmente tratadas (KERAITA, JIMENEZ e DRECHSEL, 2008; MÉXICO CAN, 2004). Esta última prática pode gerar efeitos adversos à saúde, os agricultores ficam expostos a possíveis patologias como vermes parasitas, vírus e bactérias (PEDREIRO *et al.*, 2010).

Cerca de 8% da área total de terras cultivadas são irrigadas por águas de reúso em todo o mundo, dois terços dessa área de terra pertencem à Ásia (MILLER-ROBBIE *et al.*, 2017). As principais culturas produzidas com irrigação de EDT em todo o mundo são as hortaliças (32%) e os cereais (27%), as quais são produzidas por pequenos agricultores em países em desenvolvimento, que necessitam diretamente dos EDT para os seus cultivos (QADIR *et al.*, 2010; PRATAP *et al.*, 2021). Assim, o cultivo agrícola com águas de reúso em todo mundo corresponde a aproximadamente 15% dos meios de subsistência dos agricultores (FAOSTAT, 2009).

No Brasil, as discussões sobre reúso surgiram na década de 1960, porém só apresentou relevância no meio científico no ano de 2000, com o problema da escassez de água potável no planeta. O país foi incentivado pela Eco 92 (1992) e Agenda 21 (1992) a fazer o uso e a reciclagem de efluentes (HESPANHOL, 2002; PROCHNOW, 2016; MOURA *et al.*, 2020).

A Organização das Nações Unidas Para Agricultura e Alimentação (FAO), apresentou que aproximadamente 10% de toda a águas residuais utilizadas na agricultura em todo o mundo não foi tratada ou só foi realizado tratamento parcial (WINPENNY *et al.*, 2013).

O reúso de esgotos domésticos tratados é uma solução que apresenta benefícios à economia, ao meio ambiente e à saúde da população (JARMILLO e RESTREPO, 2017). Esta é uma solução para diferentes regiões, principalmente as que sofrem com escassez de água, diminuindo a pressão sobre a exploração das fontes de água doce, aumentando a produção agrícola nessas áreas. Também apresenta reduções associadas aos custos de produção agrícola, tanto pela exploração de águas subterrâneas, quanto pelo aproveitamento de nutrientes naturalmente contidos nas águas residuárias que permitem uma economia no uso de fertilizantes (WINPENNY *et al.*, 2013; BECERRA *et al.*, 2015; MOSCOSO, 2022; JARMILLO e RESTREPO, 2017). Ademais, com o aumento do volume de águas residuárias tratadas, a prática de reúso, se mostra como uma alternativa de baixo custo, quando relacionada às práticas agrícolas convencionais (BARROS *et al.*, 2015; HENDGES *et al.*, 2018).

Os nutrientes contidos nas águas residuárias tratadas, quando utilizados na fertirrigação, permitem que haja um ciclo de nutrientes fechado que favorece o meio ambiente, evitando o retorno de micronutrientes (Ca, Mg, B, Mg, Fe, Mn ou Zn) e macronutrientes (N e P) aos corpos hídricos (BARRETO *et al.*, 2013; LIU e HAYNES, 2011), reduzindo a eutrofização dos corpos hídricos e as possíveis contaminações geradas pelos fertilizantes químicos utilizados na agricultura (JARMILLO, 2014; CANDELA *et al.*, 2007). Além disso, a aplicação de águas residuárias tratadas ao solo melhora sua fertilidade, apresenta potencial de redução do aquecimento global pela redução de emissão de metano e promove agricultura sustentável (MENGYAO *et al.*, 2020; INTRIAGO *et al.*, 2018).

#### **4.4 Qualidade da água de reúso na agricultura e seus principais regulamentos e diretrizes**

Os principais objetivos das águas de reúso são fornecer suprimento adequado de água e garantir segurança alimentar, esse através de aplicação de tratamento de águas residuais que atinjam o objetivo para o fornecimento de águas residuais de qualidade (DOBROWOLSKI *et al.*, 2017; PEDREIRO *et al.*, 2010). Estas águas podem ser utilizadas em diferentes plantas, com aproveitamento não só da água para irrigação, mas também da fertilização através dos nutrientes fornecidos (HENDGES, 2018; EMBRAPA, 2014). Reconhecida como uma abordagem ambiental de baixo custo, as águas de reúso foram utilizadas, segundo dados da FAO, em mais de 20 milhões de hectares em todo o mundo (WINPENNY *et al.*, 2013).

A qualidade das águas residuárias depende de alguns aspectos relacionados com a qualidade do abastecimento de água, a natureza dos resíduos adicionados durante o uso da água

e do grau de tratamento que as águas residuais recebem. O grau de tratamento das águas residuais é principalmente para que o descarte deste efluente esteja conforme parâmetros de lançamento do corpo hídrico (PEDREIRO *et al.*, 2010).

#### 4.4.1 Regulamentos e Diretrizes mundiais

Existem diversos regulamentos e diretrizes disponíveis sobre o uso de águas residuárias tratadas na agricultura, os quais diferem em relação aos parâmetros alvos, aos limites desses parâmetros e aos tipos de cultura cultivada (MANARDIS *et al.*, 2022).

O Estados Unidos foi o primeiro país a regulamentar as práticas de reúso no mundo, no início de 1918 na Califórnia, com o uso de efluentes tratados para as culturas não consumidas cruas. No ano de 1973, a Organização Mundial de Saúde (OMS) apresentou as primeiras diretrizes para o reúso de água para irrigação, e no ano de 2006, apresentou as diretrizes para o uso de efluentes na irrigação agrícola (OMS, 2016; ANGELAKIS *et al.*, 2018).

Em 2006, a Austrália desenvolveu uma legislação para a água de reúso a *Australian Guidelines for Water Recycling* (AGWR), a qual estabelece os parâmetros para a irrigação com o EDT, para jardins, paisagens, cultivo de alimentos e campos esportivos (OBRACSKA *et al.*, 2017). Na Espanha, o Real Decreto Espanhol 1620/2007, apresenta as condições básicas para reutilização do EDT e a qualidade exigida de acordo com os usos pretendidos, dentre eles o uso agrícola. A *E. Coli*, os nematoides intestinais, os sólidos suspensos e a turbidez, são os parâmetros avaliados para estes diversos usos.

No Plano de Ação da Economia Circular da (COMISSÃO EUROPEIA, 2015), contém os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) até 2030, garantindo padrões de consumo e produção, promovendo a reutilização das águas residuárias nos processos agrícolas. China, Omã e Egito permitem padrões de reutilização mais flexíveis (MANARDIS *et al.*, 2022).

O Regulamento da União Europeia 2020/741, apresenta os requisitos mínimos para a reutilização de EDT, devendo este assegurar o aumento substancial da reciclagem e reutilização do EDT, contribuindo para a produção sustentável conforme os objetivos de desenvolvimento sustentável da Agenda 2030 das Nações Unidas (JORNAL OFICIAL DA UNIÃO EUROPEIA, 2020). Dentre os requisitos mínimos, as culturas alimentares consumidas cruas e com contato direto à rega do EDT são as que apresentam requisitos mais rígidos. Para esses alimentos, os coliformes termotolerantes, *E. coli*, são os parâmetros mais relevantes em cada classe de reutilização, com limite máximo de concentração de *E. Coli* 10 NMP 100 mL<sup>-1</sup>, para alimentos de consumo cru e rega de contato direto (JORNAL OFICIAL

DA UNIÃO EUROPEIA, 2020). Ainda este regulamento define quatro classes de qualidade EDT para irrigação e deverá ser adotado por todos os membros da União Europeia (MAINARDIS *et al.*, 2022).

#### 4.4.2 Regulamentos e diretrizes no Brasil

Inicialmente, os EDTs precisam estar em conformidade com as normas de lançamento nos corpos hídricos, sua destinação convencional. As resoluções nacionais que determinam os padrões de lançamento para os EDTs são as Resoluções do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) n° 357, de 17 de março de 2005 (BRASIL, 2005) e n° 430, de 13 de maio de 2011 (BRASIL, 2011), conforme classificação dos corpos receptores.

No Brasil, as recomendações da Norma Brasileira NBR ABNT n° 13.969, fornecem instruções para o sistema de reúso e definem os parâmetros de avaliação da qualidade da água de reúso de acordo com a classe e uso (ABNT, 1997). Conforme esta norma, a classe 4 que determina o limite para o reúso agrícola, através de irrigação pontual e escoamento superficial, o limite máximo para coliformes termotolerantes foi de  $5 \cdot 10^3$  NMP  $100\text{mL}^{-1}$  e a concentração de oxigênio dissolvido deverá ser acima de  $2,0 \text{ mg L}^{-1}$ , para estes limites a irrigação deverá ser interrompida pelo menos 10 dias antes da colheita.

A Resolução n° 54 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH, 2005) estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reúso direto não potável de água e definiu reúso de água como a utilização de águas residuárias, oriundas de esgotos sanitários e outras águas tratadas ou não (OLIVEIRA e FERREIRA, 2019). A Resolução CNRH n° 121 estabelece diretrizes e critérios para a prática de reúso direto não potável na modalidade agrícola e florestal, ambas não apresentam limites de parâmetro (CNRH, 2010).

Os primeiros estados do Brasil que incluíram a possibilidade e critérios para o reúso foram a Bahia (2010), Ceará (2017), São Paulo (2017), Minas Gerais (2020) e Rio Grande do Sul (2020) (SANTOS *et al.*, 2020).

O estado da Bahia, em 2010, foi o primeiro a possuir legislação para o reúso de água, conforme as diretrizes publicadas pela OMS. Em âmbito estadual e municipal, a Lei n° 16.033 de 2016 do estado do Ceará estabelece os critérios para o reúso de águas não potáveis, incluindo as águas residuárias. Ainda no Ceará, a Resolução do COEMA n° 2/2017, estabelece entre outros, as condições e padrões para reúso, entre eles o reúso agrícola, com os limites para os parâmetros de coliformes termotolerantes, pH, ovos de helmintos, condutividade elétrica e razão de absorção de sódio (GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ, 2017). No Rio Grande do

Sul a Resolução nº 419 estabelece os critérios de utilização da água de reúso para diversos fins e apresenta uma lista de parâmetros com os limites máximos permitidos para água de reúso para fins agrícolas e florestais (RESOLUÇÃO nº 419/2020). Entre eles o pH deverá permanecer entre 6 e 9; os coliformes termotolerantes como no máximo  $10^4$  NMP100 mL<sup>-1</sup> e ovos de helmintos 1 ovo L<sup>-1</sup>. O Quadro 1 apresenta um resumo das principais legislações e normas do Brasil para o uso da água de reúso na prática agrícola e seu principal escopo.

Quadro 1 – Legislação e norma do Brasil para o uso de água de reúso na agricultura.

LEGISLAÇÃO / NORMA	ESCOPO
NBR nº 13.969 (ABNT, 1997).	Apresenta as instruções para o sistema de reúso, e define os parâmetros de avaliação da qualidade da água de reúso de acordo com a classe de uso.
Resolução nº 54 (BRASIL, 2006).	Apresenta as modalidades, diretrizes e critérios gerais prática de reúso direto não potável de água, em todo o território nacional.
PL nº 58 (BRASIL, 2016).	Apresenta as disposições sobre o abastecimento de água por fontes alternativas, entre elas o reúso agrícola.
Resolução nº 75 (GOVERNO DO ESTADO DA BAHIA, 2010).	Apresenta os procedimentos para a prática de reúso direto não potável de água, entre elas o reúso para fins agrícolas e/ou florestais.
Lei nº 16.033 (GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ, 2016).	Apresenta as disposições sobre a política de reúso de água não potável no estado, estabelecer critérios com o objetivo de viabilizar e estimular a sua ação no estado.
Lei nº 7.424 (GOVERNO DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO, 2016).	Apresenta a determinação de utilização de água de reúso não potável pelos órgãos integrantes da administração pública estadual do estado.
Resolução nº 419 (GOVERNO DO ESTADO RIO GRANDE DO SUL, 2020).	Apresenta os critérios e procedimentos estabelecidos para a utilização de água de reúso para fins urbanos, industriais, agrícolas e florestais no Estado do Rio Grande do Sul.

Fonte: A autora (2023).

#### 4.5 Cultura da Pimenta

Um dos maiores desafios da agricultura é fornecer segurança alimentar e nutricional às pessoas do mundo, este em crescimento populacional constante (KRISHNA *et al.*, 2019). As áreas de produção hortícola estão localizadas em climas quentes e secos, no entanto há

problemas relacionados ao déficit hídrico do solo. Além disso, o clima da localidade do cultivo irá determinar a demanda de evapotranspiração da cultura, tipo de solo e a água disponível para absorção da planta (PANTANÈ, 2011).

A pimenta (*Capsicum spp.*) está entre as culturas mais antigas cultivadas no mundo, nas Américas uma das culturas mais antiga foi a pimenta do gênero *Capsicum* (ANDRADE *et al.*, 2017; DIAS *et al.*, 2017). A pimenta pertence à família das *Solenaceae*, cultura diplóide, facultativa e auto polinizadora, incluindo mais de 3.000 espécies diversas em todo mundo (KIM *et al.*, 2014; PERATONI *et al.*, 2018). Apresenta altos índices de consumo e valor econômico, é amplamente cultivada no mundo como condimento e como um dos principais ingredientes nas cozinhas (JIN *et al.*, 2022).

O gênero de pimenta *Capsicum* inclui várias espécies, das quais cinco são usadas frescas ou como condimento, a *Capsicum annum*; a *Capsicum baccatum*; a *Capsicum chinense*; a *Capsicum frutescens* e a *Capsicum pubescens* (MENDES *et al.*, 2019).

A *Capsicum chinense* é caracterizada por ser uma cultura típica de clima tropical, com origem no continente americano, apresenta diferentes formatos, tamanhos e possui uma sutil pungência em virtude da presença de capsaicina. Considerada a mais brasileira das espécies, foi domesticada pelos indígenas amazônicos, na Bacia Amazônica, com alta diversidade genética. A *Capsicum chinense* apresenta diversas cultivares, sendo as mais conhecidas de Cheiro, Cumari do Pará, Murupi, Habanero, Bode e Biquinho, que variam quanto à pungência dos frutos (RIBEIRO *et al.*, 2018; MARTINEZ *et al.*, 2021; GUERRA *et al.*, 2021).

A pimenta de cheiro é uma variedade de pimenta popular no Brasil e em algumas outras regiões da América Latina. Embora seu nome possa variar dependendo da região, é comumente conhecida por esse nome no Brasil. A produção de pimenta de cheiro é uma atividade agrícola relevante em muitas regiões brasileiras, principalmente no Norte e Nordeste. Produtores locais cultivam essas pimentas para atender à demanda do mercado interno e também para exportação para outros países. Existem cerca de 138 pequenos produtores de pimentas nas regiões de Brasília, estes produziram 800 toneladas de pimenta de cheiro e arrecadaram um valor bruto de produção de aproximadamente 3,5 milhões de dólares (EMBRAPA, 2021).

A pimenta é amplamente utilizada na culinária brasileira, conferindo sabores e aromas característicos aos pratos. Tem alto valor nutricional principalmente os essenciais à saúde; podendo conter, vitaminas, minerais e compostos bioativos. Por esse motivo, é uma commodity valorizada no mercado de alimentos, a sua produção no mundo cresceu 40 vezes do ano 1980 a 2011, gerando 14,4 bilhões de dólares (KIM *et al.*, 2014; ALVES *et al.*, 2016).

A produção da pimenta também é direcionada para exportação, exercendo um papel significativo no equilíbrio da balança comercial brasileira. A cultura da pimenta é disseminada por praticamente todo o território nacional, com ênfase nos estados de Minas Gerais, São Paulo, Goiás, Ceará e Rio Grande do Sul, os quais se destacam ao contribuir com cerca de 75 mil toneladas de produção. É importante observar que, especificamente para as variedades de pimenta de cheiro, o seu cultivo encontra maior predominância na região Norte do país (EMBRAPA, 2008).

A produção de pimenta envolve diversas etapas, desde o plantio, cultivo, colheita, até a comercialização. As pimentas do gênero *Capsicum* são cultivadas em todo o mundo, com destaque para China e Índia com mais de um milhão de hectares de produção. Já no Brasil a área cultivada é de 5 mil hectares, com destaque para os estados de Minas Gerais, Ceará e Goiás (PELVINE, 2019).

A pimenta de cheiro apresenta tamanho médio de 6 cm de comprimento por 3 cm de largura, assim como, polpa bem fina e fruto oco por dentro com poucas sementes. O fruto é comercializado imaturo, com coloração verde-claro, no entanto, conforme amadurecimento torna-se laranja claro, amarelo ou vermelho (GUERRA *et al.*, 2021; EMBRAPA, 2021). A pimenta de cheiro apresenta cotação de mercado, mostrando assim sua relevância, em 2020 o preço pago pela caixa de 9 kg a 12 kg variaram entre R\$ 30,00 e R\$ 45,00, e ainda o volume comercializado pelos produtores do Distrito Federal foi de 24,76 toneladas na central de abastecimento local (Ceasa – GO) (CEASA, 2019; CEASA, 2020; EMBRAPA, 2021). Existem diversos custos com o cultivo de pimenta de cheiro, para uma produtividade de 12.000 kg/ha por gotejamento são gastos em média, mais R\$ 7.200,00 com fertilizantes; R\$ 528,00 com agrotóxicos; mais de R\$ 11.500,00 para o restante dos insumos como energia elétrica, sementes, substrato e bobinas de *mulching* e aproximadamente R\$ 15.000,00 em serviços; totalizando um custo de aproximadamente R\$ 34.000,00.

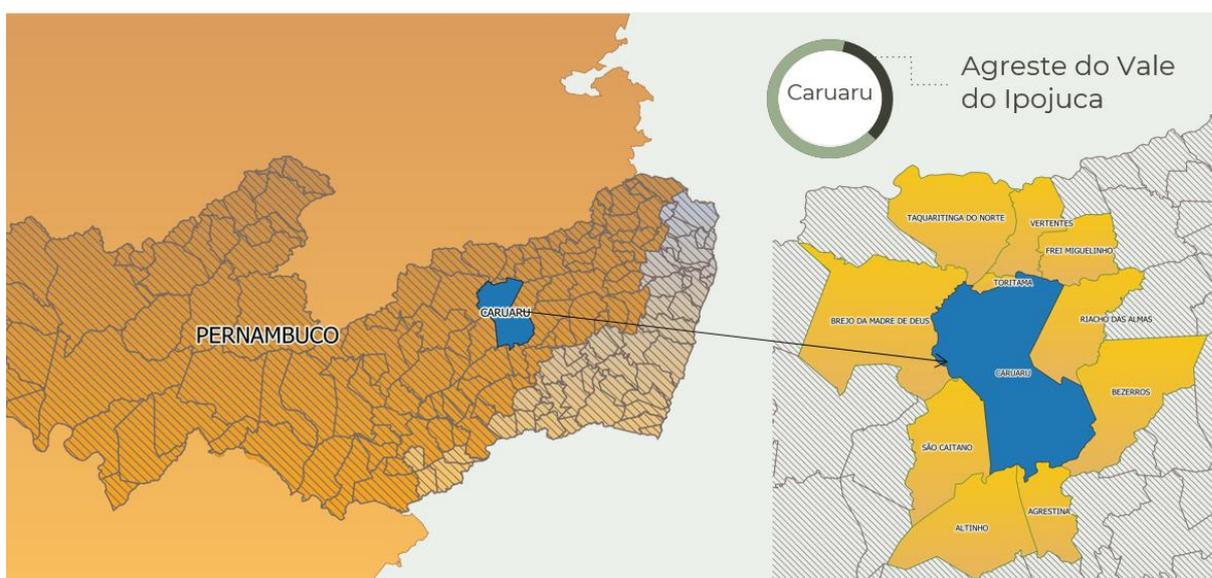
Um dos principais problemas que afetam o cultivo de pimenta de cheiro é a ocorrência de doenças e pragas, entre as doenças de importância econômica, destacam-se principalmente as viroses causadas por diversas espécies de vírus, a mancha bacteriana (*Xanthomonas spp.*) e a antracnose (*Colletotrichum spp.*) e das pragas, a ocorrência de ácaros, pulgões e tripses. De acordo com Lima *et al.* (2019), pulgões, tripses e mosca-branca são os principais insetos vetores de vírus na cultura da pimenta, estes causam prejuízos no desenvolvimento das plantas e dos frutos e resultam na redução da produtividade (EMBRAPA, 2021).

## 5 METODOLOGIA

### 5.1 Área de estudo

O experimento foi conduzido em estufa instalada no CAA/UFPE (Centro Acadêmico do Agreste da Universidade Federal de Pernambuco), em Caruaru – PE. O município está localizado na região do Vale do Ipojuca (Mapa 2) e apresenta precipitação média anual de 612 mm (BRASIL, 2023).

Mapa 2 - Área de estudo – Município de Caruaru.



Fonte: A autora (2023).

A estufa possui área de 19,20 m<sup>2</sup> (Fotografia 3), com partes laterais constituídas em tela sombrite 30%, que permite a passagem de 70% de luz solar, umidade externa e ar pelas aberturas, assim como evita a interferência de fatores externos como chuva e incidência de animais e insetos que possam interferir no experimento. A cobertura da estufa é em material plástico confeccionado em lona transparente, que permite a passagem de mais de 80% de luz e calor, permitindo a entrada uniforme de luz solar.

Fotografia 1 – Estufa instalada no CAA/UFPE.



Fonte: A autora (2023).

## 5.2 Preparação e plantio de cultura da pimenta (*Capicum chinense*)

O pimenteiro (*Capicum chinense*), cultivar “pimenta de cheiro”, foi escolhido como planta teste porque seu cultivo é praticado, em grande escala, no cenário da agricultura familiar, no contexto da agricultura de pequeno porte, tornando-o relevante em diversos aspectos, sobretudo no que se refere às questões de cunho socioeconômico, gerando inúmeros empregos em virtude da grande demanda por mão de obra, principalmente na colheita (GUERRA *et al.*, 2021).

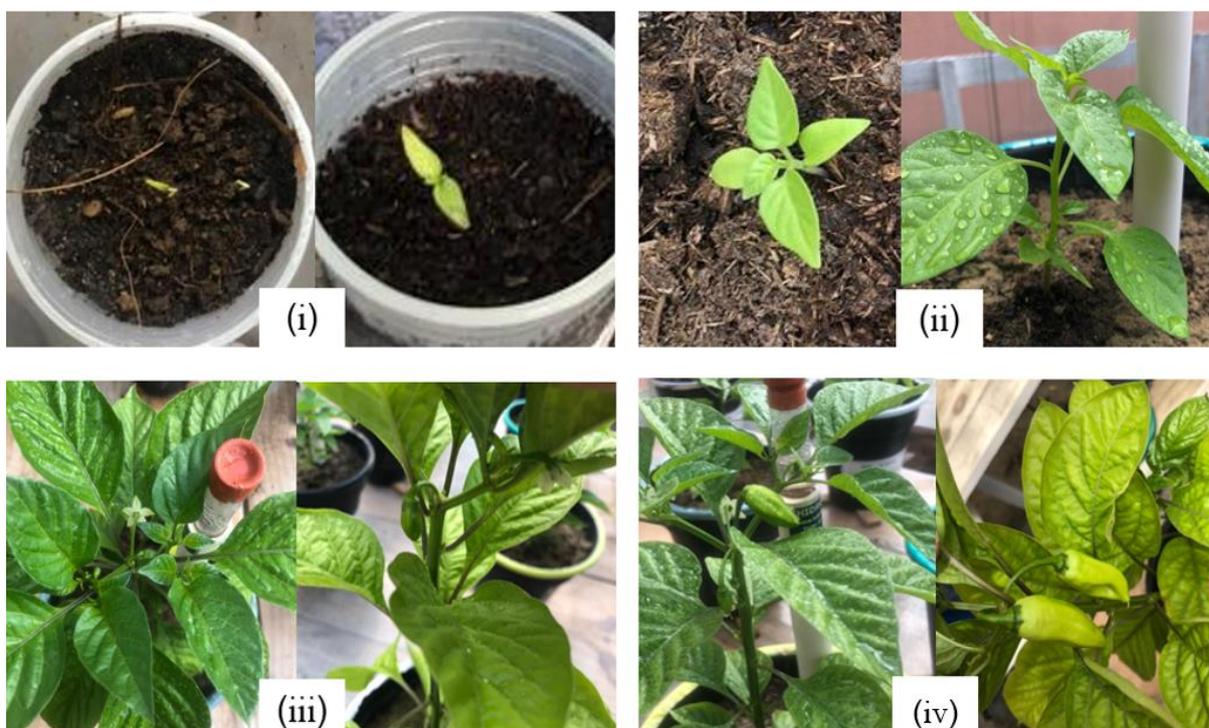
A pimenta de cheiro deve ser plantada em locais luminosos e com calor, a temperaturas entre 16°C e 35°C, desenvolvendo-se melhor em regiões quentes; a melhor época para o plantio é no verão. Além disso, a maioria das cultivares plantadas no Brasil é colhida de 90 a 150 dias após a germinação, com ciclo de colheita afetado diretamente pelas condições climáticas, adubação, irrigação, incidência de pragas e doenças. A cultivar de pimenta de cheiro, na colheita, apresenta frutos que variam de 0,40 a 13,0 g (EMBRAPA, 2007; EMBRAPA, 2014).

### 5.2.1 Germinação

O ciclo vegetativo do pimenteiro pode ser dividido em 4 fases: (i) germinação, período de tempo que vai da embebição à emergência da radícula; (ii) crescimento vegetativo, o

processo se inicia com o formação de 6 a 11 folhas abaixo da 1ª inflorescência, com a transição floral ocorrendo quando a 3ª folha está se expandindo, aproximadamente três semanas após a expansão dos cotilédones; (iii) florescimento, início do florescimento até ao início do desenvolvimento do fruto; (iv) Desenvolvimento do fruto ao amadurecimento, início da colheita (SOARES *et al.*, 2013) (Fotografia 2). Todas as plantas foram irrigadas sem restrições durante o estágio inicial (i), para garantir um bom estabelecimento das plantas (ABDEL-KHALEK *et al.*, 2020).

Fotografia 2 – Etapas do crescimento da pimenta de cheiro.



Fonte: A autora (2023).

Na primeira etapa do ciclo vegetativo (germinação), as pimentas foram germinadas em copos plásticos de 150 mL, com furos inferiores para drenagem. Foi utilizado na germinação uma mistura do solo e matéria orgânica, esterco bovino, na proporção de 2:1. As sementes foram compradas em loja especializada em produtos agrícolas, do fornecedor (HORTIVALE sementes de hortaliças); na sementeira, foram semeadas 3 sementes por copo, a 1 cm de profundidade, centralizadas. As regas foram realizadas diariamente, utilizando água de abastecimento do Campus Universitário (Campus Agreste), para manter o solo úmido. Isto é essencial para desencadear o processo germinativo, contribuindo para reidratação dos tecidos da semente que permitem digestão, translocação dos nutrientes armazenados para o crescimento

do eixo embrionário e emergência da radícula (MARCOS FILHO, 2015). Este manejo foi realizado até que a planta atingisse condições de transplante para vaso experimental (Figura 1). O período de germinação ocorreu no intervalo de 8 a 15 dias; depois de germinada, a planta necessitou ter estrutura para ser transplantada para vaso, este momento ocorreu quando a planta apresentou de 4 a 6 folhas verdadeiras, um tempo médio de 25 a 30 dias após a germinação.

Figura 1 - Dia do plantio (a); Germinação de pimenteiro (b); Aparecimento de 4 folhas (c).



Fonte: A autora (2023).

Após germinação e estruturação das plantas, escolheu-se as plantas mais uniformes em estrutura vegetal (altura e formação das folhas) e estas foram transplantadas para os vasos de plantio, os quais tinham formato de tronco de cone, com volume calculado de  $4310,26 \text{ cm}^3$ , ou seja, aproximadamente 4,3 L. Os turnos de irrigação foram monitorados através do potencial matricial do solo, com uso de tensiômetro de punção (marca HIDROSENSE modelo HID32) e tensímetro digital de agulha (marca BLUMAT modelo HID07). Para instalação do conjunto tensiômetro e tensímetro em solo, foi necessária a calibração do tensímetro e saturação por 24 horas da cápsula de porcelana do tensiômetro. Os tensiômetros foram instalados em um dos vasos que representava as triplicatas de cada tratamento, assim foi necessária a realização de testes de volume de vazios e capacidade de campo (CC), para garantir a correta irrigação das demais triplicatas.

Para determinação das lâminas de irrigação, inicialmente foi calculado o volume de vazios, para isso foi medido o volume do vaso ( $4310,26 \text{ cm}^3$ ); em seguida, determinou-se a umidade do solo, por gravimetria: pesagens de cápsula vazia, cápsula contendo o solo úmido, cápsula contendo o solo seco em estufa, a  $105^\circ\text{C}$ , por 24 horas. Isto resultou em uma umidade média de 0,8% (Figura 2). Posteriormente, foram determinadas as densidades médias e porosidade do solo. Este cálculo de volume de vazios teóricos é bem maior que a CC real do

solo, assim foi preciso realizar testes de CC, juntamente com os tensiômetros para garantir a correta irrigação.

Figura 2 - Volume de vazios – Capacidade de Campo teórica (vaso experimental e sua capacidade de armazenamento e análise de umidade de solo)



Fonte: A autora (2023).

Para avaliar a CC do solo, os vasos foram furados na parte inferior e pesados; em seguida, foi adicionada uma tela ao fundo para evitar a perda de solo, e adicionada uma camada drenante com brita (Brita nº1). O solo foi peneirado seco, em peneira de malha 5,0 mm, e adicionado nos vasos deixando uma borda de 2,5 cm. Após, foi realizada a saturação com água e os vasos foram submetidos a uma drenagem, por 24 horas; para evitar efeito de evaporação, a superfície do solo foi coberta com plástico filme. Considerando a CC, a quantidade de água retida em solo após sofrer saturação e ação da gravidade até o fim da drenagem (Figura 3).

Figura 3 - Capacidade de Campo do solo.



Fonte: A autora (2023).

### 5.3 Águas de irrigação, adubação e estação de tratamento de esgotos.

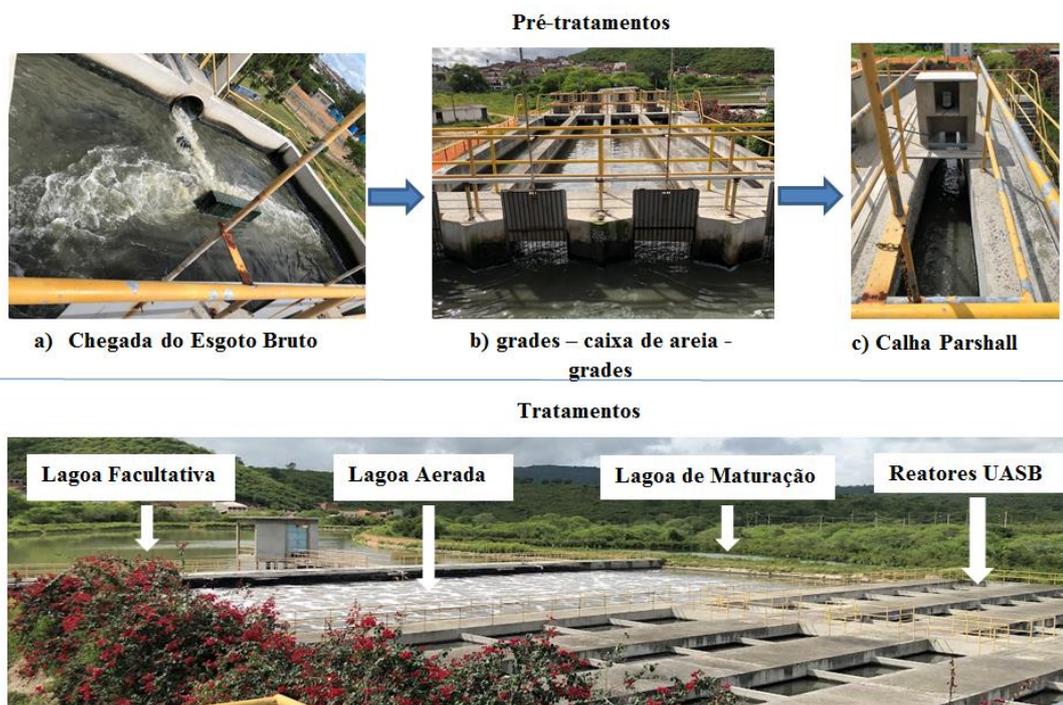
A água de reúso utilizada neste experimento foi o efluente tratado (E) coletado na saída da lagoa de maturação da Estação de Tratamento de Esgotos Rendeiras (ETE Rendeiras), a qual está localizada no bairro Rendeiras, em Caruaru – PE, nas margens do Rio Ipojuca (Fotografia 3). Como unidades de tratamento, a ETE Rendeiras dispõe de tratamento preliminar contendo caixa de areia, grades e medidor de vazão; o tratamento biológico é composto por um reator anaeróbio tipo UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*) seguido por três lagoas dispostas em série (lagoa aerada, lagoa facultativa e lagoa de maturação). O Rio Ipojuca é o corpo hídrico receptor do efluente tratado, oriundo da lagoa de maturação, da ETE Rendeiras. Na Figura 4 podem ser observadas as etapas dos tratamentos preliminar e biológico da ETE Rendeiras.

Fotografia 3 – Saída da Lagoa de maturação ETE Rendeiras para Rio Ipojuca.



Fonte: A autora (2023).

Figura 4 – Etapas do pré-tratamento e tratamento da ETE Rendeiras-Caruaru.



Fonte: A autora (2023).

As plantas também foram irrigadas com água coletada no próprio Campus Universitário (CAA/UFPE), nas instalações da estufa. O CAA/UFPE pode ser abastecido pelo sistema público de abastecimento local ou por caminhões pipa, ambos fornecidos pela COMPESA. As coletas foram realizadas em intervalos de 15 a 20 dias e a cada coleta realizou-se toda a caracterização físico-química da água de reúso e da água. Ainda, as coletas eram realizadas em garrafas de água mineral de 20 litros, onde eram coletadas 3 garrafas, totalizando 60 litros. Para os tratamentos com adubação mineral, a plantas foram adubadas com fertilizantes a base de NPK, cujas concentrações a adicionar ao solo, foram calculadas com base nos teores de NPK do solo e da água de reúso (E), além dos requerimentos nutricionais da planta, utilizado para este trabalho os requisitos do pimentão, que apresenta necessidades nutricionais semelhantes às da pimenta (Tabela 1). Para as parcelas irrigadas com a água (A), no cálculo das doses de fertilizantes a aplicar, foram considerados apenas os teores de nutrientes contidos no solo e os requerimentos de adubação para a pimenta.

Tabela 1- Necessidade de nutrientes do pimentão conforme teores do solo.

NUTRIENTES	TEORES NO SOLO	FUNDAÇÃO	COBERTURA
<b>Nitrogênio (N)</b>	kg ha <sup>-1</sup>		
	-	30	90
<b>Fósforo (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)</b>	mg.dm <sup>-3</sup> de P		
	< 6	160	-
	6 - 10	120	-
	11-20	80	-
	> 20	40	-
<b>Potássio (K<sub>2</sub>O)</b>	cmolc.dm <sup>-3</sup> de K		
	< 0,08	80	60
	0,08 - 0,15	60	40
	0,16 - 0,25	40	30
	> 0,25	20	20

Fonte: Adaptado de EMBRAPA (1998).

Foram realizados 2 tipos de fertilização: fundação e cobertura. A fertilização de fundação foi realizada antes do transplante (uma semana antes); os fertilizantes foram misturados e homogeneizados ao solo. A fertilização nitrogenada em cobertura foi feita parcelada e aplicada a 25, 45 e 60 dias após o transplante. A fertilização em cobertura do potássio foi aplicada uma vez, após 45 dias de transplante. Não é indicada a fertilização de cobertura de fósforo. Os tipos de fertilizantes inorgânicos propostos para este experimento foram: sulfato de amônio (20% de N), superfosfato simples (18% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) e cloreto de potássio (60% K<sub>2</sub>O). As doses de fertilizantes minerais aplicadas neste experimento, por vaso, estão descritas na Tabela 2.

Tabela 2 – Fertilizantes adicionados ao solo por tratamento.

TRATAMENTOS	FUNDAÇÃO			COBERTURA		
	(g)			(g)		
	N	P	K	N	P	K
T1 (100%A)	0	0	0	0	0	0
T2 (50%A)	0	0	0	0	0	0
T3 (100%A + NPK)	0,094	0,380	0,250	0,280	0	0,190
T4 (50%A + NPK)	0,094	0,380	0,250	0,280	0	0,190
T5 (100%E)	0	0	0	0	0	0
T6 (50%E)	0	0	0	0	0	0
T7 (100%E + NPK)	0,051	0,340	0,210	0,220	0	0,120
T8 (50%E + NPK)	0,073	0,360	0,240	0,250	0	0,150

\*Ver descrição dos tratamentos na Tabela 3 adiante.

Fonte: A autora (2023).

#### 5.4 Tratamento e delineamento experimental

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com 8 tratamentos e 3 repetições, totalizando 24 unidades de cultivo, estas distribuídas em 3 blocos. As descrições dos tratamentos estão na Tabela 3.

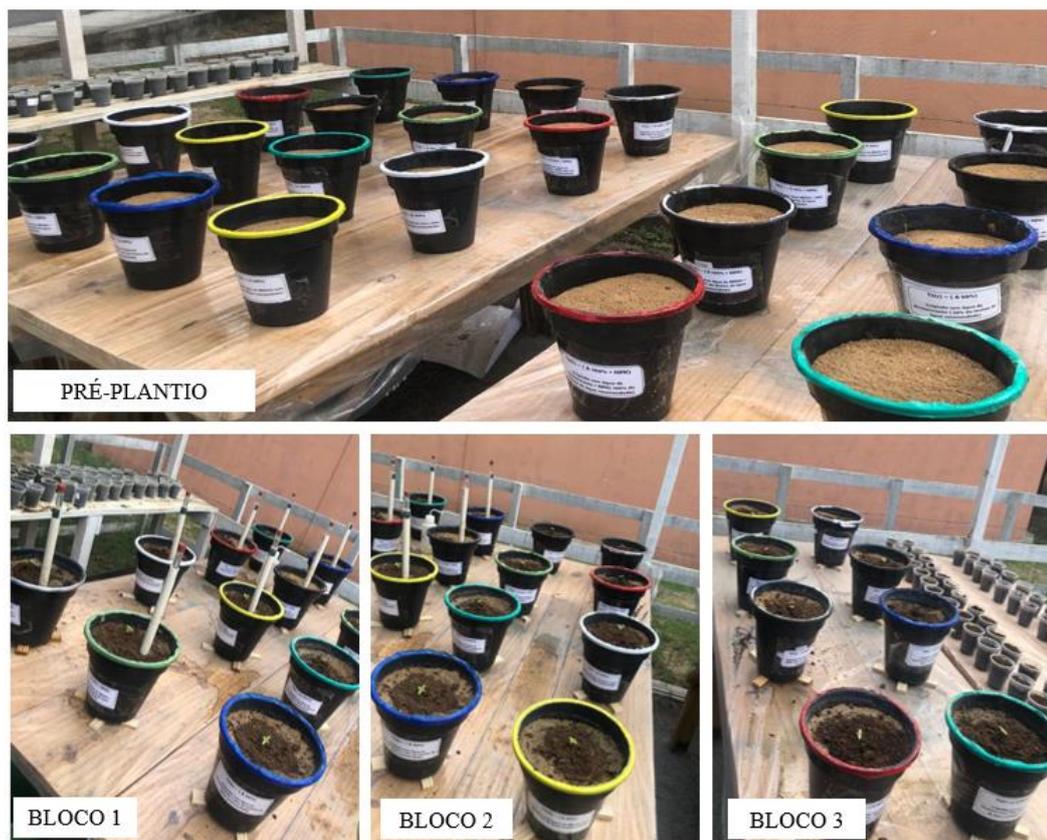
Tabela 3- Descrição dos tratamentos.

<b>TRATAMENTOS</b>	<b>DESCRIÇÃO</b>
T1 (100%A)	Irrigação com água (100% da lâmina recomendada)
T2 (50%A)	Irrigação com água (50% da lâmina recomendada)
T3 (100%A+NPK)	Irrigação com água e adubação com NPK (100% da lâmina recomendada)
T4 (50%A+NPK)	Irrigação com água e adubação com NPK (50% da lâmina recomendada)
T5 (100%E)	Irrigação com água de reúso (100% da lâmina recomendada)
T6 (50%E)	Irrigação com água de reúso (50% da lâmina recomendada)
T7 (100%E+NPK)	Irrigação com água de reúso e adubação com NPK (100% da lâmina recomendada)
T8 (50%E+NPK)	Irrigação com água de reúso e adubação com NPK (50% da lâmina recomendada)

Fonte: A autora (2023).

A Figura 5 apresenta os blocos de tratamentos distribuídos, pré-plantio e logo após a realização do plantio das mudas da pimenta de cheiro.

Figura 5 – Pré-plantio e blocos experimentais.



Fonte: A autora (2023).

Ao final do ciclo de plantio, para avaliar o efeito da fertirrigação com água de reúso, foram realizadas as seguintes análises no tecido foliar do pimenteiro: teores de N ( $\text{mg g}^{-1}$ ) e de proteína bruta ( $\text{mg g}^{-1}$ ). Para avaliar as características fisiológicas das plantas e sua produtividade, foram determinados a altura das plantas, o início da floração e da frutificação, produção de biomassa foliar (número de folhas por planta) e a produtividade de frutos (número de frutos por planta). Nos frutos foram realizadas as seguintes análises: sólidos solúveis totais (grau BRIX), análises bacteriológicas, espessura da polpa (mm), peso dos frutos por planta ( $\text{kg plant}^{-1}$ ), tamanho de fruto (mm), diâmetro do fruto (mm) e quantidade de sementes por fruto (unidades). Para determinar os teores de N e proteína bruta no tecido foliar, foram utilizadas as folhas colhidas no período em que ocorre a primeira inflorescência das plantas, de acordo com o Manual de Análises Químicas de Solos, Plantas e Fertilizantes da Empresa Brasileira de Pesquisa Agrícola (EMBRAPA, 1999). Todos os procedimentos laboratoriais foram no Laboratório de Engenharia Ambiental do Centro Acadêmico do Agreste da Universidade Federal de Pernambuco (LEA/CAA/UFPE).

## 5.5 Caracterização das águas de irrigação

Para o acompanhamento das características físico-químicas, bacteriológicas e parasitológicas das águas de irrigação (E e A) foram determinados os seguintes parâmetros: pH, temperatura, condutividade elétrica, salinidade, nitrogênio total Kjeldahl,  $N-NH_4^+$ ,  $N-NO_3^-$ , P, K, demanda química de oxigênio (DQO), série de sólidos suspensos (totais, fixos e voláteis), coliformes totais, coliformes termotolerantes e viabilidade de ovos de helmintos. Os procedimentos metodológicos foram aqueles descritos no *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater* (APHA/AWWA/WEF, 2012). As análises laboratoriais foram realizadas no Laboratório de Engenharia Ambiental do Centro Acadêmico do Agreste da Universidade Federal de Pernambuco (LEA/CAA/UFPE); a exceção foram das análises de Al, K, Na, Ca, Cd, Co, Cr, Fe, Mg, Mn, Mo, Ni, Pb, S e V, que foram realizadas no Laboratório de Saneamento Ambiental no Centro de Tecnologia e Geociência da Universidade Federal de Pernambuco (LSA/CTG/UFPE). O Quadro 2 apresenta os parâmetros que serão avaliados e as determinações para a realização da análise conforme descrito no *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater* (APHA/AWWA/WEF, 2012).

Quadro 2 – Metodologias utilizadas em análises das águas de irrigação (E e A).

PARÂMETRO	DETERMINAÇÕES
pH e temperatura	Leitura com pHmetro
Condutividade e salinidade	Leitura no condutivímetro
Nitrogênio Total	Método Kjeldahl (digestão, destilação e titulação).
Nitrogênio na forma de Amônio	Método Kjeldahl (destilação e titulação)
Nitrogênio na forma de Nitrato	Kit Nitrato
Demanda Química de Oxigênio	Método titulométrico (digestão e titulação do dicromato de potássio em solução de sulfato ferroso amoniacal (0,025 mol L <sup>-1</sup> ) com indicador de ferroin)
Série de Sólidos Suspensos (totais, fixos e voláteis)	Método Gravimétrico (diferença entre massa, seca e úmida em relação ao volume da amostra).
Coliformes (totais e termotolerantes)	Método de filtro membrana e contagem (com uso de <i>Cromocult</i> NPS)
Viabilidade de ovos de helmintos	Contagem (em microscópio em objetivas de 10x ou 40x e contar todos os ovos que estão dentro da grelha).

Fonte: *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater* (APHA/AWWA/WEF, 2012).

Fonte: A autora (2023).

## 5.6 Caracterização do solo

O solo a ser utilizado foi um solo estrategicamente pobre em nutrientes, isto para que fosse possível avaliar as respostas diretamente ligadas à assimilação dos nutrientes contidos no efluente tratado. As amostras de solo foram coletadas na profundidade de 0-20 cm (camada arável).

A análise do solo seguiu as metodologias propostas pela EMBRAPA (1999). Foram avaliados os seguintes parâmetros: pH, teor de matéria orgânica, Fe, Cu, Zn, P, K, N, Na, Ca, Al, Mg, capacidade de troca de cátions efetiva (CTCe), acidez potencial, soma de bases (SB), saturação por bases (V) e saturação por alumínio (m). As análises químicas foram realizadas no Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA), (LSA/CTG/UFPE) e no (LEA/CAA/UFPE).

## 5.7 Análises estatísticas

Os resultados foram avaliados estatisticamente por análise de variância (ANOVA) e teste F, aos níveis de 1 e 5%. Por fim, as hipóteses foram testadas, via teste de *Tukey*, para encontrar possíveis diferenças significativas entre os tratamentos estudados.

## 6 RESULTADOS

### 6.1 Qualidade das águas de irrigação

#### 6.1.1 Físico-química

As características químicas do (E) oriundas de esgotos domésticos tratados (EDT) dependem da qualidade do esgoto bruto e do nível de tratamento e armazenamento (YASUOR *et al.*, 2020). A ETE Rendeiras apresenta tratamento com remoção de até 80% de matéria orgânica e nutrientes. Para fins de reúso em diversos âmbitos, há a norma federal ABNT NBR 13.969/1997. No entanto, alguns estados brasileiros possuem suas próprias normas de reúso para fins agrícolas, estas igual ou mais restritivas que a norma federal, como a Resolução COEMA 2/2017 do Ceará e a Deliberação Normativa CERH\_MG 65/2020. Além disso, há as legislações internacionais, como, por exemplo: USEPA - *United States Environmental Protection Agency*; OMS - Organização Mundial da Saúde; MoE - *Lebanese Standards for wastewater treatment and release* e as determinações da FAO - *Food and agriculture Organization of United Nations*

A Tabela 4 apresenta os resultados das análises físico-químicos e bacteriológicos das águas utilizadas na irrigação das pimentas de cheiro. Estes resultados, foram comparados com as principais normas e regulamentos direcionados aos reúso agrícola de culturas consumidas cruas e com regas direcionadas no solo. As normas e regulamentos utilizados par efeito de comparação foram: PROSAB - Programa de Pesquisas em Saneamento Básico; COEMA - Conselho Estadual do Meio Ambiente do Ceará ( Resolução COEMA 9/2021); CERH - MG - Conselho Estadual de Recursos Hídricos de Minas Gerais (Deliberação Normativa CERH-MG 65/2020); CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente (Resolução CONAMA 430/2011; USEPA - *United States Environmental Protection Agency*; OMS - Organização Mundial da Saúde ; MoE - *Lebanese Standards for wastewater treatment and release* e FAO - *Food and agriculture Organization of United Nations* .

Tabela 4 – Composição de parâmetros físicos, químicos e bacteriológicos das águas de irrigação.

PARÂMETROS	UNIDADES	ÁGUA	ÁGUA DE REÚSO	PROSAB	COEMA	CERH - MG	CONAMA	USEPA	OMS	MoE	FAO
pH	–	7,4 ± 0,8	7,8 ± 0,78	-	6 a 8,5	6 a 9	6 a 9	6 a 9	-	6 a 9	6 a 9
Temperatura	°C	25,7 ± 1,8	25,6 ± 1,7	-	-	-	-	-	-	-	-
CE	μS cm <sup>-1</sup>	230,4 ± 52,2	1795 ± 422	-	≤ 3000	-	-	-	-	-	-
Salinidade	‰	0,11 ± 0,02	0,9 ± 0,3	-	-	-	-	-	-	-	-
DQO	mg O <sub>2</sub> L <sup>-1</sup>	28,4 ± 15,4	97,4 ± 35,7	-	-	-	-	-	-	125	250
OD	mg O <sub>2</sub> L <sup>-1</sup>	5,2 ± 0,5	4,7 ± 0,4	-	-	-	> 5	-	-	-	-
SST	mg SST L <sup>-1</sup>	28,3 ± 50,1	61,6 ± 49,7	-	-	-	-	-	-	60	200
SSF	mg SSF L <sup>-1</sup>	28,3 ± 50,1	61,5 ± 49,8	-	-	-	-	-	-	-	-
SSV	mg SSV L <sup>-1</sup>	0,01 ± 0,03	0,01 ± 0,005	-	-	-	-	-	-	-	-
CT	NMP (100 mL) <sup>-1</sup>	7 ± 1	3987 ± 3666	-	-	-	-	-	-	-	-
CF	NMP (100 mL) <sup>-1</sup>	2 ± 4	3200 ± 2900	10 <sup>3</sup> ou 10 <sup>4</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>4</sup>	4.10 <sup>3</sup>	ND	10 <sup>5</sup>	200	10 <sup>3</sup>
Ovos de helmintos	Nº de ovos L <sup>-1</sup>	< 1	< 1	< 1	1	< 1	-	-	-	-	-

Em que: pH- Potencial Hidrogeniônico; CE – Condutividade Elétrica; DQO – Demanda Química de Oxigênio; OD – Oxigênio Dissolvido; SST – Sólidos Suspensos Totais; SSF – Sólidos Suspensos Fixos; SSV – Sólidos Suspensos Voláteis; CT - Coliformes Totais; CF - Coliformes Fecais; PROSAB - Programa de Pesquisas em Saneamento Básico; COEMA - Conselho Estadual do Meio Ambiente do Ceará ( Resolução COEMA 9/2021); CERH - MG - Conselho Estadual de Recursos Hídricos de Minas Gerais (Deliberação Normativa CERH-MG 65/2020); CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente (Resolução CONAMA 430/2011; USEPA - *United States Environmental Protection Agency*; OMS - Organização Mundial da Saúde ; MoE - *Lebanese Standards for wastewater treatment and release*; FAO - *Food and agriculture Organization of United Nations* .

Fonte: A autora (2023).

O experimento foi realizado durante 150 dias, a partir do plantio das mudas, e foram gastos 145 L de água de reúso (E) e 205 L de água (A). Os pHs das águas de irrigação (A e E) estão dentro da faixa ideal (6,5 – 8,4) para reúso agrícola, segundo Jeong *et al.* (2016). Valores de pH fora da faixa podem acarretar desequilíbrios nutricionais no solo e irrigação com águas com concentrações elevadas de sais apresentam efeitos negativos na produção agrícola e no solo, estresse na planta, diminuição do potencial osmótico da solução da água no solo e dificultando a extração da água pelas raízes (YASUOR *et al.*, 2020).

A condutividade elétrica da água está bem abaixo do limite máximo permitido para reúso; por outro lado, a CE da água de reúso ( $1795 \pm 421,9 \mu\text{S cm}^{-1}$ ) está dentro do recomendado para reúso agrícola ( $< 3000 \mu\text{S cm}^{-1}$ ) (ALMEIDA, 2010). Ainda conforme Resolução CONAMA nº 430/2011, a concentração de sais contidos na água de reúso (0,86‰) a enquadra na classificação de água salobra (salinidade superior a 0,5 ‰ e inferior a 30 ‰). De acordo com Shakir *et al* (2017), o aumento da salinidade é um dos efeitos negativos do esgoto tratado que pode diminuir a produtividade das culturas a longo prazo, caso ele seja utilizado como água de irrigação em cultivos agrícolas (SHAKIR *et al.*, 2017).

Altas concentrações de sólidos em suspensão podem prejudicar a rede de irrigação, principalmente em sistemas irrigação por gotejamento, o Regulamento (EU) 2020/741 determina que para culturas que são consumidas cruas e que a parte comestível não entra em contato com o efluente da rega, os sólidos totais suspensos (SST) podem apresentar concentrações de até  $35 \text{ mg L}^{-1}$ . A média dos SST da água de reúso ultrapassou em aproximadamente 76% ( $61,57 \text{ mg L}^{-1}$ ) o limite do Regulamento da União Europeia (EU), não atendendo as exigências internacionais.

A alta presença da DQO pode causar entupimento da rede de irrigação, ou torneiras de recipientes de armazenamento devido ao crescimento microbiano (SANCTIS *et al.*, 2016). Conforme Resolução CONEMA do Rio de Janeiro nº 90 (2021), para o lançamento do esgoto sanitário nos corpos hídricos, conforme carga orgânica bruta, a DQO deverá ser de no máximo  $120 \text{ mg O}_2 \text{ L}^{-1}$ ; assim, o valor médio de DQO ( $97,43 \pm 35,67 \text{ mg L}^{-1}$ ) da água de reúso está dentro dos padrões de lançamento exigidos.

Quanto aos aspectos bacteriológicos das águas de irrigação (A e E), não foi observada a presença de ovos de helmintos. Conforme a NBR ABNT13.969/1997, um esgoto tratado para ser utilizado como água de reúso deve apresentar um limite máximo de 5000 NMP100  $\text{mL}^{-1}$  de coliformes fecais. Para o parâmetro coliformes fecais, conforme o Regulamento da União Europeia 2020/741 apresenta um limite de 100 NMP100  $\text{mL}^{-1}$ , neste caso, o número de coliformes fecais verificado para a água de reúso não é adequado para a fertirrigação de

hortaliças, nos países da União Europeia. No âmbito nacional estes valores só não passam no estado do Ceará (Resolução COEMA 2/2017).

Com base nas características físico-químicas e bacteriológicas, é viável empregar a água de reúso na irrigação de hortaliças, uma vez que ela atende aos requisitos estabelecidos nas principais normas e regulamentos (Tabela 4) para o reúso agrícola de alimentos destinados ao consumo cru. Esse método de irrigação está em conformidade com as normas, estabelecidas para quando não há contanto direto com a parte aérea da planta. Além disso, o reúso do EDT avaliado demonstrou ser uma opção econômica. Nos tratamentos que foi empregado o EDT, a redução na taxa de irrigação foi mais gradual, resultando na utilização mais eficiente da água. Essa abordagem também se destaca como uma alternativa viável para substituir o uso de água de qualidade.

### 6.1.2 Nutrientes

Conforme Chojnacka *et al.* (2020), efluentes tratados com concentrações de N entre 5-30 mg L<sup>-1</sup>; de P entre 0,2-3 mg L<sup>-1</sup> e de K entre 0,6-18 mg L<sup>-1</sup>, são ricos em nutrientes e podem ser utilizados na fertilização. A água de reúso (E) utilizada neste experimento apresenta quantidades consideráveis de N (25,9 ± 12,6 mg N-NTK L<sup>-1</sup>), conforme citado por Chojnacka *et al.* (2020), e ainda valor de 8 mg P-PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> L<sup>-1</sup> acima da média recomendada pelos autores. As concentrações de P e N na água de reúso são de grande valia, pois podem reduzir ou eliminar a necessidade de fertilizantes minerais e aumentar a produtividade das culturas (GATTA *et al.*, 2015; URBANO *et al.*, 2017). Com relação à água, apenas resíduos de N (0,7 mg N-NTK L<sup>-1</sup>) foram detectados. (Tabela 5).

Tabela 5 – Nutrientes contidos nas águas de irrigação.

NUTRIENTES	UNIDADE	ÁGUA	ÁGUA DE REÚSO
		Médias	
<b>Nitrogênio amoniacal</b>	mg N-NH <sup>3+</sup> L <sup>-1</sup>	0,4 ± 0,5	19,8 ± 8,8
<b>Nitrogênio total</b>	mg N-NTK L <sup>-1</sup>	0,7 ± 0,6	25,9 ± 12,6
<b>Nitrato</b>	g L <sup>-1</sup>	-	2,0 ± 0,2
<b>Fósforo</b>	mg P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> L <sup>-1</sup>	-	8,0 ± 0,3

Fonte: A autora (2023).

Os metais induzem o estresse oxidativo nas plantas, desencadeando a geração de espécies reativas de oxigênio. Plantas cultivadas em meio de cultura com altas quantidades

de metais mostram um declínio na absorção de água e nutrientes, taxa fotossintética, mitose, atividade mitocondrial, processo metabólico, bem como crescimento e rendimento. Os metais também podem entrar na cadeia alimentar humana por acúmulo nas plantas. Assim, eles são uma ameaça potencial à saúde humana (JI *et al.*, 2018; CHAOUA *et al.*, 2019). Por exemplo, Zn pode gerar estresse oxidativo na planta; a exposição ao Cd aumenta a produção de peróxido de hidrogênio (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), podendo causar alterações na condutância estomática e na transpiração foliar, o que interfere na absorção mineral e água. Ainda, Cd e Cu em altas concentrações retardam o crescimento da planta e o Pb exerce efeitos clastogênicos e mutagênicos nas plantas (BLÁZQUEZ *et al.*, 2015; DONG *et al.*, 2017; BRUNBAROVA *et al.*, 2015; RODRIGUES-HERNANDEZ *et al.*, 2015). No entanto, nem todos os metais são prejudiciais às plantas; em determinadas concentrações, eles são considerados micronutrientes importantes ao desenvolvimento das culturas, como por exemplo, K, Fe, Zn e Cu são essenciais às plantas, cuja falta causa redução na produtividade dos cultivos (DOMKA *et al.*, 2023).

A Tabela 6 apresenta os resultados dos minerais contidos nas águas de irrigação e os limites da Resolução do Conselho Estadual de Meio Ambiente do Rio Grande do Sul (CONSEMA) (Resolução CONSEMA nº 419/2020) para reúso para fins agrícolas e florestais. As águas avaliadas apresentaram concentrações de minerais abaixo do limite permitido pelo CONSEMA.

Tabela 6 – Minerais nas águas de irrigação.

<b>MINERAIS DAS ÁGUAS DE IRRIGAÇÃO</b>			
<b>Concentração (mg L<sup>-1</sup>)</b>			
<b>MINERAIS</b>	<b>Água</b>	<b>Água de Reúso</b>	<b>Limites do CONSEMA</b>
Alumínio (Al)	0,010 ± 0,002*	0,30 ± 0,07	5
Cálcio (Ca)	11,8 ± 0,1	51 ± 3	-
Cádmio (Cd)	ND	0,002 ± 0,002	0,01
Cobalto (Co)	0,0013 ± 0,0008	ND	0,05
Cromo (Cr)	ND	0,009 ± 0,003	0,5
Cobre (Cu)	0,0232 ± 0,0002	0,002 ± 0,002	0,2
Ferro (Fe)	0,04 ± 0,01	0,4 ± 0,1	5
Potássio (K)	6,83 ± 0,01	23,6 ± 0,5	-
Magnésio (Mg)	5,18 ± 0,03	23,9 ± 0,6	-
Manganês (Mn)	0,0035 ± 0,0001	0,219 ± 0,008	0,2
Molibdênio (Mo)	0,002 ± 0,001	ND	0,5
Sódio (Na)	32,4 ± 0,2	170 ± 4	-
Níquel (Ni)	ND	ND	0,2
Chumbo (Pb)	0,007 ± 0,007	ND	0,5

Enxofre (S)	16,08 ± 0,03	19,2 ± 0,4	-
Vanádio (V)	0,0005 ± 0,0003	0,002 ± 0,001	0,1
Zinco (Zn)	0,763 ± 0,003	0,01 ± 0,02	2

\*Média ± desvio padrão (n = 3).

ND - Não detectado.

CONSEMA – Conselho Estadual de Meio Ambiente do Rio Grande do Sul (Resolução CONSEMA nº 419/2020)

Fonte: A autora (2023).

## 6.2 Solo

O solo utilizado foi determinado como Franco Arenoso pelo (IPA); apresentando densidade aparente ( $D_{ap}$ ) de 1,29g cm<sup>-3</sup>, densidade real ( $D_r$ ) de 2,63 g cm<sup>-3</sup> e umidade residual de 1,45%. A Tabela 7 apresenta as características físicas do solo utilizado no experimento.

Tabela 7 - Características Físicas do solo (IPA).

ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO									
g cm <sup>-3</sup>		Composição Granulométrica (%)				%			
$D_{ap}$	$D_r$	Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila	Argila Natural	Grau de Floculação	Classe Textural	Umidade Residual
1,29	2,63	49	29	2	20	0	100	*FA	1,45

\*FA – Franco Arenoso.

Fonte: A autora (2023).

Conforme resultados, Tabela 8, o pH do solo apresentou acidez média 5,3. Para este valor de pH, o alumínio (Al) está insolubilizado e não causa mais danos a raiz. Para valores de Al acima de 0,5 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, recomenda-se realizar a calagem do solo para evitar queda na produtividade (EMBRAPA, 2015). No solo de estudo não foi necessário realizar calagem, pois o valor de Al (0,2 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>), não ultrapassou o valor de (0,5 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>).

Tabela 8- Características químicas do solo utilizado no experimento.

PARÂMETRO	UNIDADE	VALOR
pH	-	5,3
N-NTK	mg kg <sup>-1</sup>	336
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>		25,7
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>		42,9

Al		0,2
Ca		0,4
Cd		ND
Co		0,006
Cr		0,056
CTC		3,8
Cu		0,002
Fe		13,056
H		2,44
K		0,02
Mg	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	0,7
Mn		0,079
Mo		0,003
Na		0,01
Ni		0,014
P		0,072
Pb		0,072
S		1,1
Sa		ND
Zn		0,031
V	%	30
m		15

ND - Não detectado.

Fonte: A autora (2023).

A fertilidade do solo desempenha um papel de extrema importância, pois é nele que se encontram os nutrientes essenciais para o crescimento das plantas. No experimento realizado, constatou-se que o solo utilizado apresentou uma baixa capacidade de troca catiônica (< 4,5 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>) e uma saturação por base (V) inferior a 50%. Tais variáveis exercem influência no potencial produtivo do solo, e os valores encontrados indicam que esse solo não proporciona uma retenção adequada nem uma eficiente troca de nutrientes com as plantas (BOUTCHICH *et al.*, 2018).

O solo de plantio apresentou uma baixa concentração de sódio (Na) (0,01 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>). Já a concentração de P se mostrou adequada para a maioria das culturas, com uma média de 28 ± 4 mg dm<sup>-3</sup>, embora ainda seja limitante para hortaliças, cujo ideal seria (> 80 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>). Quanto ao K, a concentração foi considerada média, assim como o teor de Mg, que registrou (0,7 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>). Foram encontrados valores baixos para os teores de Al (0,2 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>), matéria orgânica (0,003 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>) e Ca (0,4 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>). E ainda, os micronutrientes, Zn (0,031 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>) e Cu (0,002 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>) apresentaram classificação baixa, por outro lado, o

teor de Fe ( $13,06 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ) foi considerado alto, isso de acordo com a classificação proposta por Perozoti (2013).

### 6.3 Aspectos agronômicos

As regas com a água de reúso (E) interferiram nos estádios fenológicos das plantas: aparecimento da primeira flor, floração plena, aparecimento do primeiro fruto, frutificação plena e início da colheita. Esses fenômenos ocorreram de maneira precoce nos tratamentos regados por E, com ou sem adubação mineral. Ainda houve diferença nos crescimentos relacionados à lâmina de irrigação, em que os tratamentos com as regas de 100% da lâmina recomendada (E ou A) para o cultivo de pimenta de cheiro apresentam os melhores resultados de crescimento.

A partir do plantio das mudas, após 60 dias de desenvolvimento, as plantas submetidas aos tratamentos T5 (100%E) e T7 (100%E +NPK) apresentaram as primeiras flores (Figura 6). As plantas regadas com 50% da lâmina de irrigação recomendada (A ou E) iniciaram a floração 75 dias após o plantio, isso mostra que o estresse hídrico pode atrasar o desenvolvimento das plantas. Barroca *et al.* (2015) apresentaram que as necessidades hídricas para o desenvolvimento adequado das pimentas do gênero *Capsicum*, não foram supridas com lâminas de irrigação inferiores a 100%.

Figura 6 – Início de floração.



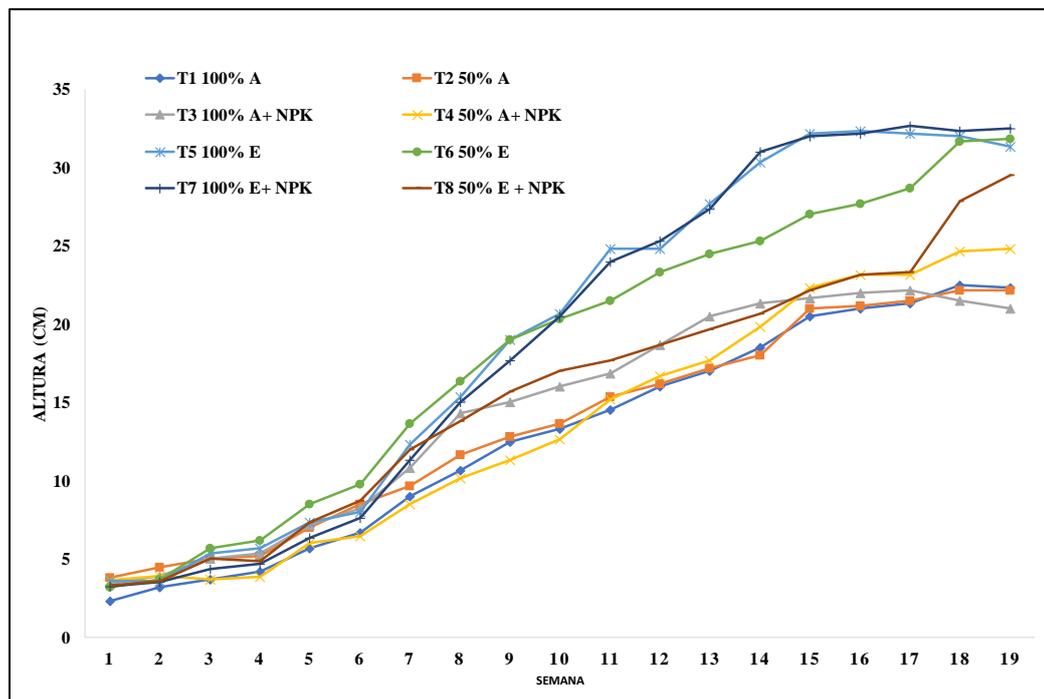
Fonte: A autora (2023).

### 6.3.1 Efeito das águas de irrigação sobre o desenvolvimento da pimenta de cheiro

A utilização de água de reúso (E) para irrigação teve um efeito positivo no crescimento das pimenteiças. Ao comparar o desenvolvimento das mudas irrigadas com os dois volumes diferentes (lâminas de 100% e 50%) de água (A) e E, foi observado que, nas primeiras cinco semanas, o crescimento foi semelhante para ambos os grupos (Gráfico 1). Isso se deve ao tempo de assimilação do N pelas plantas; parte do N é absorvido pelas raízes na forma de  $\text{NO}_3^-$ , podendo ser reduzido ou armazenado nos vacúolos foliares, produzindo  $\text{NO}_2$  (TAIZ e ZEIGER, 2017). Ou seja, o N presente em E precisa de um tempo para passar pelo processo de mineralização e se transformar na forma de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), tornando-se disponível para as plantas (SONG *et al.* 2022). Durante esse período, tanto as plantas irrigadas com A quanto por E apresentaram crescimentos semelhantes para esse parâmetro.

Após esse período, as plantas irrigadas com E apresentaram um aumento significativo no crescimento, com destaque para aquelas irrigadas com lâmina de 100% T5 (100%E) e T7 (100%E + NPK). Esse crescimento foi resultado da ação da ciclagem nutrientes presentes no E, que foram assimilados pelas plantas e complementados a cada rega (PROSAB, 2009). Ao final das 19 semanas, observou-se uma diferença de altura entre as plantas irrigadas com água de reúso e água, variando entre 5 e 10 cm para os dois volumes de lâminas de irrigação mencionados.

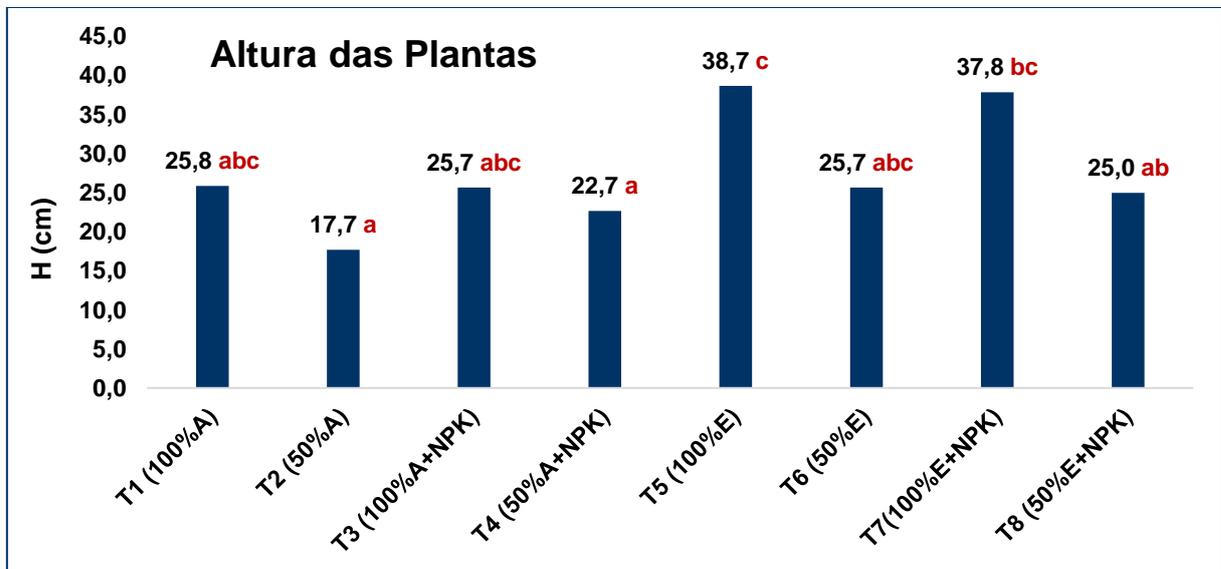
Gráfico 1 – Crescimento médio do pimenteiro (altura).



Fonte: A autora (2023).

A Figura 7 apresenta o gráfico da Análise de Variância (ANOVA) para altura da planta, a níveis de significância de 5% e avaliação de diferenças significativas pelo teste Tukey. As plantas submetidas ao tratamento T5 (100%E) apresentaram maior altura (33,0 cm) e diferiu significativamente das plantas submetidas aos tratamentos T2 (50%A), T4 (50%A + NPK) e T8 (50%E + NPK), que foram irrigadas com 50% da lâmina de irrigação prevista para a cultura estudada. Esse resultado indica que a irrigação com água de reúso (E), na lâmina completa (100%), propiciou um crescimento mais expressivo nas plantas, não havendo diferença significativa entre os tratamentos com lâmina de irrigação de 100%, T1 (100%A), T3 (100%A + NPK), T5 (100%E) e T7 (100%E + NPK).

Figura 7 – Análise de Variância (ANOVA) para o crescimento em altura da planta (cm).



Nota: Médias seguidas de pelo menos uma mesma letra, na coluna, não difere entre si, a 5% de significância pelo teste Tukey. Diferença mínima significativa (DMS) = 13,1cm.

Fonte: A autora (2023).

O aumento na altura das plantas observados nos tratamentos com irrigação de 100%, deve-se à maior retenção de água no solo, disponibilizando água para as plantas, conforme afirmado por Rodrigues *et al.* (2018). As trocas gasosas entre a planta e a atmosfera ocorrem através dos estômatos, e a variação na abertura desses, afeta a taxa de transpiração, influenciando, o balanço de energia das plantas. Com maior disponibilidade de água, ocorre uma otimização desses processos necessários para o desenvolvimento das plantas, incluindo o alongamento celular, as trocas gasosas e o transporte no floema. Além disso, a disponibilidade

de água está relacionada ao movimento de nutrientes, minerais e de fotoassimilados (MADANY e KHALIL, 2017).

No estudo sobre o efeito do estresse hídrico nas pimentas (*Capsicum annuum L.*) de Kim *et al.* (2022), foi constatado que a falta de água pode levar à redução do crescimento e da produtividade das plantas, afetando suas propriedades fisiológicas e bioquímicas. Petousi *et al.* (2019) apresentaram o efeito positivo do esgoto tratado no crescimento e rendimento de videiras em relação a água de abastecimento e Gomes Filho *et al.* (2021), relataram que o teste Tukey apresentou os melhores resultados de crescimento de planta para os tratamentos com concentrações de 100% de esgoto tratado.

Ao estudar pimentas do gênero *Capsicum frutescens*, Disha *et al.*, (2020) avaliaram os efeitos das regas com água de abastecimento e águas cinzas sobre o crescimento das plantas; as plantas irrigadas com águas cinzas tratadas obtiveram um crescimento (altura e número de folhas) percentual de até 77,44% maior em comparação às plantas irrigadas com água de abastecimento.

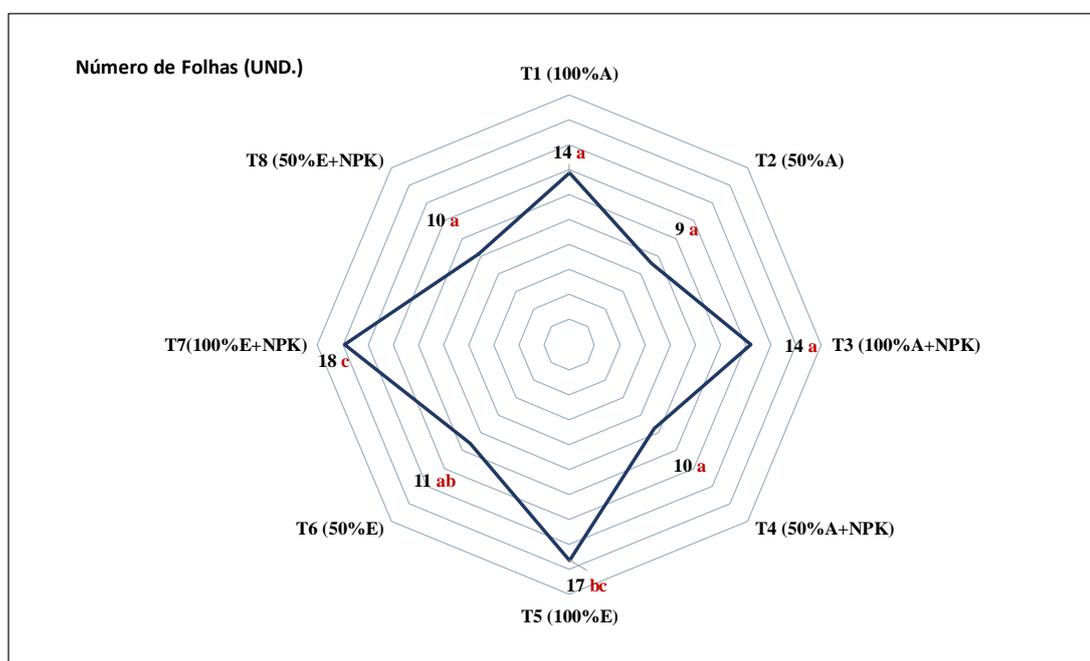
Ao avaliar o aumento do número de folhas, foi possível observar (Figura 8) que as plantas irrigadas com 100% da lâmina de irrigação apresentaram maior produção de tecido foliar, com destaque para T5 e T7. Ao comparar os resultados encontrados para T5 e T7 com as outras regas de 100% (T1) e (T3), as plantas submetidas a esses tratamentos tiveram um crescimento de 62,5% (T5) e 37,5% (T7) maiores.

Os resultados da Análise de Variância, Figura 14, com (DMS = 7) a 5% de significância, mostrou diferença significativa entre T1, T2, T3, T4 e T8 com T5 e T7. Não houve diferença significativa entre T5 e T6, mesmo sendo aplicada ao T6 uma lâmina de 50% de água de reúso. No entanto, ao aplicar uma adubação com NPK, mantendo 100% da lâmina de irrigação com água de reúso, as plantas produziram mais folhas, fazendo com que T6 e T7 fossem significativamente diferentes. Tavares *et al.* (2019) avaliaram um experimento semelhante com pimentão e regas com um esgoto doméstico diluído em água de abastecimento e obtiveram como resultado maior crescimento foliar para as plantas regadas com esgoto doméstico não diluído. Ao aumentar a disponibilidade de água houve maior eficiência de aproveitamento da água no número de folhas, este resultado também foi observado por Moline *et al.* (2015) cultivando hortícolas.

Ao comparar os pares de tratamentos que apresentam as mesmas condições, exceto pelas diferentes lâminas de irrigação, ou seja, T1 com T2, T3 com T4, T5 com T6 e T7 com T8, foi observado que a quantidade de água aplicada afetou a produtividade foliar das plantas. O crescimento foliar é um dos processos fisiológicos mais sensíveis à deficiência de água

(ALMEIDA *et al.*, 2017). Taiz e Zeiger (2009) afirmam que a menor quantidade de folhas nas plantas submetidas a menor lâmina de irrigação está relacionada a mecanismos de adaptação da planta ao estresse hídrico. Esses mecanismos incluem a redução da quantidade de folhas e da área foliar, o que diminui a perda de água auxiliando no fechamento dos estômatos.

Figura 8 – Análise de Variância (ANOVA) para o número de folhas.



Nota: Médias seguidas de pelo menos uma mesma letra, na coluna, não difere entre si, a 5% de significância pelo teste Tukey; DMS = 3,7 unidades.

Fonte: A autora (2023).

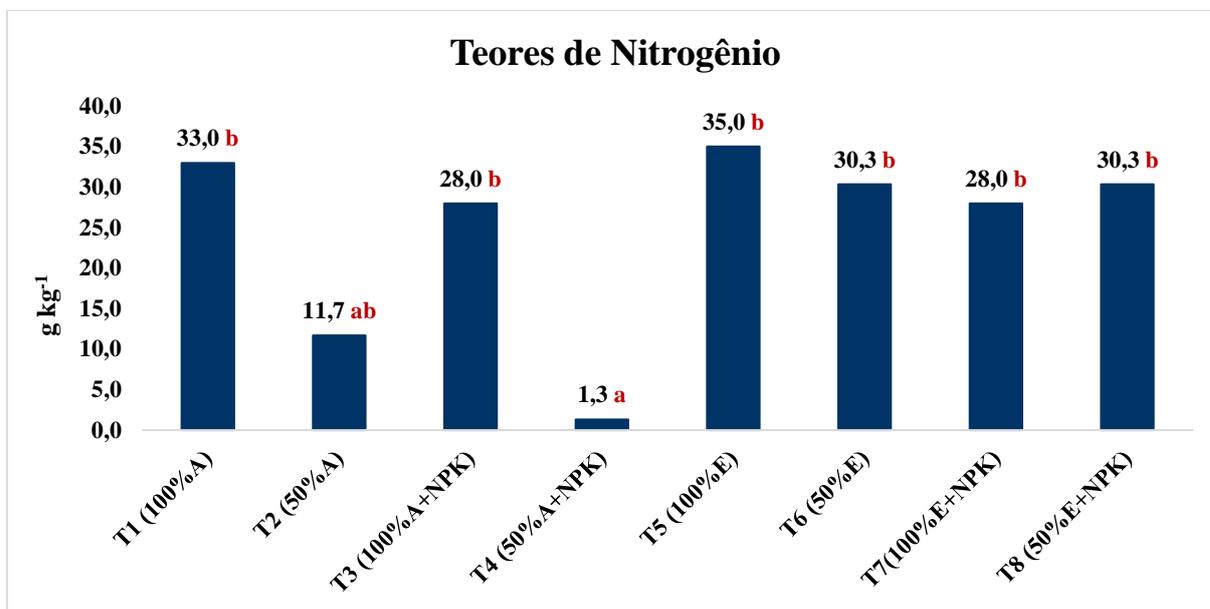
A Figura 9, apresenta os resultados de ANOVA com nível de significância 5% para o N total em tecido foliar da pimenta de cheiro. O tratamento T4 (50%A + NPK) diferiu significativamente dos tratamentos T1 (100% A), T3 (100% A +NPK), T5 (100%E), T6 (50%E), T7 (100%E +NPK), T8 (50%E + NPK). Os teores de nutrientes em plantas, são alterados por diversos fatores entre eles, posição e idade da folha, número de folhas por plantas, idade fisiológica da planta e umidade do solo (EMBRAPA 2013).

Os tratamentos T2 (50%A) e T4 (50%A + NPK), que receberam irrigação reduzida em 50%, apresentaram as menores médias dentre todos os tratamentos. De acordo com o estudo de Demir e Sahin (2017), a assimilação de nutrientes pelas plantas é geralmente reduzida sob condições de estresse de água no solo. Da mesma forma, Nahar e Gretzmacher (2002) afirmam que o estresse hídrico também leva a uma redução na assimilação de nutrientes pelas plantas.

Conforme EMBRAPA (2013), o teor foliar de N esperado no pimentão está entre (30 e 60 g kg<sup>-1</sup>) e para pimenta do Reino (28 g kg<sup>-1</sup>), mostrando que, com exceção de T2 (50%A) e

T4 (50%A + NPK), os demais tratamentos estão com quantidade de N dentro do determinado por essas cultivares semelhantes a pimenta de cheiro.

Figura 9 – Teores de nitrogênio em tecido foliar.

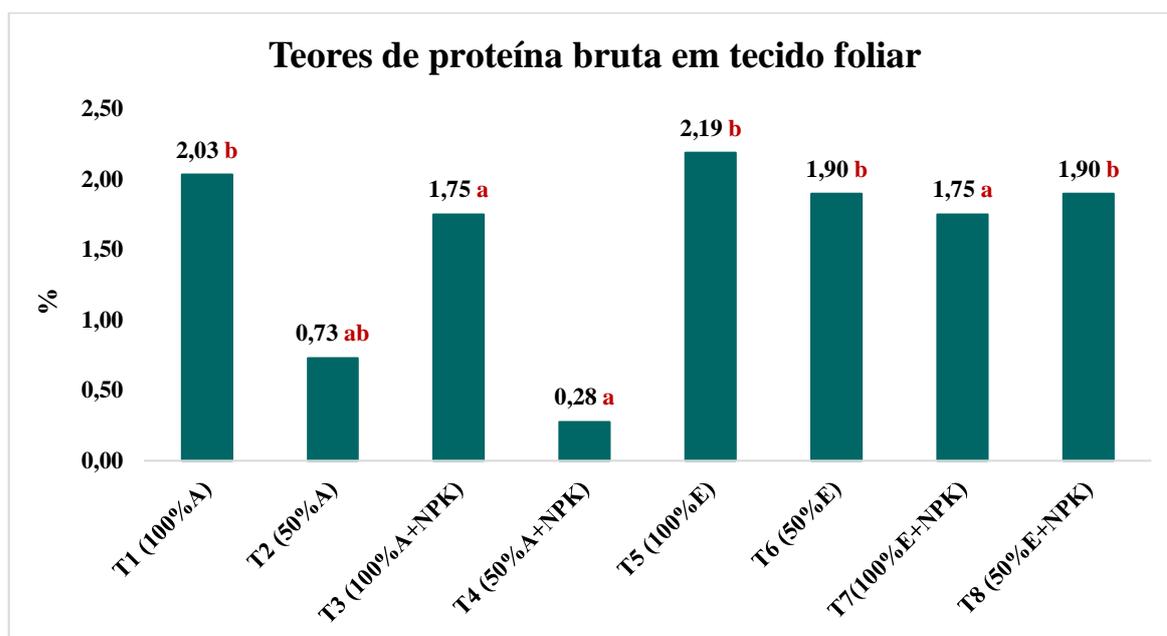


Nota: Médias seguidas de pelo menos uma mesma letra, na coluna, não difere entre si, a 5% de significância pelo teste Tukey; DMS = 25g kg<sup>-1</sup>.

Fonte: A autora (2023).

A proteína bruta (PB) desempenha um papel essencial na pimenta por ser um componente fundamental para o crescimento, desenvolvimento e funcionalidade adequada da planta. A PB é um dos blocos para o crescimento celular da planta e está envolvida nos processos metabólicos, como fotossíntese, respiração celular, assimilação e transporte de nutrientes. A Figura 10 apresenta os resultados da ANOVA com nível de significância de 5% para a proteína Bruta. Houve diferença significativa entre T3 (100%A +NPK), T4 (50%A + NPK) e T7 (100%E +NPK) com os tratamentos T1 (100%A), T5 (100%E), T6 (50%E) e T8 (50%E + NPK). Os teores de proteína bruta obtidos foram comparáveis aos investigados por Dantas e Araújo (2015), os quais registraram um teor de 1,97 % a amostra *in natura* da pimenta Biquinho. Em outra pesquisa envolvendo seis variedades de pimenta do gênero *Capsicum*, conduzida por Amaechi *et al.* (2021), verificou-se uma variação nos valores de proteína bruta entre 1,20% e 3,50%. Além disso, os autores destacaram que os teores de proteína bruta encontrados nas folhas são consideravelmente baixos, indicando uma contribuição insignificante para o conteúdo geral de proteína.

Figura 10 – Teores de proteína bruta em tecido foliar.



Nota: Médias seguidas de pelo menos uma mesma letra, na coluna, não difere entre si, a 5% de significância pelo teste Tukey; DMS = 1,54%.

Fonte: A autora (2023).

### 6.3.2 Produtividade da Planta

A floração e produção de frutos foram influenciadas pelo tipo de água de irrigação (água de reúso ou água). Com relação às plantas irrigadas com água de reúso (E), com ou sem adubação mineral, 80% delas apresentaram floração (as primeiras foram as plantas submetidas aos tratamentos T5 e T7, com 72 dias após plantio), e 60% delas produziram frutos, após 10 dias da floração. Ao aplicar efluente de esgoto tratado em seu experimento, Silva Junior *et al.* (2019), verificou que o efluente de forma exclusiva ou combinado com adubação mineral, promoveu maior produtividade do pimentão.

Em contraste, apenas 50% das plantas irrigadas com água, com e sem adubação com NPK, apresentaram floração, e apenas 30% conseguiram frutificar. O início do florescimento dessas plantas foi a 102 dias após o plantio das mudas, e a frutificação iniciou 10 dias depois. No caso das plantas irrigadas com água, somente aquelas que receberam fertilizantes à base de NPK e foram irrigadas com 100% da lâmina de irrigação conseguiram produzir frutos, T3 (100%A + NPK). Essas plantas floresceram a 102 dias do plantio das mudas e levaram cerca de 10 dias para frutificar (Figura 11).

Figura 11 – Produtividade pimenta de cheiro.

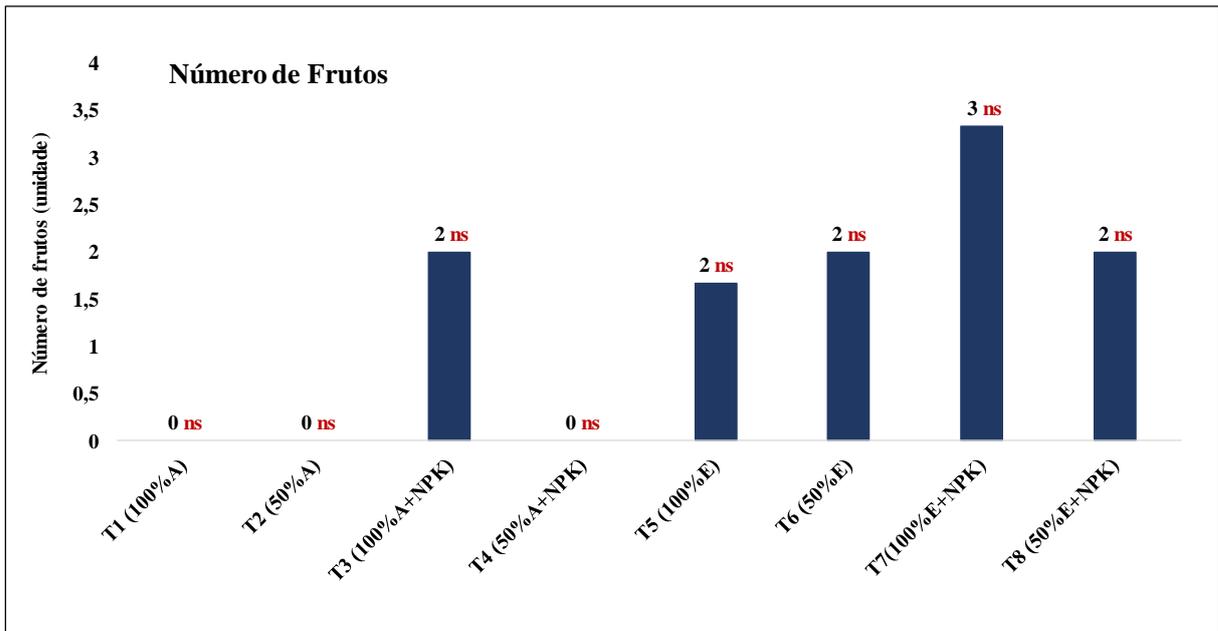


Fonte: A autora (2023).

A Figura 12 apresenta o gráfico do teste de Tukey e Análise de Variância (ANOVA) com 5% de significância para o número de frutos e DMS = 3 unidades. O resultado demonstrou que não houve diferença significativa entre os tratamentos. Ao estudar o grão Milheto, Kumar *et al.* (2021) obteve resultado semelhante, em que os tratamentos não apresentaram diferença significativa sob irrigação com esgoto. No entanto, em um estudo sobre a pimenta do Reino realizado por Oliveira *et al.* (2019), foi constatada uma diferença significativa na produtividade dos frutos, com cinco tratamentos de diluição do esgoto tratado, apresentando melhor produtividade para o esgoto tratado diluído. No presente experimento, o tratamento T7 (100%E + NPK) foi o que obteve a maior produtividade de frutos, mostrando resultados diferentes dos encontrados no estudo mencionado.

A respeito dos tratamentos irrigados com água, apenas o tratamento T3 (100%A+NPK) produziu frutos. Em outro estudo que investigou os efeitos de diferentes práticas de irrigação usando água de reúso no cultivo de tomates, realizado por Demir e Sahin (2017), foi afirmado que os valores de rendimento do fruto são influenciados pela qualidade e pela prática de irrigação. Além disso, foi observado que as águas de reúso podem aumentar os teores de macronutrientes, incluindo o nitrogênio. Assim, a produção de biomassa vegetal depende do suprimento de nutrientes disponibilizados no meio (LU *et al.*, 2019)

Figura 12 – Análise de Variância (ANOVA) para o número de frutos.



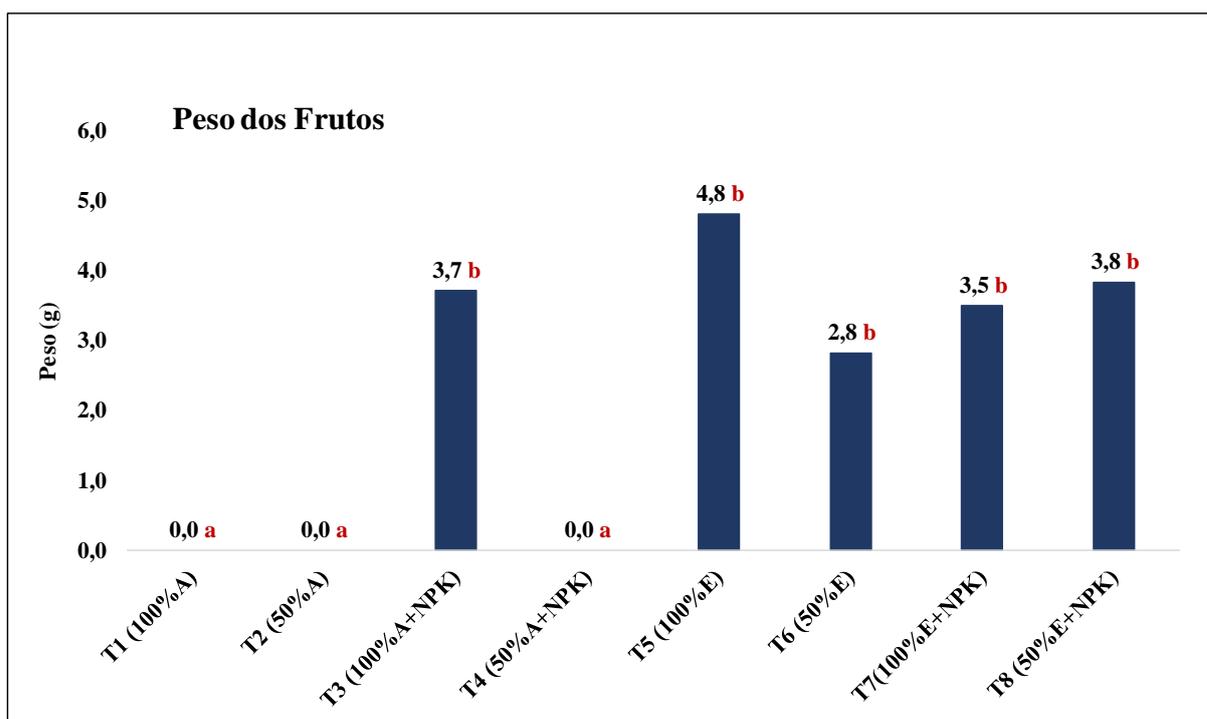
Nota: Médias seguidas de pelo menos uma mesma letra, na coluna, não difere entre si, a 5% de significância pelo teste Tukey; DMS = 3 unidades.

Fonte: A autora (2023).

Os resultados da ANOVA para o peso dos frutos (Figura 13) mostraram que, entre os tratamentos que produziram frutos (T3, T5, T6, T7, T8), não houve diferença significativa. Esses tratamentos apenas diferiram significativamente dos tratamentos que não apresentaram frutos (T1, T2 e T4), com uma diferença mínima significativa (DMS) de 2,0 gramas. Vale ressaltar que a pimenta de cheiro possui um peso médio comercial de 10 gramas de acordo com a EMBRAPA (2021). No entanto Guerra *et al.* (2021), ao cultivar a pimenta de cheiro em vasos, obteve médias de peso 5 gramas, apresentando o tamanho e volume de vaso como um fator limitante para diâmetro, comprimento, número de frutos e peso dos frutos.

Os tratamentos que resultaram nos maiores pesos dos frutos foram o do grupo T5 (100%E). Este tratamento mostrou os maiores teores de nitrogênio de proteína bruta, indicando que o aumento na disponibilidade de nutrientes favoreceu o crescimento e peso dos frutos. Em estudo com abacaxi, Almeida *et al.* (2017) também destacam a importância da disponibilidade de nutrientes para o crescimento e peso dos frutos. Além disso, os autores afirmam que um suprimento adequado de água às plantas contribui para o melhor aproveitamento dos nutrientes minerais disponibilizados para as plantas.

Figura 13 – Análise de Variância (ANOVA) para o peso dos frutos.



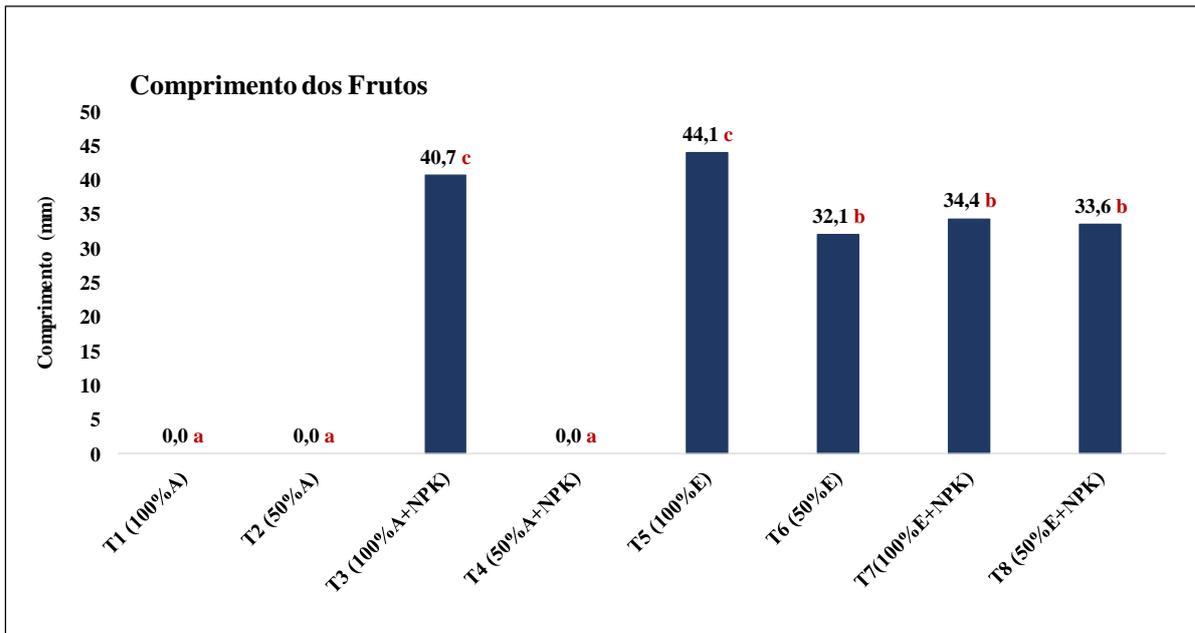
Nota: Médias seguidas de pelo menos uma mesma letra, na coluna, não difere entre si, a 5% de significância pelo teste Tukey; DMS = 2,0 g.

Fonte: A autora (2023).

Para resultados de comprimento de frutos (Figura 14), os tratamentos T3 (100%A+NPK) e T5 (100%E) apresentaram frutos mais alongados, e esses resultados foram significativamente diferentes dos demais tratamentos com uma 5% de significância e DMS = 5,6 mm. O maior comprimento observado foi no tratamento T5 (100%E), 44,1 mm. Para os parâmetros de desenvolvimento dos frutos, o tratamento T5 (100%E) apresentou a maior média. Quando cultivadas em diferentes concentrações de esgoto e lâminas de irrigação Gomes Filho *et al.* (2021), apresentam que as pimentas irrigadas com a lâmina de irrigação de 100% apresentaram os frutos mais longos.

Os valores encontrados para os comprimentos dos frutos nos tratamentos T3 (40,7 mm) e T5 (44,1 mm) estão dentro do esperado pela EMBRAPA (2021), indicando um comprimento médio de 40 mm para a pimenta de cheiro. Ao avaliar diversas cultivares de pimenta adquiridas em feiras livres, incluindo a pimenta de cheiro, Borges *et al.* (2015), obteve médias maiores para essa cultivar, chegando a 66,0 mm para o comprimento dos frutos.

Figura 14 – Análise de Variância (ANOVA) para o comprimento dos frutos.



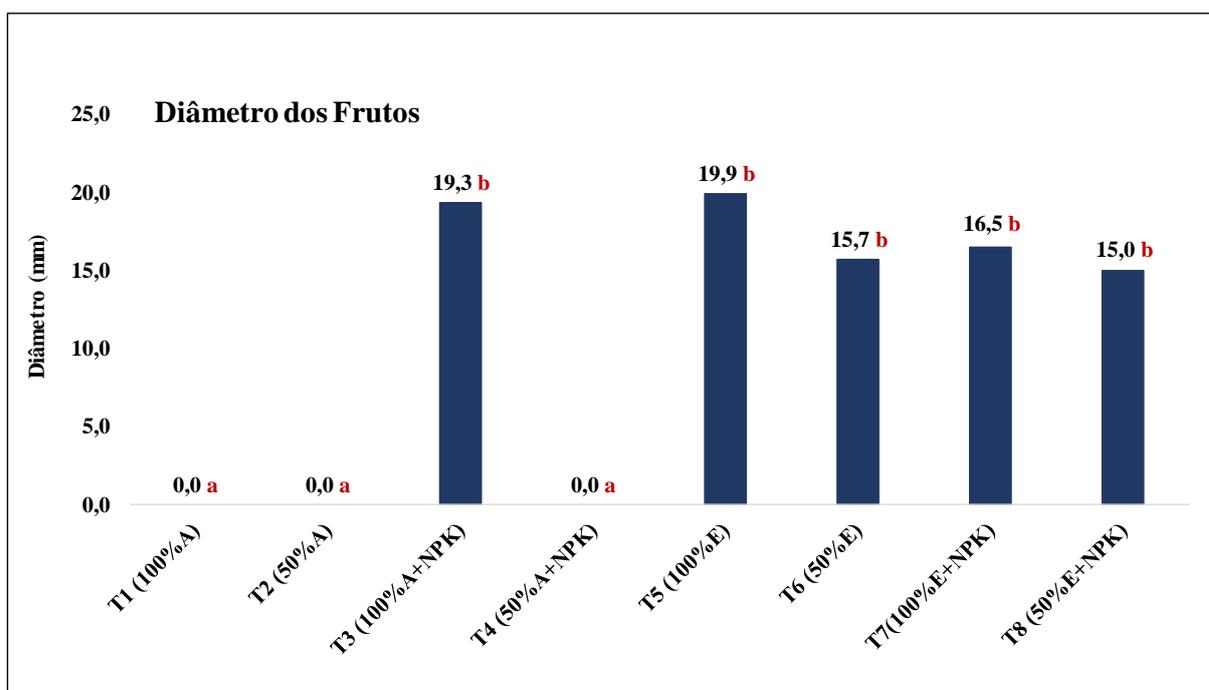
Nota: Médias seguidas de pelo menos uma mesma letra, na coluna, não difere entre si, a 5% de significância pelo teste Tukey; DMS = 5,6 mm.

Fonte: A autora (2023).

Com relação ao diâmetro dos frutos (Figura 15), não foram encontradas diferenças significativas entre os tratamentos que produziram frutos (T3, T5, T6, T7 e T8) pelo teste Tukey, a DMS = 5,4 mm. Apesar de não terem sido observadas diferenças estatisticamente significativas entre esses tratamentos, os frutos com os maiores diâmetros foram produzidos pelas plantas submetidas aos tratamentos T3 (19,3 mm) e T5 (19,9 mm). O tratamento T3 simula um plantio convencional, em que é aplicada a quantidade adequada de água e adubação necessária para as plantas. O tratamento T5 equivale ao T3 na prática; a água fornecida por E, juntamente com os nutrientes contidos nele substituem a necessidade de água e a adubação mineral. Isso indica uma melhor assimilação dos nutrientes contidos na água de reúso, eliminando a necessidade de adubos minerais. As variações de produtividade em cultivares estão diretamente relacionadas às práticas de nutrição da cultura no período de plantio (Oliveira *et al.*, 2022), assim a boa assimilação do nitrogênio e conseqüentemente o teor de proteína bruta, interferiram na qualidade dos frutos.

Os diâmetros médios variaram de 15 mm a 19,9 mm, indicando variação entre os tratamentos. Estes resultados estão em concordância com o estudo de Domenico *et al.* (2012) que também obteve resultados semelhantes, com uma variação de 11 mm a 18 mm. Essa consistência entre os estudos sugere que a pimenta de cheiro pode apresentar uma faixa de diâmetro em resposta a diferentes condições de tratamento aplicadas.

Figura 15 – Análise de Variância (ANOVA) para o diâmetro dos frutos.



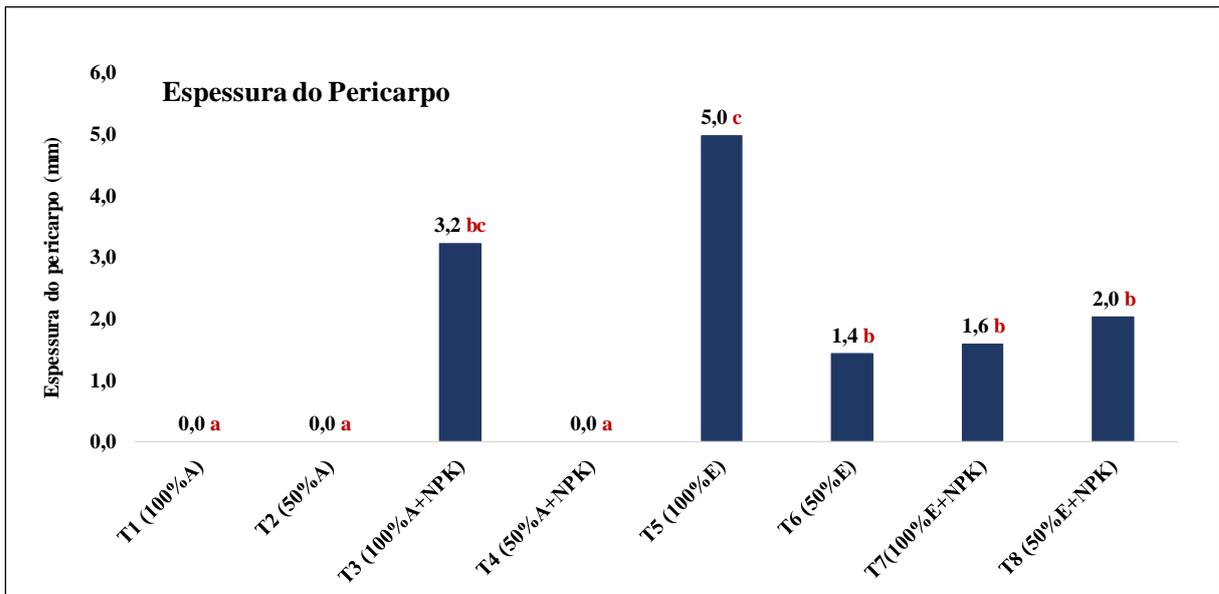
Nota: Médias seguidas de pelo menos uma mesma letra, na coluna, não difere entre si, a 5% de significância pelo teste Tukey; DMS = 5,4mm.

Fonte: A autora (2023).

A Figura 16 apresenta os valores médios da espessura do pericarpo, que constitui o próprio fruto (Figura 23), e os resultados da ANOVA com um nível de significância de 5%. Dentre os tratamentos que produziram frutos, houve diferença significativa, com DMS de 2,25 mm, entre o tratamento T5 (5 mm) e os tratamentos T6 (1,4 mm), T7 (1,6 mm) e T8 (2,0 mm). No entanto, o tratamento T5 não apresentou diferença significativa quando comparado ao tratamento T3 (3,2 mm).

Os tratamentos T6 (1,4 mm), T7 (1,6 mm) e T8 (2,0 mm) demonstraram uma espessura de pericarpo similar às medições realizadas por Oliveira *et al.* (2011), que variaram de 1,3 mm a 2,1 mm. Em um estudo envolvendo pimentas Malagueta e Biquinho, Abud *et al.* (2018) obtiveram resultados diferentes, com uma espessura de pericarpo inferior de 0,56 mm para a Malagueta e uma espessura semelhante de 1,75 mm para a Biquinho. Essa característica confere um valor econômico significativo a essas variedades, já que a polpa dos frutos de pimenta desempenha um papel importante, sendo utilizada tanto fresca quanto processada na forma de condimentos, molhos e outros produtos industriais (ABUD *et al.*, 2018).

Figura 16 – Análise de Variância (ANOVA) para a espessura do pericarpo.



Nota: Médias seguidas de pelo menos uma mesma letra, na coluna, não difere entre si, a 5% de significância pelo teste Tukey; DMS = 2,25 mm.

Fonte: A autora (2023).

A Figura 17 apresenta a preparação das pimentas para medição de pericarpo e contagem de sementes. A quantidade de sementes é de grande valia para o mercado de vendas de sementes utilizadas para a produção de mudas (EMBRAPA, 2022).

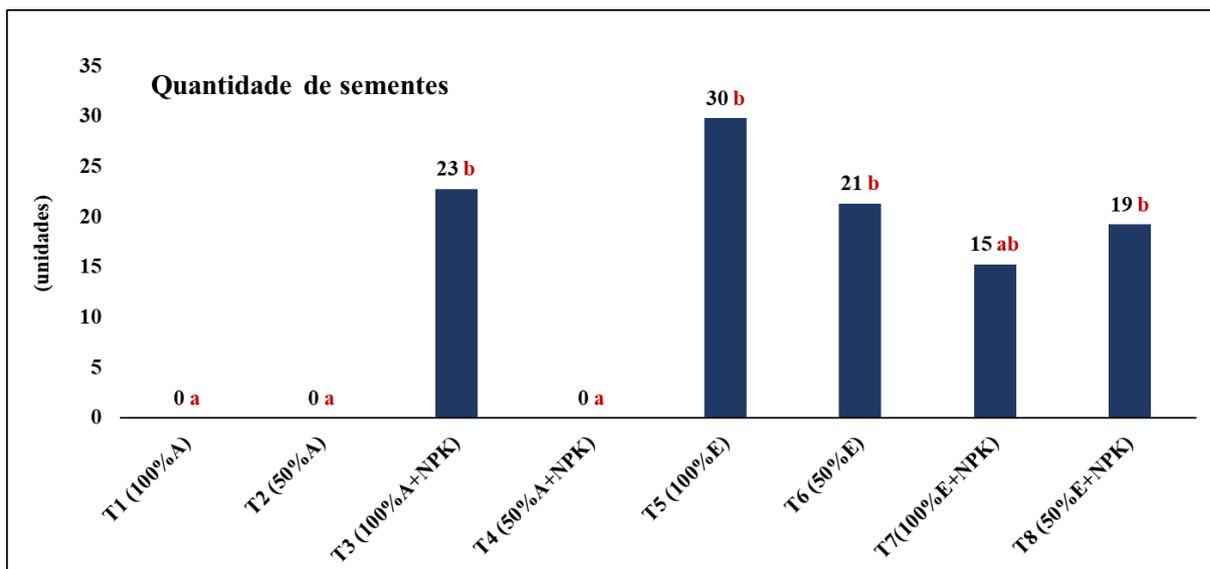
Figura 17 – Preparo para contagem de Sementes por tratamento e medições de espessura de pericarpo.



Fonte: A autora (2023).

No Figura 18 (quantidade de sementes), pelo teste Tukey a DMS = 16 unidades, não houve diferenças significativas entre os tratamentos que produziram frutos. No entanto, a melhor produtividade de sementes foi observada em T5 (30 unidades). A produção de boas sementes depende dos atributos de qualidade genética, física, fisiológica e sanitária. Assim quanto mais nutrida a planta está melhor a qualidade dos frutos e sementes (EMBRAPA, 2022).

Figura 18 – Análise de Variância (ANOVA) quantidade de sementes dos frutos.

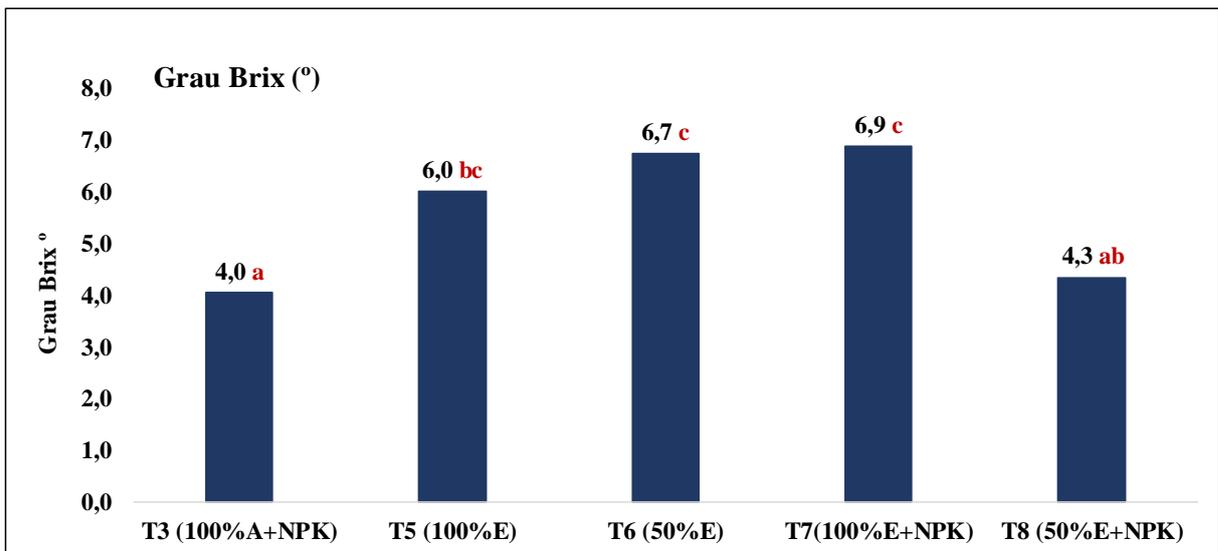


Médias seguidas de pelo menos uma mesma letra, na coluna, não difere entre si, a 5% de significância pelo teste Tukey; DMS = 15,8 unidades.

Fonte: A autora (2023).

O grau Brix quantifica a quantidade de sólidos solúveis totais da polpa da pimenta, é utilizado como um índice de qualidade pós-colheita (OIVEIRA *et al.*, 2022). A Figura 25, apresenta a ANOVA com nível de significância de 5% e DMS de 1,8%, para o teor percentual de Grau Brix contido na pimenta de cheiro. T3 (100%A +NPK) diferiu significativamente de T5 (100%E), T6 (50%E) e T7 (100%E +NPK); e T8 (50%E + NPK) de T6 (50%E) e T7 (100%E +NPK). Os sólidos solúveis (expressos em grau de Brix) alcançaram o maior valor médio em T7 para a pimenta de cheiro, atingindo um máximo de 6,9°. A presença de altos teores de sólidos solúveis está associada às características climáticas locais e ao período de frutificação. Os frutos dos tratamentos T5 (100%E), T6 (50%E) e T7 (100%E +NPK); frutificaram antes dos demais tratamentos, devido às temperaturas mais elevadas durante o verão. Isso é corroborado por Dias *et al.* (2015), que afirmam que temperaturas elevadas afetam a qualidade do fruto, levando a maiores concentrações de sólidos solúveis devido à liberação de açúcares resultantes da hidrólise das antocianinas, em conjunto com um aumento nas taxas de evaporação.

Figura 19 – Análise de Variância (ANOVA) para o Grau Brix dos frutos de pimenta de cheiro.



Nota: Médias seguidas de pelo menos uma mesma letra, na coluna, não difere entre si, a 5% de significância pelo teste Tukey; DMS = 1,8%.

Fonte: A autora (2023).

A contaminação microbiológica, estritamente relacionada aos riscos à saúde humana, é uma das principais preocupações na irrigação de culturas consumidas cruas com água de reúso oriunda do tratamento de esgotos sanitários (URBANO *et al.*, 2017). As análises mostraram ausência de coliformes fecais em todos os frutos testados, independente da irrigação ter sido realizada com água ou água de reúso, atendendo, assim, os limites fixados pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA, 2019), *Escherichia coli*  $g^{-1}$  de  $10^2$ . Dessa forma, não foi verificado o comprometimento da qualidade microbiológica dos frutos analisados, classificando-os aptos ao consumo humano. Outros autores, também não detectaram coliformes fecais nas culturas irrigadas com águas de reúso, como Oliveira *et al.* (2019), em pimenta Dedo de Moça e Souza *et al.* (2013), em pimentão.

#### 6.4 Pragas no cultivo de Pimenta de Cheiro

Entre as diversas espécies de artrópodes-pragas que podem atacar a pimenteira, pulgões, tripés e a mosca-branca têm um papel fundamental na causa dos danos diretos à cultura da pimenteira, devido à sua capacidade de sugar a seiva da planta, além de causarem danos indiretos pela transmissão de viroses (MOURA *et al.*, 2013). As pragas no experimento iniciaram no início de abril (110 dias após plantio) com cochonilhas e pulgões no início imperceptíveis. No entanto, após 7 dias do ataque das primeiras pragas, houve o surgimento do

fungo branco (Fotografia 4 e 5), sendo este responsável pela queda da maioria das folhas e pela perda de todas as flores em desenvolvimento. A contaminação por pragas pode iniciar desde a fase de germinação, ainda nas sementes, afetando tanto as sementes quanto o desenvolvimento inicial das mudas. Nesse estágio, os organismos patogênicos presentes no ambiente do solo e nas plantas já começam a exercer sua influência nociva (EMBRAPA, 2022).

A fim de controle e extermínio, para possibilitar a sequência do experimento, foi aplicado aos tratamentos T1 (100%A), T2 (50%A), T3 (100%A + NPK), T4 (50% A+ NPK), T5 (100%E), T6 (50%E), T7 (100%E + NPK) e T8 (50%E + NPK), através de borrifadores, uma solução caseira a base de água destilada, detergente neutro e álcool (500 mL, 20mL detergente neutro, 20 mL álcool), diretamente nas pragas. No estudo que investigou os efeitos do detergente neutro no controle de pragas, Marques e Quintela (2011) observaram que o sabão de uso doméstico, em concentrações variando de 0,25% a 0,5%, demonstrou eficácia no controle de determinadas pragas. Essas concentrações resultaram em danos às pragas, incluindo a redução das substâncias serosas presentes na cutícula dos insetos, o que interferiu no metabolismo e na respiração desses organismos. Os álcoois possuem propriedades antimicrobiana contra bactérias, vírus e fungos (DUTRA *et al.* 2022).

Fotografia 4 – Praga nos pimenteiros

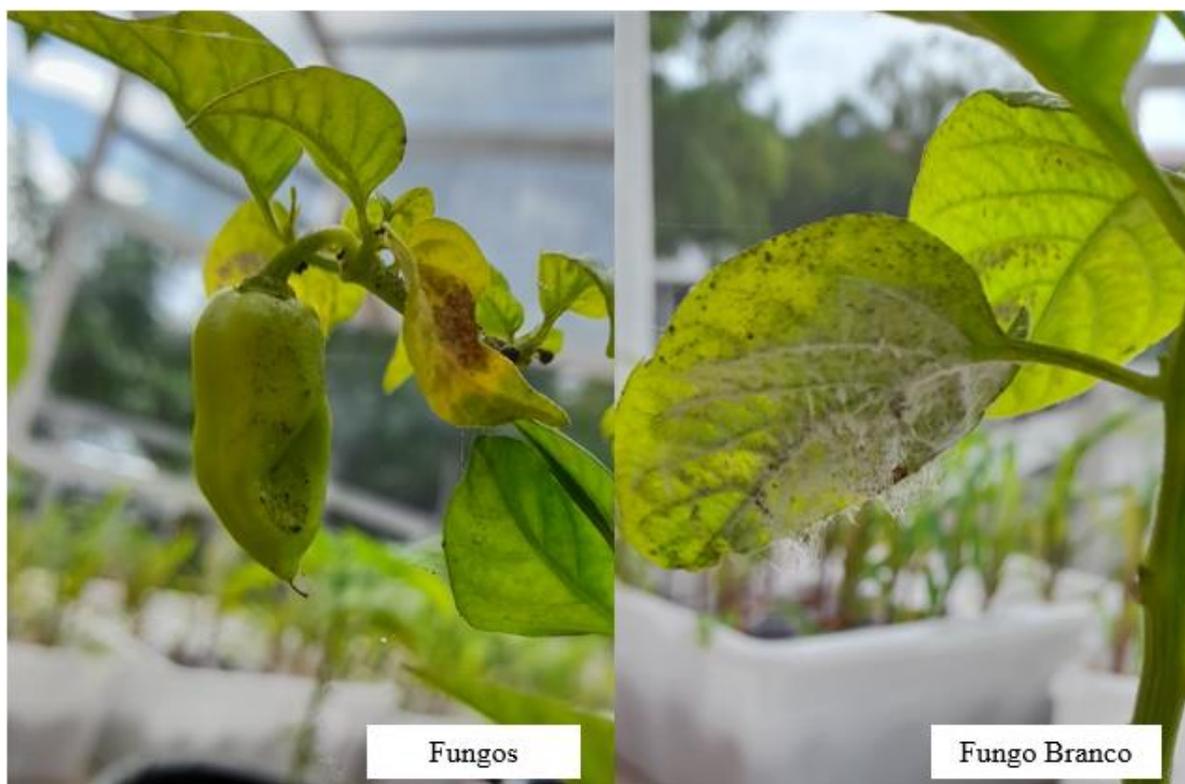


A autora (2023)

A respeito da recuperação das plantas após o tratamento com a solução de detergente e álcool, as plantas submetidas aos tratamentos cuja irrigação foi realizada com água de reúso

(E), apresentaram uma recuperação mais rápida, caracterizada pelo crescimento de novas folhas e frutos saudáveis. Os tratamentos que receberam irrigação com água e, em especial, aqueles submetidos a uma lâmina de irrigação de 50%, não apresentaram frutificação e a regeneração das folhas ocorreu de forma mais lenta.

Fotografia 5 – Praga nos pimenteiros 2



A autora (2023)

No processo de recuperação, observou-se nas plantas (Fotografia 6) o desenvolvimento de folhas e frutos. Notavelmente, os experimentos que foram irrigados com água de reúso (E) exibiram uma maior resistência às pragas, bem como uma recuperação mais eficaz. A capacidade que certos tipos de solo possuem de reduzir a ocorrência de doenças nas plantas ou de conter o desenvolvimento de patógenos (conhecida como supressividade do solo) pode ser modificada pela aplicação de determinados componentes no solo, como, por exemplo, a água de reúso. Nesses solos, categorizados como supressivos de acordo com a classificação de Baker e Cook (1974), o desenvolvimento de doenças é inibido, mesmo quando o patógeno é introduzido na presença de um hospedeiro suscetível, como é o caso da pimenta de cheiro. Assim, é concebível que a introdução de elementos minerais e o aumento da atividade microbiana resultantes da irrigação com água de reúso podem inibir o desenvolvimento de alguns patógenos (PROSAB, 2009). Fertilizantes ou aditivos orgânicos, como é o caso do

esgoto doméstico tratado, têm sido utilizados como uma abordagem para o manejo de patógenos com capacidade de induzir a supressividade (LAZAROVITS *et al.*, 2005).

Fotografia 6 – Experimento após ataques de pragas



A autora (2023)

Os tratamentos T3 (100% A + NPK), T5 (100% E), T6 (50% E), T7 (100% E + NPK) e T8 (50% E + NPK) produziram frutos após os danos causados pelas pragas. Isso ressalva os benefícios do E na resistência das plantas, devido sua contribuição na incorporação dos nutrientes na melhora as propriedades físicas do solo, na atividade microbiana e no teor de nutrientes no solo, entre eles o N, resultando no estímulo ao crescimento das plantas e no fortalecimento da capacidade do solo de supressão a patógenos. Existem pesquisas que indicam a indução de resistência em plantas através da utilização de materiais ricos em nutrientes, tais como biocarvão, lodos e efluentes (BONANOMI *et al.*, 2015). Portanto, a alteração da qualidade do solo em relação a disponibilidade de nutrientes e às condições abióticas pode influenciar as interações entre planta e seus patógenos (REZENDE *et al.*, 2021).

## 7. CONCLUSÕES

O desenvolvimento das plantas irrigadas com E à lâmina de irrigação de 100%, tratamentos T5 (100%E) e T7 (100%E + NPK), apresentaram maiores alturas de planta, até 33 cm. Além disso, a produção de massa foliar também foi maior para estes dois tratamentos (18 e 17 unidades) no primeiro mês. Nos tratamentos irrigados com metade do volume de água recomendado houve um atraso no crescimento e na produtividade, principalmente os tratamentos T2 (50%A) e T4 (50%A + NPK). Estes tratamentos produziram 50% menos tecido foliar e no máximo 23 cm de altura em relação aos tratamentos com E, com volume lâmina de água recomendada. Isso ressalta que a quantidade adequada de água disponível para as plantas desempenha um papel crucial no seu desenvolvimento saudável. Situações de escassez hídrica têm o potencial de prejudicar tanto o crescimento quanto a produtividade das plantas.

Os tratamentos com água de reúso produziram a maior quantidade de frutos por planta, com T7 (100%E + NPK) produzindo até 6 frutos por planta. No entanto, nos tratamentos irrigados com água, apenas o tratamento T3 (100%A+NPK) produziu frutos. Evidenciando a que a falta de irrigação adequada pode limitar a produção, assim como a combinação com disponibilidade de nutrientes podem atrasar o até mesmo extinguir a produção da pimenta de cheiro.

Os tratamentos submetidos ao T5 (100% E), apresentaram resultados superiores em termos de peso (4,8 g), comprimento (44,1 mm), diâmetro (19,9 mm) espessura do pericarpo (5,0 mm) e número de sementes (30 unidades), estes resultados demonstraram que a água de reúso foi suficiente para suprir as necessidade de água e nutrientes do cultivo de pimentas. Isso enfatiza que prática de nutrição da cultura durante o plantio desempenha um papel crucial na obtenção de uma boa produtividade e no desenvolvimento dos frutos, já que este tratamento foi o que apresentou os maiores teores de nitrogênio (35,0 g kg<sup>-1</sup>) e proteína bruta (2,19%). Águas de reúso são uma opção viável para fornecer nutrientes essenciais para suprir a necessidade de água e nutrientes no cultivo da pimenta de cheiro.

Os teores de nitrogênio nas folhas, com exceção dos tratamentos T2 (50%A) e T4 (50%A + NPK), estiveram dentro dos valores esperados para o cultivo da pimenta de cheiro, entre 28 e 60 g kg<sup>-1</sup>. Além disso, os teores de Proteína Bruta encontrado são valores que já foram observados em pimentas do gênero *Capsicum* com valores que atingiram 2,19% de proteína buta. Estes teores de nitrogênio e proteína apresentam resultados no crescimento e desenvolvimento saudável da planta, contribuindo para o aprimoramento de suas funções vitais.

Os frutos não foram contaminados com coliformes provenientes das águas de irrigação, evidenciando a preservação da qualidade microbiológica dos frutos analisados.

As plantas de pimenta de cheiro são vulneráveis a pragas e, ao longo do estudo, foram identificadas infestações que alteraram a qualidade das plantas. No entanto, observou-se que as plantas irrigadas com água de reúso sofreram danos menores e conseguiram se recuperar de maneira mais eficaz. Os nutrientes fornecidos ao sistema solo-planta, especialmente o nitrogênio, podem estimular o crescimento e a robustez deste sistema, o que, por sua vez, fortalece a capacidade do sistema de suprir às pragas.

O cultivo da pimenta de cheiro utilizando água de reúso pode trazer vantagens significativas em termos de fornecimento de nutrientes para a cultura, enquanto também reduz o impacto ambiental negativo, ao substituir fertilizantes químicos. A utilização de água de reúso apresenta-se como uma opção promissora, tanto para conservar água de qualidade quanto para fertilizar a cultura de forma mais sustentável. A água de reúso desempenha um papel de destaque ao fortalecer as características do solo e das plantas, contribuindo para a resistência (supressividade) às pragas, que é uma das principais preocupações na agricultura.

Além disso, essa abordagem pode levar à redução dos custos para os agricultores, substituindo a necessidade de fertilizantes. A água de reúso, representa uma alternativa viáveis para enfrentar a escassez sazonal de água e promover práticas agrícolas benéficas ao meio ambiente, contribuindo para a sustentabilidade.

## REFERÊNCIAS

- ABDEL-KHALEK, A. A., BADRAN, S. R., & MARIE, M. A. S. The effective adsorbent capacity of rice husk to iron and aluminum oxides nanoparticles using *Oreochromis niloticus* as a bioindicator: biochemical and oxidative stress biomarkers. **Environmental science and pollution research**, v. 27, p. 23159-23171, 2020.
- ABNT. **NBR 13.969 de 30 de outubro de 1997**. Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos. Rio de Janeiro, p. 60, 1997.
- ABUD, H. F., ARAUJO, R. F., PINTO, C. M. F., ARAUJO, E. F., & ARAUJO, A. V. Caracterização morfológica dos frutos de pimentas malagueta e biquinho. 2018.
- AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS. **Atlas Irrigação**. Brasília, p. 37 – 154, 2019.
- AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil**. Brasília, p. 37 – 154, 2017.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). **Atlas esgotos: depolição de bacias hidrográficas**. Brasília, 2017. Disponível em: <http://atlasesgotos.ana.gov.br/>. Acesso em: jul. 2022.
- ALCALDE-SANZ L., GAWLIK B. M. Minimum quality requirements for water reuse in agricultural irrigation and aquifer recharge - Towards a water reuse regulatory instrument at EU level, EUR 28962 EN, **Publications Office of the European Union**, Luxembourg, 2017. DOI: 10.2760/804116, PUBSYN°.109291
- ALMEIDA, J. P.; VOLOTÃO, R. A. **Produção nacional de fertilizantes**. 2020.
- ALMEIDA, O. A. Qualidade da água de irrigação. **Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura**, 2010.
- ALMEIDA, O. A.; SOUZA, L. D. S.; SOUZA, L. F. D. S. Irrigação e fertirrigação na cultura do abacaxi. 2017.
- ALVES, Rafael Gomes *et al.* A digital twin for smart farming. In: **2019 IEEE Global Humanitarian Technology Conference (GHTC)**. IEEE, p. 1-4, 2019.
- AMAECHE, N. C., UDEOGU, E., OKORONKWO, C. U., & IRONDI, C. P. Nutritional and phytochemical profiles of common pepper (*Capsicum spp.*) foliage consumed as leafy vegetables in Southeast Nigeria. **Food Research**, v. 5, n. 5, p. 136-144, 2021.
- AMORIM, A.L.; RIBEIRO, M.M.R.; BRAGA, C.F.C. Water resources conflicts in shared water basins: the Piranhas-Açu Water Basin case study. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 21, n. 1, p. 36-45, 2016. <http://dx.doi.org/10.21168/rbrh.v21n1.p36-45>
- ANDRADE, Ednilton T. *et al.* Determination of the hygroscopic equilibrium and isosteric heat of aji chili pepper. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 21, p. 865-871, 2017.
- ANGELAKIS, A.; GIKAS, P. Water reuse: Overview of current practices and trends in the world with emphasis in states. **Water Utility**, v.8, p. 67–78, 2014.
- ANVISA - Agência Nacional de Vigilância Sanitária Decreto nº 9569, 2019. Disponível em: <https://www.agricultura.gov.br/files/Doc2019/DECRETONUMERADON9.569.pdf> Acesso em: 20 de julho de 2023.

APHA, AWWA, WEF. Standard methods for the examination of water and wastewater. **American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environmental Federation**, 22<sup>a</sup> edição, Washington, USA, 2012.

ARAÚJO, R. F., ABUD, H. F., SILVA, L. J. D., ARAUJO, E. F., PINTO, C. M. F., & SILVA, F. W. S. Physiological changes and antioxidant enzymes activity in Biquinho and Malagueta pepper seeds during the maturation process. **Revista Ceres**, v. 65, p. 534-545, 2018.

ARAÚJO, S. M. S. A Região Semiárida Do Nordeste Do Brasil: Questões Ambientais E Possibilidades De Uso Sustentável Dos Recursos. **Rios Eletrônica - Revista Científica da FASETE**, a.5, v. 5, 2011.

BAKER, K. F.; COOK, R. J. Biological control of plant pathogens. **WH Freeman and Company.**, 1974.

BARRETO, AURELIR N.; NASCIMENTO, J.J.V.R.; MEDEIROS, E.P.; NÓBREGA, J.A.; BEZERRA, J.R.C. Changes in chemical attributes of a Fluvent cultivated with castor bean and irrigated with wastewater. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, n. 5, p. 480-86, 2013. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v17n5/a03v17n5.pdf>>. Acesso em: ago. 2022.

BARROS, V. R.; BONINSEGNA, J. A.; CAMILLONI, I. A.; CHIDIAC, M.; MAGRÍN, G.O.; RUSTICUCCI, M. Climate change in Argentina: trends, projections, impacts and adaptation. **WIREs. Climate Change**, v. 6, p.151–169. 2015.

BATISTA, W. V. S. M., PÔRTO, K. C., & SANTOS, N. D. D. Distribution, ecology, and reproduction of bryophytes in a humid enclave in the semiarid region of northeastern Brazil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 32, p. 303-313, 2018.

BECERRA-CASTRO, C.; LOPES, A. R.; VAZ-MOREIRA, I.; SILVA, E. F.; MANAIA, C. M.; NUNES, O. C.; Wastewater reuse in irrigation: a microbiological perspective on implications in soil fertility and human and environmental health. **Environment International**, v.75, p. 117-135, 2015.

BONANOMI, G.; IPPOLITO, F.; SCALA, F. A "black" future for plant pathology? Biochar as a new soil amendment for controlling plant diseases. **Journal of Plant Pathology**, v. 97, n. 2, 2015.

BORGES, K. M., VILARINHO, L. B. O., MELO FILHO, A. A., MORAIS, B. S., & RODRIGUES, R. N. S. Caracterização morfoagronômica e físico-química de pimentas em Roraima. **Revista Agroambiente**, v. 9, n. 3, p. 292-299, 2015.

BORGES, T. K. S.; MONTENEGRO, A. A. A.; SANTOS, T. E. M.; SILVA, D. D.; SILVA JUNIOR, V. P. Influência de práticas conservacionistas na umidade do solo e no cultivo do milho (*Zea mays* L.) em semiárido nordestino. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.38, p. 1862-1873, 2014.

BOUTCHICH, G. E. K., TAHIRI, S., KRATI, M. E., KABIL, E. M., LHADI, E. K., MAHI, M., & DE LA GUARDIA, M. Sandy soil modification by bio-composts for wheat production. **Waste and Biomass Valorization**, v. 9, p. 1129-1139, 2018.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Resolução nº 396 de 03 de abril de 2008. **Classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências**, 2008. Disponível em: <http://portalpnqa.ana.gov.br/Publicacao/RESOLU%C3%87%C3%83O%20CONAMA%20n%C2%BA%20396.pdf>. Acesso em: 25 ago. 2022.

BRASIL. Conselho Nacional do Ministério Público. Difusão do método APAC : o papel do Ministério Público brasileiro na implementação das APACs. / Conselho Nacional do Ministério Público. - Brasília: CNMP, 2023.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional de Recursos Hídricos. Resolução Nº54, de 28 de novembro de 2005. **Diretrizes e critérios gerais para a prática de reuso direto não potável da água**. Brasília, DF, 2005.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução Nº357, de 17 de março de 2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Brasília, DF, 2005.

BRUMBAROVA, T., BAUER, P., & IVANOV, R. Molecular mechanisms governing Arabidopsis iron uptake, 2015. **Trends in Plant Science**. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2014.11.004>

CAMPBELL B. M.; BEARE D. J.; BENNETT E. M.; HALL-SPENCER J. M.; INGRAM J. S.; JARAMILLO F.; ORTIZ R.; RAMANKUTTY N.; SAYER J. A.; SHINDELL D. Agriculture production as a major driver of the Earth system exceeding planetary boundaries. **Ecology Society**, v.22, p.1–11, 2017.

CANDELA, L.; FABREGAT, S.; JOSA, A.; SURIOL, J.; VIGUÉS, N.; MAS, J. Assessment of soil and groundwater impacts by treated urban wastewater reuse. A case study: Application in a golf course (Girona, Spain). **Science of the Total Environment**. v. 374, p. 26-35, 2007.

CAVALCANTI, P.F.F., ADRIANUS VAN HAANDEL, A., VON SPERLING, M., KATO, M.T., LUDUVICE, M.L. e MONTEGGIA, L.O. Pós-tratamento de efluentes anaeróbios em lagoas de polimento. In: C.A.L. Chernicharo (coord.), Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios, Coletânea de Trabalhos Técnicos, **PROSAB**, v. 2, p.105 -170, 2001.

CEARÁ. Resolução COEMA Nº 2/2017. Dispõe sobre padrões e condições para lançamento de efluentes líquidos gerados por fontes poluidoras. **Diário Oficial do Estado do Ceará**. Fortaleza, 2017.

CEASA-GO. **Análise conjuntural 2008**. Goiânia, GO, 2008. 215p.

CEASA-GO. **Análise conjuntural 2019**. Goiânia, GO, 2019. 377p.

CHAOUA, S.; BOUSSAA, S.; GHARMALI, A.E.; & BOUMEZZOUGH, A. Impacto da irrigação com águas servidas no acúmulo de metais pesados no solo e nas lavouras da região de Marrakech no Marrocos. **Jornal da Sociedade Saudita de Ciências Agrícolas**, 18 (4), 429–436,2019. <https://doirg.ez16.periodicos.capes.gov.br/10.1016/j.jssas.2018.02.003>

CHOJNACKA, K.; WITWR-KROWIAK, A.; MOUSTAKAS, K.; SKRZPCZAK, D.; MIKULA, K.; LOIZIDOU, M. **A transition from conventional irrigation to fertigation with reclaimed wastewater: prospects and challenges**. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 130, p. 109959, 2020.

CIRILO, J. A. Crise hídrica: desafios e superação. **Revista USP**, [S. l.], n. 106, p. 45-58, 2015. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/revusp/article/view/110102>. Acesso em: 10 mar. 2022.

COELHO JUNIOR, L. M.; MEDEIROS, M. G.; NUNES, A. M. M.; MACIEIRA, L. L.; FONSECA, M. B. Avaliação do uso do solo e dos recursos florestais no semiárido do estado da Paraíba. **Revista Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 30, n. 1, p. 72-88, 2020.

CUNHA, EUCLIDES DA. "Os Sertões". **Op. cit.**, v.2, 1993.

- DE MOURA GUERRA, A. M. N., EVANGELISTA, R. S., SILVA, M. G. M., DOS SANTOS, D. S., DOS SANTOS, L. B., & SANTOS, P. A. (2021). Produção de pimenta de cheiro em diferentes volumes de vaso Smeel pepper production in different pot volumes. *Brazilian Journal of Development*, 7(10), 100867-100883.
- DE SA MENDES, N., SANTOS, M. C., SANTOS, M. C., CAMERON, L. C., FERREIRA, M. S., & GONCALVES, E. C. Characterization of pepper (*Capsicum baccatum*)-A potential functional ingredient. *LWT*, v. 112, p. 108209, 2019.
- DEMIR, A. D.; SAHIN, U. Effects of different irrigation practices using treated wastewater on tomato yields, quality, water productivity, and soil and fruit mineral contents. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 24, p. 24856-24879, 2017.
- DHALIWAL, S. S., NARESH, R. K., MANDAL, A., SINGH, R., & DHALIWAL, M. K. Dynamics and transformations of micronutrients in agricultural soils as influenced by organic matter build-up: A review. *Environmental and Sustainability Indicators*, v. 1, p. 100007, 2019.
- DIAS, A. L. B., SERGIO, C. S. A., SANTOS, P., BARBERO, G. F., REZENDE, C. A., & MARTÍNEZ, J. Ultrasound-assisted extraction of bioactive compounds from dedo de moça pepper (*Capsicum baccatum* L.): Effects on the vegetable matrix and mathematical modeling. *Journal of Food Engineering*, v. 198, p. 36-44, 2017.
- DISHA, A. S., AL HARUN, M. A. Y., AKTER, S., BILLAH, S. M., & ABDULLAH-AL-NOMAN, M. Reusing greywater for cultivation of *Capsicum frutescens* and *Calendula officinalis*. *Journal of Environmental Management*, v. 272, p. 111088, 2020.
- DOBROWOLSKI, J. W., BEDLA, D., CZECH, T., GAMBUŚ, F., GÓRECKA, K., KISZCZAK, W., ... & ZABOCHNICKA-ŚWIĄTEK, M. Integrated innovative biotechnology for optimization of environmental bioprocesses and a green economy. *Optimization and applicability of bioprocesses*, p. 27-71, 2017.
- DOMENICO, C. I., COUTINHO, J. P., GODOY, H. T., & DE MELO, A. M. Caracterização agronômica e pungência em pimenta de cheiro. *Horticultura Brasileira*, v. 30, p. 466-472, 2012.
- DOMKA, A., JEŃDRZEJCZYK, R., WAŻNY, R., GUSTAB, M., KOWALSKI, M., NOSEK, M., ... & ROZPADEK, P. Endophytic yeast protect plants against metal toxicity by inhibiting plant metal uptake through an ethylene-dependent mechanism. *Plant, Cell & Environment*, v. 46, n. 1, p. 268-287, 2023.
- DONG, Q., XU, P. X., & WANG, Z. L. Differential cadmium distribution and translocation in roots and shoots related to hyper-tolerance between tall fescue and Kentucky bluegrass. *Frontiers in Plant Science*, 8(FEBRUARY), 2017. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00113>.
- DRECHSEL, P.; SCOTT, A.; SALLY, R.; REDWOOD, M.; BACHIR, A. Wastewater Irrigation and Health: Assessing and Mitigating Risk in Low-Income Countries; **International Water Management Institute**, Earthscan: London, UK, 2010.
- DUTRA, M. J.; PIZZOLATTO, G.; GRISA, N.; ZENATTI, P. B.; DE BITTENCOURT, M. E., PAVINATO, L. C. B.; CORRALO, D. J. Atividade antimicrobiana, in vitro, de desinfetantes de superfície sobre fungos e bactérias. *Revista Pan-Amazônica de Saúde*, v. 13, p. 9-9, 2022.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. 3.ed. **Rio de Janeiro: Embrapa Solos**, 353p. 2013.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Cultivo de pimenta-de-cheiro em Regiões Administrativas do Distrito Federal (Planaltina, Paranoá e Park Way) e ocorrências fitossanitárias. **Brasília: EMBRAPA**, p.40, 2021

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. 2.ed. **Brasília: Embrapa Informação Tecnológica**, 627p, 2009.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Sistema brasileiro de classificação de solos. **Brasília: EMBRAPA**, p.353, 2014.

ENSINK, J. H. J.; MAHMOOD, T.; HOEK, W. V. D; RASCHID-SALLY, L.; AMERASINGLE, F. P. A nationwide assessment of wastewater use in Pakistan: an obscure activity or a vitally important one? **Water Policy**, v.6, p. 197–206, 2004. DOI: <https://doi.org/10.2166/wp.2004.0013>

FAGHIH, S.; ZAMANI, Z.; FATAHI, R.; LIAFHAT, A. Effects of deficit irrigation and kaolin application on vegetative growth and fruit traits of two early ripening apple cultivars. **Biological Research**, v. 52, n. 1, 2019.

FAOSTAT, **United Nations Statistics Division of the Food and Agriculture Organization**. 2019. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#home>. Acesso em: 25 ago.2022.

FAOSTAT. **FAO Statistical Yearbook 2007–2008**, 2009. Disponível em: <http://www.fao.org/3/i3107e/i3107e.pdf>. Acesso em 01 de Agosto de 2023.

GATTA, G., LIBUTTI, A., GAGLIARDI, A., BENEDUCE, L., BRUSETTI, L., BORRUSO, L., ... & TARANTINO, E. Treated agro-industrial wastewater irrigation of tomato crop: Effects on qualitative/quantitative characteristics of production and microbiological properties of the soil. **Agricultural Water Management**, v. 149, p. 33-43, 2015.

GONG, C., WANG, S., WANG, D., LU, H., DONG, H., LIU, J., ... & WANG, L. Ecological and human health risk assessment of heavy metal (loid) s in agricultural soil in hotbed chives hometown of Tangchang, Southwest China. **Scientific Reports**, v. 12, n. 1, p. 8563, 2022.

GUERRA, A. M. N. M.; EVANGELISTA, R. S.; SILVA, M. G. M.; DOS SANTOS, D. S., DOS SANTOS, L. B., & SANTOS, P. A. Produção de pimenta de cheiro em diferentes volumes de vaso Smeel pepper production in different pot volumes. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 10, p. 100867-100883, 2021.

HALECKI, W.; BEDLA, D. Global Wheat Production and Threats to Supply Chains in a Volatile Climate Change and Energy Crisis. **Resources**, v. 11, n. 12, p. 118, 2022.

HARRIS, F.; GREEN, R.; JOY, E. J. M.; KAYATZ, B.; HAINES, A.; DANGOUR, A. D. The water use of Indian diets and socio- demographic factors related to dietary blue water footprint. **Sciences Total Environmental**, v. 587, p.128-136, 2017.

HEINRICH, A. G., FERRAZ, R. M., RAGASSI, C. F., & REIFSCHEIDER, F. J. Caracterização e avaliação de progênies autofecundadas de pimenta biquinho salmão. **Horticultura Brasileira**, v. 33, p. 465-470, 2015.

HENDGES, Letiane Thomas; DOS SANTOS ANTES, Bianca; TONES, Aline Raquel Müller. Reúso da água na agricultura: a realidade brasileira e experiências internacionais. **Revista Eletrônica Científica Inovação e Tecnologia**, v. 9, n. 23, p. 94-109, 2018.

HESPANHOL, I. Potencial de reúso de água no Brasil: agricultura, indústria, municípios, recarga de aquíferos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos - RBRH**, Porto Alegre, ed. comemorativa, v. 7, n. 4, p. 75-97, 2002.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo Brasileiro de 2022. Rio de Janeiro: **IBGE**, 2022.

IFA – ASSOCIAÇÃO INTERNACIONAL DA INDÚSTRIA DE FERTILIZANTES. Fertilizer Outlook. **Amsterdam: IFA**, 2020. Disponível em: <https://www.ifastat.org/market-outlooks>. Acesso em: 01 jun. 2023.

INSTITUTO NACIONAL DO SEMIÁRIDO. SEMIÁRIDO Brasileiro, **Ministério da Ciência e tecnologia e inovação**, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/insa/pt-br/semiarido-brasileiro> Acesso em: ago, 2022.

INTRIAGO, J. C.; LÓPEZ-GÁLVEZ, F.; ALLENDE, A.; VIVALDI, G. A.; CAMPOSEO, S.; NICOLÁS, E. N.; ALARCÓN, J. J.; SALCEDO, F. P. Agricultural reuse of municipal wastewater through an integral water reclamation management, **Journal of Environmental Management**, v. 213, p. 135-141, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.02.011>.

JARAMILLO, M. F.; DESTOUNI, G. Developing water change spectra and distinguishing change drivers worldwide. **Geophysical Research Letters**, v. 41, p.8377–8386, 2014.

JARAMILLO, M. F.; RESTREPO, I. **Wastewater reuse in agriculture: a review about its limitations and benefits**. **Sustainability**, v. 9, p. 1734, 2017.

JEONG, H.; KIM, H.; JANG, T. **Irrigation water quality standards for indirect wastewater reuse in agriculture: a contribution toward sustainable wastewater reuse in South Korea**. **Water**, v. 8, p. 16, 2016.

JI, Y.; WU, P.; ZHANG, J.; ZHANG, J.; ZHOU, Y.; PENG, Y.; ZHANG, S.; CAI, G.; & GAO, G. (2018). Acumulação de metais pesados, avaliação de risco e respostas biomarcadoras integradas de vegetais locais: um estudo de caso ao longo do rio Le'an. **Chemosphere**, v.199, p.361-371, 2018. <https://doi-org.ez16.periodicos.capes.gov.br/10.1016/j.chemosphere.2018.02.045>

JIN, M., KIM, M., CHOI, J. M., & KIM, Y. The Changes in Content and True Retention of Bioactive Compounds in Peppers according to the Cooking Method Used. 2022.

KERAITA, B., JIMENEZ, B. & DRECHSEL, P. Extent and implications of agricultural reuse of untreated, partially treated, and diluted wastewater in developing Countries. **CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources**, v. 3, p.1–15, 2008.

KIHILA, J.; MTEI, K. M.; NJAU, K. N. Wastewater treatment for reuse in urban agriculture; the case of Moshi Municipality, Tanzania. **Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C**, v. 72, p. 104-110, 2014.

KIM, S. T., YOO, S. J., WEON, H. Y., SONG, J., & SANG, M. K. *Bacillus butanolivorans* KJ40 contributes alleviation of drought stress in pepper plants by modulating antioxidant and polyphenolic compounds. **Scientia Horticulturae**, v. 301, p. 111111, 2022.

KUMAR, P., KUMAR, R., SEWHAG, M., SHARMA, K. D., CHUGH, L. K., & RAJANNA, G. A. Physiological attributes, productivity, micronutrient and heavy metal content in pearl millet (*Pennisetum glaucum* L.) as influenced by treated sewage and canal irrigation water under different nutrient sources. **Cereal Research Communications**, p. 1-7, 2021.

LACERDA, C. F.; GHEYI, H. R.; MEDEIROS, J. F.; COSTA, R. N. T.; SOUSA, G. G.; LIMA, G. S. Strategies for the use of brackish water for crop production in Northeastern Brazil. In: TALEISNIK, E.; LAVADO, R. S. (Ed.). *Saline and alkaline soils in Latin America*. London: **Springer International Publishing**, p. 71–99, 2021.

- LAI, T.V., Perspectives of peri-urban vegetable production in Hanoi. Background paper prepared for the **Action Planning Workshop of the CGIAR Strategic Initiative for Urban and Peri-urban Agriculture (SIUPA)**, Convened by International Potato Center (CIP), Lima Hanoi, p. 6–9, 2000.
- Lazarovits, G., Conn, K. L., Abbasi, P. A., & Tenuta, M. Understanding the mode of action of organic soil amendments provides the way for improved management of soilborne plant pathogens. **Acta Horticulturae**, v. 698, p. 215, 2005.
- LAZAROVITS, G.; CONN, K.; POTTER, J. Reduction of potato scab, verticillium wilt, and nematodes by soymeal and meat and bone meal in two Ontario potato fields. **Canadian Journal of Plant Pathology**, v. 21, n. 4, p. 345-353, 1999
- LEHMANN, J., PEREIRA DA SILVA, J., STEINER, C., NEHLS, T., ZECH, W., & GLASER, B. Nutrient availability and leaching in an archaeological Anthrosol and a Ferralsol of the Central Amazon basin: fertilizer, manure and charcoal amendments. **Plant and Soil**, v. 249, n. 2, p. 343-357, 2003.
- LEOGRANDE, R.; PEDRERO, F.; NICOLAS, E.; VITTI, C.; LACOLLA, G.; STELLACCI, A.M. Reclaimed Water Use in Agriculture: Effects on Soil Chemical and Biological Properties in a Long-Term Irrigated Citrus Farm. **Agronomy**, v. 12, p.1317, 2022.
- LI, Y., LU, Y., LI, L., CHU, Z., ZHANG, H., LI, H. Impairment of hormone pathways results in a general disturbance of fruit primary metabolism in tomato. **Food Chem.** v.274, p.170–179, 2019.
- LIBUTTI, A.; GATTA, G.; GAGLIARDI, A.; VERGINE, P.; POLLICE, A.; BENEDEUCE, L.; DISCIGLIO, G.; TARANTINO, E. Agro-industrial wastewater reuse for irrigation of a vegetable crop succession under Mediterranean conditions. **Agricultural Water Management**, v.196. p. 1-14, 2018.
- LIMA, J.R.; MAGALHÃES, A.R. Secas no Nordeste: registros históricos das catástrofes econômicas e humanas do século 16 ao século 21. **Parcerias Estratégicas**, v. 23, n. 46, 2018.
- LIU, J., HU, T., FENG, P., WANG, L., & YANG, S. Tomato yield and water use efficiency change with various soil moisture and potassium levels during different growth stages. **PLOS ONE**, v. 14, 2019.
- LIU, Y.Y., HAYNES, R.J. Influence of land application of dairy factory effluent on soil nutrient status and the size, activity, composition, and catabolic capability of the soil microbial community. **Appl. Soil Ecol.** v. 48, p.133–14, 2011.
- LONIGRO, A; RUBINO, P.; LACASELLA, V.; MONTEMURRO, N. **Faecal pollution on vegetables and soil drip irrigated with treated municipal wastewaters. Agricultural Water Management**, v. 174, p. 66-73, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.02.001>
- LOPES-GALVEZ, F.; ALLENDE, A.; PEDREIRO-SALCEDO, F.; ALARCON, J. J.; GIL, M. I. Safety assessment of greenhouse hydroponic tomatoes irrigated with reclaimed and surface water. **International Journal of Food Microbiology**, v.191, p. 97-102, 2014. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2014.09.004>
- LÜ, X. T., HU, Y. Y., WOLF, A. A., & HAN, X. G. Species richness mediates within-species nutrient resorption: Implications for the biodiversity–productivity relationship. **Journal of Ecology**, v. 107, n. 5, p. 2346-2352, 2019.
- MADANY, M.; KHALIL, R. Seed priming with ascorbic acid or calcium chloride mitigates the adverse effects of drought stress in sunflower (*Helianthus annuus* L.) seedlings. **The Egyptian Journal of Experimental Biology (Botany)**, v. 13, n. 1, p. 119-133, 2017.

- MAGWAZA, S. T.; MAGWAZA, L. S.; ODINDO, A. O.; MDITSHWA, A. Hydroponic technology as decentralized system for domestic wastewater treatment and vegetable production in urban agriculture: A review. **Science of the Total Environment**, v. 698, p. 134-154, 2020. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2019.134154.
- MAINARDIS, M., CECCONET, D., MORETTI, A., CALLEGARI, A., GOI, D., FREGUIA, S., & CAPODAGLIO, A. G. Wastewater fertigation in agriculture: Issues and opportunities for improved water management and circular economy. **Environmental Pollution**, v. 296, p. 118755, 2022.
- MARCOS FILHO, J. Fisiologia de sementes de plantas cultivadas. 2 ed. Londrina: **ABRATES**, 2015. 660p
- MARENGO, J. A.; TORRES, R. R.; ALVES, L. M. Seca no Nordeste do Brasil – passado, presente e futuro. **Climatologia Teórica e Aplicada**, v. 129, p.1189 – 1200, 2017.
- MARQUES, M. D. A., QUINTELA, E. D. Efeito do detergente neutro na mortalidade de ninfas da bemisia tabaci biótipo b no feijoeiro comum. In: CONGRESSO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, 10., 2011, Goiânia. Anais. Goiânia: Embrapa Arroz e Feijão, 2011.
- MARWEIN, M. A., CHOUDHURY, B. U., CHAKRABORTY, D., KUMAR, M., DAS, A., & RAJKHOWA, D. J. Response of water deficit regime and soil amelioration on evapotranspiration loss and water use efficiency of maize (*Zea mays* L.) in subtropical northeastern Himalayas. **International Journal of Biometeorology**, v. 61, p. 845-855, 2017.
- MENGYAO, L.; XUE, L.; ZHOU, B.; DUAN, J.; HE, Z.; WANG, X.; YANG, L. Effects of domestic sewage from different sources on greenhouse gas emission and related microorganisms in straw-returning paddy fields. **Science of The Total Environment**, v. 718, P. 137407, 2020.
- MEXICO CAN (Comision Nacional del Agua). **Water Statistics**. National Water Commission, Mexico City, 2004.
- MILLER-ROBBIE, Leslie; RAMASWAMI, Anu; AMERASINGHE, Priyanie. Wastewater treatment and reuse in urban agriculture: exploring the food, energy, water, and health nexus in Hyderabad, India. **Environmental Research Letters**, v. 12, n. 7, p. 075005, 2017.
- MILLER-ROBBIE, Leslie; RAMASWAMI, Anu; AMERASINGHE, Priyanie. Wastewater treatment and reuse in urban agriculture: exploring the food, energy, water, and health nexus in Hyderabad, India. **Environmental Research Letters**, v. 12, n. 7, p. 075005, 2017.
- MOLINE, E.F.V.; BARBOZA, E.; STRAZEIO, S.C.; BLIND, A.D.; FARIAS, E.A.P. Diferentes lâminas de irrigação na cultura da rúcula no sul de Rondônia. **Nucleus**, v.12, n.1, p. 371-378, 2015.
- MOURA, A. P.; MICHEREFF FILHO, M.; GUIMARÃES, J. A.; AMARO, G.B.; LIZ, R. S. Manejo integrado de pragas de pimentas do gênero *Capsicum*. Caderno Técnico, EMBRAPA, Brasília, 2013.
- 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>.
- MUMIVAND, H.; IZADI, Z.; AMIRIZADEH, F.; MAGGI, F.; MORSHEDLOO, M. R. Biochar amendment improves growth and the essential oil quality and quantity of peppermint (*Mentha × piperita* L.) grown under wastewater and reduces environmental contamination from

waste water disposal, **Journal of Hazardous Materials**, v. 446, p. 130674, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2022.130674>.

NAHAR, K., GRETZMACHER, R. Effect of water stress on nutrient uptake, yield and quality of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill) under subtropical conditions. **Die Bodenkultur** v. 53(1): p. 45-51, 2002.

NASCIMENTO, N. V.; GALDINO, S. M.; MOTA, T. L. N. G.; SOUSA, J. L. C.; MACHADO, R. S.; O uso das pegadas hídricas na agricultura do Brasil. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 1, 2021.

NOBRE, Carlos A.; REID, Julia; VEIGA, Ana Paula Soares. Fundamentos científicos das mudanças climáticas. **São José dos Campos, SP: Rede Clima/INPE**, 2012.

OBRACZKA, M.; CAMPOS, A. M. S.; SILVA, D. R. *ET AL.* “Estado da Arte e Perspectivas de Reuso de Efluente de Tratamento Secundário de Esgotos Sanitários na Região Metropolitana do Rio de Janeiro”, **Congresso ABES, FENASAN**, 2017

OLIVEIRA, F. S.; MAIA, V. M.; SANTOS, M. P.; PEGORARO, R. F.; SANTOS, S. R.; KONDO, M. K. Yield and quality of pineapple fertigated with treated wastewater. **The International Journal of Tropical e subtropical Horticulture**, v.77, p. 1-10, 2022.

OLIVEIRA, H.F.E. *et al.* Production of Pepper under Different Concentrations of Treated Sewage Effluent. **CET Journal-Chemical Engineering Transactions**, v. 75, 2019.

PATANÈ, C. Leaf area index, leaf transpiration and stomatal conductance as affected by soil water deficit and VPD in processing tomato in semi arid Mediterranean climate. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 197, n. 3, p. 165-176, 2011.

PEDRERO, F.; KALAVROUZOTIS, I.; ALARCÓN, J. J.; KOUKOULAKIS, P.; ASANO, T. Use of treated municipal wastewater in irrigated agriculture. **Agricultural Water Management**, v. 97, p. 233-1241, 2010.

PELVINE, R.A. Os números estatísticos da safra de pimenta, 2019. Disponível em: <https://revistacampoenegocios.com.br/os-numeros-estatisticos-da-safra-depimenta/>. Acesso em: 14 jan. 2023.

PERANTONI, I. C. R.; SOUSA, R. S.; SILVA, N. B. Gênero Capsicum no mercado do porto, em Cuiabá-MT. **Biodiversidade**, v. 17, n. 3, 2018.

PERANTONI, Isabella Cristina Ribeiro; DOS SANTOS SOUSA, Raisa; SILVA, Nicolas Bosco. Gênero Capsicum no mercado do porto, em Cuiabá-MT. **Biodiversidade**, v. 17, n. 3, 2018.

PILZ, T.; DELGADO, J. M.; VOSS, S.; VORMOOR, K.; FRANCKE, T.; CUNHA COSTA, A.; MARTINS, E.; BRONSTERT, A. Previsão de seca sazonal para o semiárido do Nordeste brasileiro: qual é o valor agregado de um modelo hidrológico baseado em processos? **Hidrologia e Ciências do Sistema Terrestre**, v. 23, n 4, p. 1951 – 1971, 2019.

PRATAP, B., KUMAR, S., NAND, S., AZAD, I., BHARAGAVA, R. N., FERREIRA, L. F. R., & DUTTA, V. Wastewater generation and treatment by various eco-friendly technologies: Possible health hazards and further reuse for environmental safety. **Chemosphere**, v. 313, p. 137547, 2023.

QADIR, M., WICHELNS, D., RASCHID-SALLY, L., MCCORNICK, P. G., DRECHSEL, P., BAHRI, A., MINHAS, P. S. The challenges of wastewater irrigation in developing countries. **Agricultural water management**, v. 97, n. 4, p. 561-568, 2010.

QURESHI, A. S.; HUSSAIN, M. I.; ISMAIL, S., KHAN, Q. M. Evaluating heavy metal accumulation and potential health risks in vegetables irrigated with treated wastewater. **Chemosphere**, v.163 p. 54-61, 2016.

REETZ JUNIOR, H. F. Fertilizantes e seu Uso Eficiente. ANDA – **Associação Nacional para Difusão de Adubos**, São Paulo, SP, v. 31, n. 455, p. 135-250, set./2017.

REZENDE, C. C.; SILVA, M. A. .; FRASCA, L. L. de M. .; FARIA, D. R.; FILIPPI, M. C. C. de .; LANNA, A. C.; NASCENTE, A. S. Multifunctional microorganisms: use in agriculture. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 10, n. 2, p. e50810212725, 2021. DOI: 10.33448/rsd-v10i2.12725. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/12725>. Acesso em: 5 aug. 2023.

RIBEIRO, C. S. C.; LOPES, C. A.; CARVALHO, S. I. C.; HENZ, G. P.; REIFSCHNEIDER, F. J. B. Pimenta Capsicum. Brasília : **Embrapa Hortaliças**, 2008.

RIO GRANDE DO SUL. Resolução do Conselho Estadual do Meio Ambiente (CONSEMA) nº 419. Critérios e procedimentos para a utilização de água de reúso para fins urbanos, industriais, agrícolas e florestais no Estado do Rio Grande do Sul. **Diário Oficial Eletrônico do Estado do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre/RS, 2020.

RODRIGUES, T. C., JUNIOR, J. A. D. L., SOUZA, R. O. R. M., OLIVEIRA NETO, C. F., & MARTINS, I. C. F. VIABILIDADE TÉCNICA DA PRODUÇÃO DE PEPINO JAPONÊS SUBMETIDO A DIFERENTES LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO. **IRRIGA**, v. 23, n. 3, p. 535-547, 2018.

RODRIGUEZ-HERNANDEZ, M. C., BONIFAS, I., ALFARO-DE LA TORRE, M. C., FLORES-FLORES, J. L., BAÑUELOS-HERNÁNDEZ, B., & PATIÑO-RODRÍGUEZ, O. (2015). Increased accumulation of cadmium and lead under Ca and Fe deficiency in *Typha latifolia*: A study of two pore channel (TPC1) gene responses. **Environmental and Experimental Botany**, 115, 38–48, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2015.02.009>

ROSSI, G.; MAIDARDIS M.; ANEGGI, E.; WEAVERS, L. K.; GOI, D. **Combined ultrasound-ozone treatment for reutilization of primary effluent—a preliminary study**. **Environmental Science Pollution Research**, v. 28, p. 700-710, 2021.

SHAKIR, E.; ZAHRAW, Z.; AL-OBAIDY, A.H.M.J. Riscos ambientais e de saúde associados à reutilização de águas residuais para irrigação. **Egito J Pe** 26:95–102, 2017.

SILVA JÚNIOR, W. R. D., SANDRI, D., FIGUEIREDO, C. C. D., & PEREIRA, R. M. Chemical attributes of soil irrigated with treated sewage effluent and cultivated with bell pepper. **Revista Ambiente & Água**, v. 14, 2019.

SILVA, F. P.; ARAUJO, J. A.; COSTA, E. M.; VIEIRA FILHO, J. E. R. Eficiência técnica e heterogeneidade tecnológica na agropecuária das regiões semiárida e não semiárida do Nordeste brasileiro. **Revista de Economia e Sociologia Rural, Brasília**, v. 57, n. 3, p. 379–95, set. 2019.

SILVA, W. R.; POAGUE, K. I. H. M.; NUNES, J. C. Estudo de viabilidade econômica do aproveitamento comercial de areia retida no tratamento preliminar da ETE Onça – MG. **The Journal of Engineering and Exact Sciences**, v. 4, n. 4, p. 1-5, 2018.

SOARES, L. A. A.; BRITO, M. E. B.; SILVA, E. C. B.; SÁ, F. V. S.; ARAÚJO, T. T. Componentes de produção do tomateiro sob lâminas de irrigação nas fases fenológicas. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v.8, n.3, p. 84-90, 2013.

SONG, L.; WANG, J.; PAN, J.; YAN, Y.; NIU, S. Chronic nitrogen enrichment decreases soil gross nitrogen mineralization by acidification in topsoil but by carbon limitation in subsoil. **Geoderma**, v. 428, p. 116159, 2022.

SOUZA, J. A. R. D., MOREIRA, D. A., MARTINS, I. P., CARVALHO, C. V. D. M., & CARVALHO, W. B. D. Sanidade de frutos de pimentão fertirrigados com água residuária da suinocultura. **Revista Ambiente & Água**, v. 8, p. 124-134, 2013.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. Fisiologia vegetal. 4º ed. Porto Alegre: Artmed, 2009.819p.

TARPANI, R. R. Z.; AZAPAGIC, A. Life cycle sustainability assessment of advanced treatment techniques for urban wastewater reuse and sewage sludge resource recovery, **Science of The Total Environment**, v. 869, p.161771, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.161771>.

TAVARES, F. B.; DA SILVA, A. C. R.; SANTOS FERNANDES, C.; FREITAS MOURA, K. K. C. Crescimento e produção de pimentão utilizando água residuária doméstica tratada. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 13, n. 5, p. 3683, 2019.

TZANAKAKIS, V.; KOO-OSHIMA, S.; HADDAD, M.; APOSTOLIDIS, N.; ANGELAKIS, A. The history of land application and hydroponic systems for wastewater treatment and reuse. In **Evolution of Sanitation and Wastewater Technologies through the Centuries**; IWA Publishing: London, UK, 2014; p. 457, 2014.

URBANO, V.R.; MENDONÇA, T.G.; BASTOS, R.G.; SOUZA C.F. Efeitos da irrigação com água residuária tratada nas propriedades do solo e na produção de alface. **Agric Water Manag** 181:108–115, 2017.

VELASCO-MUÑOZ, J. F.; AZNAR-SÁNCHEZ, J. A.; BATLLES-DELAFUENTE, A.; FIDELIBUS, M. D. Sustainable Irrigation in Agriculture: An Analysis of Global Research. **Water**, v. 11, p. 1758, 2019.

VON SPERLING, M. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. Vol. 1. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos DESA - UFMG. 3ª ed. 456 p. 2005.

WINPENNY, J.; HEINZ, I.; KOO-OSHIMA, S.; SALGOT, M.; COLLADO, J.; HÉRNANDEZ, F.; TORRICELLI, R. Reutilización del Agua en Agricultura: Beneficios para Todos; **FAO: Rome**, Italy, v.124, 2013.

XAVIER, D. S. R.; SANTOS, F. S.; ANJOLIM, F. S., AZEVEDO, K. N. Impactos do conflito armado Rússia x Ucrânia: Um estudo sobre os fertilizantes russos e a dependência brasileira. **XXIII FATECLOG**, 2022.

YARANUTRE, 2022. **Fertilizantes químicos: o que são, tipos e funções**. Disponível em: <<https://www.yarabrasil.com.br/conteudoagronomico/blog/fertilizantesquimicos/#:~:text=Existem%20tr%C3%AAAs%20tipos%20de%20fertilizantes,org%C3%A2nicos%20ou%2C%20a%2C%20organominerais.>>. Acesso em: 18 de janeiro de 2023.

YASUOR, H; YERMIYAHU, U.; BEN-GAL, A. Consequences of irrigation and fertigation of vegetable crops with variable quality water: Israel as a case study. **Agricultural Water Management**, v. 242, p. 106362, 2020.