



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA**  
**CURSO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA E AMBIENTAL**

**MARIANA OLIVEIRA DE SOUZA**

**REUSO DE ESGOTO DOMÉSTICO TRATADO NA IRRIGAÇÃO POR**  
**GOTEJAMENTO PULSADO SOBRE O CRESCIMENTO E RENDIMENTO DE**  
**SOJA**

Recife - PE

2025

MARIANA OLIVEIRA DE SOUZA

**REUSO DE ESGOTO DOMÉSTICO TRATADO NA IRRIGAÇÃO POR  
GOTEJAMENTO PULSADO SOBRE O CRESCIMENTO E RENDIMENTO DE  
SOJA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Agrícola e Ambiental da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Agrícola e Ambiental

Orientador: Prof. Dr. Enio Farias de França e Silva

Recife

2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Sistema Integrado de Bibliotecas da UFRPE  
Biblioteca Central, Recife-PE, Brasil

S729r Souza, Mariana Oliveira de.  
Reuso de esgoto doméstico tratado na irrigação por  
gotejamento pulsado sobre o crescimento e rendimento de soja  
/ Mariana Oliveira de Souza. – Recife, 2025.  
52 f.: il.

Orientador(a): Enio Farias de França e Silva.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade  
Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Engenharia  
Agrícola e Ambiental, Recife, BR-PE, 2025.  
Inclui referências.

1. Glycine Max [L.] Merrill 2. Irrigação por gotejamento 3. Soja –  
Produção 4. Análises biométricas I. Silva, Enio Farias de França e,  
orient.. II. Título

CDD 630

MARIANA OLIVEIRA DE SOUZA

**REUSO DE ESGOTO DOMÉSTICO TRATADO NA IRRIGAÇÃO POR  
GOTEJAMENTO PULSADO SOBRE O CRESCIMENTO E RENDIMENTO DE  
SOJA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Agrícola e Ambiental da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Agrícola e Ambiental.

Aprovado em: 07/08/2025

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. Enio Farias de França e Silva (Orientador)  
Universidade Federal Rural de Pernambuco

---

Prof. Dr. Geronimo Ferreira da Silva (Examinador Interno)  
Universidade Federal Rural de Pernambuco

---

Prof. Dr. Alessandro Oliveira da Silva (Examinador Interno)  
Universidade Federal Rural de Pernambuco

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço, primeiramente, a Deus, por ter me sustentado ao longo da vida e por estar presente em cada passo desta jornada. Aos meus pais, Madalena e Daniel (in memoriam), sou profundamente grata pelo apoio incondicional e pelos esforços dedicados a me proporcionar a melhor educação possível. Estendo meu agradecimento ao meu irmão e às minhas tias, Mirian e Sônia, por todo o auxílio prestado sempre que necessário.

Aos colegas de curso, em especial àqueles que se tornaram grandes amigos, Mário, Ester, Giovanna, Ana e Maria Eduarda, minha sincera gratidão por tornarem esse percurso mais leve e significativo. Ao meu orientador, Professor Ênio, agradeço pela paciência, pelo apoio constante e pelo valioso conhecimento compartilhado durante a elaboração deste trabalho.

Sou profundamente grata aos amigos e à tutora do PET AgroEnergia, professora Cristiane Guiseline, pelas experiências enriquecedoras adquiridas ao longo dos anos em que participei do grupo. Estendo meus agradecimentos ao MEC, pela concessão da bolsa que possibilitou minha dedicação ao programa e foi essencial para a realização deste trabalho. Manifesto, ainda, minha gratidão ao INCT em Agricultura Sustentável no Semiárido Tropical – INCTAGriS (CNPq/Funcap/Capes, Processo nº 406570/2022-1) pelo apoio financeiro concedido.

## RESUMO

A soja é a commodity mais produzida em todo o mundo, tendo o Brasil como maior produtor e exportador mundial atualmente. A disponibilidade de água é um dos fatores mais importantes no desenvolvimento das plantas, e para a soja em específico, em virtude da alta exigência hídrica, há limitação em sua produção em regiões de instabilidade pluviométrica. Com a contínua preocupação referente à disponibilidade de água para as próximas décadas, percebe-se a necessidade de adotar práticas que combinem a produção agrícola e o uso sustentável e racional dos recursos hídricos, e neste contexto o reuso de água surge como alternativa, que associada a técnicas de irrigação, aumentam a eficiência no uso da água. Deste modo, objetivou-se com o presente trabalho avaliar os efeitos da irrigação contínua e pulsada com diluições de esgoto doméstico tratado sobre aspectos biométricos e produtivos da cultura da soja. Foram realizados dois experimentos com dois tipos de solo sob ambiente protegido situado no Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Campus sede, Recife – PE. Os experimentos foram conduzidos em delineamento em blocos casualizados em esquema fatorial 5x2, com quatro repetições. Para o primeiro fator, houveram cinco níveis de diluição de esgoto doméstico tratado (EDT), sendo: N1 – 0% de EDT e 100% de água de abastecimento; N2 – 25% de EDT e 75 % de água de abastecimento; N3 – 50% de EDT e 50% de água de abastecimento, N4 – 75% de EDT e 25 % de água de abastecimento e N5 – 100% de EDT e 0% de água de abastecimento. O segundo fator, constituído pelos pulsos de irrigação, sendo: P1 – lâmina total em uma única aplicação (irrigação contínua) e P2 – lâmina de irrigação dividida em quatro aplicações (quatro pulsos espaçados com intervalo de 30 minutos entre eles). O manejo da irrigação foi realizado via solo, feito o cálculo da lâmina requerida com base no balanço de água no solo, considerando o princípio da lisimetria de pesagem. Os parâmetros analisados foram: altura da planta, diâmetro do caule, número de vagens por planta, número de grãos por vagem, número de grãos por planta, massa de mil grãos, produtividade por hectare e eficiência do uso da água. O manejo da irrigação influenciou significativamente as variáveis avaliadas, com destaque para a irrigação pulsada, que promoveu melhor desempenho em diversos parâmetros, como diâmetro do caule, massa seca da parte aérea, número de vagens por planta, produtividade e eficiência do uso da água. As maiores diluições de EDT apresentaram, em geral, melhores respostas no desenvolvimento das plantas, enquanto as menores diluições resultaram em desempenhos inferiores, principalmente sob irrigação contínua. Os efeitos observados evidenciam o potencial de técnicas de manejo da irrigação em conjunto com uso de efluentes tratados para otimizar a produção agrícola e o uso racional da água.

**Palavras-chave:** *Glycine max* [L.] Merrill, pulsos, produção, análises biométricas.

## ABSTRACT

Soybean is the most produced commodity worldwide, with Brazil currently being the largest global producer and exporter. Water availability is one of the most crucial factors for plant development, and for soybean specifically, due to its high water demand, production is limited in regions with irregular rainfall. With the ongoing concern regarding water availability in the coming decades, it is essential to adopt practices that combine agricultural production with the sustainable and rational use of water resources. In this context, water reuse emerges as an alternative which, when associated with irrigation techniques, enhances water use efficiency. Thus, this study aimed to evaluate the effects of continuous and pulsed irrigation with dilutions of treated domestic sewage on biometric and productive aspects of soybean crops. Two experiments were conducted with two types of soil in a protected environment at the Department of Agricultural Engineering of the Federal Rural University of Pernambuco (UFRPE), main campus, in Recife – PE, Brazil. The experiments were arranged in a randomized block design in a 5x2 factorial scheme, with four replications. The first factor consisted of five dilution levels of treated domestic sewage (TDS): N1 – 0% TDS and 100% supply water; N2 – 25% TDS and 75% supply water; N3 – 50% TDS and 50% supply water; N4 – 75% TDS and 25% supply water; and N5 – 100% TDS and 0% supply water. The second factor comprised irrigation pulses: P1 – total irrigation depth applied in a single event (continuous irrigation), and P2 – irrigation depth divided into four applications (four pulses spaced 30 minutes apart). Irrigation management was performed based on soil water balance, considering the principle of weighing lysimetry. The analyzed parameters were: plant height, stem diameter, number of pods per plant, number of grains per pod, number of grains per plant, thousand-grain mass, yield per hectare, and water use efficiency. Irrigation management significantly influenced the evaluated variables, with pulse irrigation standing out by promoting better performance in several parameters, such as stem diameter, shoot dry mass, number of pods per plant, yield, and water use efficiency. Higher TDS dilutions generally resulted in better plant development, while lower dilutions led to inferior performance, especially under continuous irrigation. The observed effects highlight the potential of combining irrigation management techniques with treated effluent use to optimize agricultural production and ensure rational water use.

**Keywords:** *Glycine max* [L.] Merrill, pulses, production, biometric analyses.

## LISTA DE FIGURAS

|                   |  |    |
|-------------------|--|----|
| <b>Figura 1 -</b> | Vista geral dos experimentos na casa de vegetação.....   | 21 |
| <b>Figura 2 -</b> | Unidade experimental em Solo 1, Pulso 2, Nível 2 e Bloco 3 (A) e Unidade experimental em Solo 2, Pulso 2, Nível 4 e Bloco 3 (B).....   | 24 |
| <b>Figura 3 -</b> | Cabeçal de controle do Sistema de irrigação com válvulas solenóides (A) e temporizadores digitais (B).....   | 27 |
| <b>Figura 4 -</b> | Contagem do número de vagem por planta (A) e número de grãos por planta (B).....   | 28 |
| <b>Figura 5 -</b> | Monitoramento da temperatura e umidade relativa do ar da casa de vegetação durante a condução dos experimentos.....  | 29 |
| <b>Figura 6 -</b> | Médias de Diâmetro do caule (cm) (a), Massa Fresca da Parte Aérea da Planta (g) (b), Massa Seca da Parte Aérea da Planta (g) (c), Número de Vagens por Planta (uni) (d) e Número de Grãos por Vagem (uni) (e) de soja cultivada em Argissolo Amarelo Distrófico Abrupto do Município de Carpina, PE, em função dos níveis de EDT. Médias $\pm$ erro padrão seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade..... | 31 |
| <b>Figura 7 -</b> | Média de altura da planta (a) e número de grãos por vagem (b) de soja cultivada em Espodossolo Humilúvico oriundo do Município de Goiana - PE, em função de pulsos de irrigação. Letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.....  | 36 |
| <b>Figura 8 -</b> | Evolução da Altura das Plantas ao longo do ciclo da cultura da soja cultivada no Espodossolo Humilúvico oriundo do Município de Goiana, PE.....  | 37 |
| <b>Figura 9 -</b> | Médias de Massa fresca da Parte Aérea da Planta (g) (a), Número de vagens por Planta (uni) (b), Número de Grãos por Vagem (uni) (c) e Número de Grãos por Planta (uni) (d) de soja cultivada em Espodossolo Humilúvico oriundo do Município de Goiana - PE, em função dos níveis de EDT. Médias $\pm$ erro padrão seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.....  | 38 |

## LISTA DE TABELAS

|                    |   |    |
|--------------------|---|----|
| <b>Tabela 1</b> –  | Caracterização físico-química do Argissolo Amarelo Distrófico Abrupto do Município de Carpina, PE.....  | 22 |
| <b>Tabela 2</b> –  | Caracterização físico-química do solo oriundo do Município de Goiana, PE.....   | 23 |
| <b>Tabela 3</b> –  | Caracterização físico-química do efluente da ETE - UFRPE.....   | 26 |
| <b>Tabela 4</b> –  | Análise de variância do experimento com Argissolo Amarelo Distrófico Abrupto do Município de Carpina, PE.....   | 30 |
| <b>Tabela 5</b> –  | Teste de média para as variáveis de produção em função do pulso de irrigação para soja cultivada no Argissolo Amarelo Distrófico Abrupto do Município de Carpina, PE.....   | 32 |
| <b>Tabela 6</b> –  | Desdobramento da interação dos fatores para o número de grãos por planta de soja no Argissolo Amarelo Distrófico Abrupto do Município de Carpina - PE, demonstrando o teste comparativo de média por Tukey.....                               | 33 |
| <b>Tabela 7</b> –  | Desdobramento da interação dos fatores para a massa de mil grãos de planta de soja no Argissolo Amarelo Distrófico Abrupto do Município de Carpina - PE, demonstrando o teste comparativo de média por Tukey.....                             | 33 |
| <b>Tabela 8</b> –  | Análise de variância do experimento com Espodossolo Humilúvico oriundo do Município de Goiana, PE.....  | 35 |
| <b>Tabela 9</b> –  | Desdobramento da interação dos fatores para diâmetro do caule (cm) de plantas de soja cultivada no Espodossolo Humilúvico oriundo do Município de Goiana - PE, demonstrando o teste comparativo de média por Tukey a 5% de probabilidade..... | 40 |
| <b>Tabela 10</b> – | Desdobramento da interação dos fatores para massa seca da parte aérea (g) de soja cultivada no Espodossolo Humilúvico oriundo do Município de Goiana – PE, demonstrando o teste comparativo de média por Tukey.....                           | 40 |
| <b>Tabela 11</b> – | Desdobramento da interação dos fatores para produtividade por hectare ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) de soja cultivada no Espodossolo Humilúvico oriundo do Município de Goiana – PE, demonstrando o teste comparativo de média por Tukey.....       | 41 |
| <b>Tabela 12</b> – | Desdobramento da interação dos fatores para eficiência do uso da água ( $\text{kg m}^{-3}$ ) para soja cultivada no Espodossolo Humilúvico oriundo do Município de Goiana - PE demonstrando o teste comparativo de média por Tukey.....       | 42 |

## SUMÁRIO

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| <b>1</b> | <b>INTRODUÇÃO.....</b>   | <b>10</b> |
| <b>2</b> | <b>OBJETIVOS.....</b>  | <b>11</b> |
| 2.1      | Objetivo geral.....  | 11        |
| 2.2      | Objetivos específicos.....   | 11        |
| <b>3</b> | <b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>  | <b>12</b> |
| 3.1      | Crescimento populacional e demanda por alimentos.....                                  | 12        |
| 3.2      | Importância socioeconômica da soja e fatores que influenciam sua<br>produtividade..... | 13        |
| 3.3      | Escassez hídrica.....  | 14        |
| 3.4      | Importância da irrigação para a produção de alimentos.....                             | 15        |
| 3.5      | Irrigação e consumo de água.....   | 16        |
| 3.6      | Irrigação localizada por gotejamento.....  | 17        |
| 3.7      | Irrigação por pulsos.....  | 18        |
| 3.8      | Reuso de água.....   | 19        |
| <b>4</b> | <b>MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>  | <b>20</b> |
| 4.1      | Área experimental.....   | 20        |
| 4.2      | Delineamento e Tratamentos.....  | 23        |
| 4.3      | Sistema e manejo da irrigação.....   | 25        |
| 4.4      | Análise dos parâmetros biométricos.....  | 27        |
| 4.5      | Análise dos parâmetros produtivos.....   | 27        |
| <b>5</b> | <b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>   | <b>29</b> |
| <b>6</b> | <b>CONCLUSÕES.....</b>   | <b>42</b> |
| <b>7</b> | <b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>   | <b>42</b> |
| <b>8</b> | <b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>   | <b>43</b> |

## 1. INTRODUÇÃO

Cientificamente denominada *Glycine max* [L.] Merrill, a soja é a commodity mais cultivada em todo o mundo (TESCHE, 2022). O Brasil é atualmente o maior produtor e exportador mundial da soja, tendo a China como maior importadora e consumidora (COÊLHO, 2024). Segundo dados do CONAB (2025), no ano agrícola 2024/25, o estado do Mato Grosso reteve a maior produção nacional do grão, aproximadamente 50 milhões de toneladas produzidas, seguido pelo Paraná, Rio Grande do Sul e Goiás, respectivamente.

A cultura se adapta melhor em regiões com temperatura entre 20°C e 30°C, sendo a temperatura ideal em torno de 30°C (CAMPAGNARO et al., 2025), o que justifica a sua aplicabilidade dentro do clima brasileiro. A soja apresenta alta exigência hídrica a fim de alcançar níveis ideais de produtividade (SETUBAL, 2021), em que, de acordo com Finamore et al. (2019), para a produção de uma tonelada de soja são necessários aproximadamente 2200m<sup>3</sup> de água. Dado a este fato, em áreas que sofrem com instabilidade de distribuição de chuvas, como a região Nordeste do Brasil, a produção da cultura se apresenta bastante limitada. Conforme estudado por Oliveira et al. (2020), o estresse hídrico pós semeadura pode causar a deterioração das sementes que afetará diretamente a produtividade da safra.

No panorama de produção agrícola, a irrigação é uma tecnologia que proporciona efetiva e lucrativa produtividade dos grãos. Todavia, dado ao fato de a atividade agrícola ser a principal consumidora de recursos hídricos no mundo (DIAS; MATOS, 2023) correspondendo a cerca de 69% do uso de água global (FAO, 2021), e a recorrente discussão mundial sobre escassez hídrica e previsão da disponibilidade de água para as próximas décadas (SILVA et al. 2019), existe um elevado interesse da sociedade nos estudos relacionados a produção agrícola e o uso inteligente e sustentável dos recursos hídricos, como as técnicas de irrigação por gotejamento ou por aspersão, que apresentam benefícios de economia de água, energia e fertilizantes. (ROCHA et al., 2024).

Uma estratégia de irrigação que proporciona eficiência no uso da água e aumento de produção é a irrigação pulsada (ELNESR et al., 2015). A irrigação por pulsos compreende a aplicação fracionada da lâmina de irrigação, ou seja, se aplica a lâmina por um curto período seguido por um momento de repouso, e logo após, aplica-se outra lâmina por outro curto período (ALMEIDA et al., 2015), e assim, por conseguinte, até concluir a irrigação. Em estudos como o realizado por El-Abedin (2006) com a cultura do milho no Egito, ao comparar a aplicação contínua da lâmina d'água com a pulsada, notou-se um aumento do rendimento dos grãos onde se utilizou a irrigação em pulsos. De acordo com Silva (2020), ao realizar a irrigação

por pulsos se observa uma redução da lâmina necessária a ser aplicada, em razão de uma menor percolação.

Outro processo que objetiva o aproveitamento sustentável dos recursos hídricos na agricultura e garante segurança hídrica em regiões afetadas por eventos de seca é o reúso de água. De acordo com a Resolução nº54/2005 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos – CNRH (BRASIL, 2005), a água de reúso corresponde à água residuária tratada que está dentro dos padrões exigidos para sua utilização nas modalidades pretendidas. O efluente de melhor aplicação na agricultura é o esgoto doméstico tratado devido aos seus valores nutricionais, que podem assim satisfazer as necessidades nutricionais das plantas (TORRES et al., 2019).

Considerando a importância da soja no cenário do agronegócio mundial, se faz necessário estudar práticas de manejo para aumentar sua produção por área, sendo a irrigação com água de reúso uma alternativa estratégica.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo geral**

Verificar o potencial de uso de estratégias de irrigação pulsada e contínua com diluições de esgoto doméstico tratado sobre o crescimento e rendimento da cultura da soja cultivada em ambiente protegido.

### **2.1 Objetivos específicos**

- Avaliar a influência da irrigação contínua e pulsada com diluições de esgoto doméstico tratado sobre o crescimento de plantas de soja;
- Aferir componentes de produção de soja submetidas à irrigação contínua e pulsada com diluições de esgoto doméstico tratado;
- Verificar o consumo hídrico e a eficiência do uso da água de plantas de soja irrigadas por gotejamento contínuo e pulsado com diluições de esgoto doméstico tratado.

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 Crescimento populacional e demanda por alimentos

O rápido aumento da população mundial tem elevado significativamente a demanda por alimentos e recursos hídricos, colocando grande pressão sobre os ecossistemas e os recursos naturais disponíveis (DIAS; MATOS, 2023). A estimativa de que a população global possa chegar a 10 bilhões de pessoas até o ano de 2050 (The White House Office Of Science And Technology Policy, 2023) intensifica os desafios já existentes. Nesse contexto, os métodos tradicionais de produção agrícola, frequentemente vinculados à emissão de gases de efeito estufa, à exploração intensiva de recursos naturais e à degradação do solo, revelam-se cada vez mais insustentáveis (WOOD; TAVAN, 2022).

De acordo com a FAO (Organização para a Alimentação e Agricultura, 2017), cerca de 90% do aumento necessário na produção de alimentos deverá ser alcançado por meio da elevação da produtividade. No entanto, esse avanço encontra como obstáculo central a escassez de água. Dessa forma, o aumento da produção agrícola precisa ser realizado com responsabilidade ambiental, considerando os limites ecológicos e a disponibilidade hídrica (LORDELOS et al., 2025).

Nas últimas décadas, o Brasil consolidou-se como um dos principais produtores e exportadores de alimentos em escala global, com uma produção anual em torno de 140 milhões de toneladas (OLIVEIRA et al., 2022), sendo responsável pelo abastecimento alimentar de aproximadamente 1 a 1,5 bilhão de pessoas por ano (CONTINI; ARAGÃO, 2021). Apesar dos ganhos econômicos e do fortalecimento da segurança alimentar em nível global, esse avanço traz consigo desafios importantes, como o uso sustentável da água e a conservação ambiental (FEITOSA JÚNIOR et al., 2021).

Segundo o relatório de Estado da Alimentação e da Agricultura publicado pela Organização das Nações Unidas, mais de 3 bilhões de pessoas que vivem em regiões agrícolas enfrentam altos ou altíssimos níveis de escassez de água, o que compromete diretamente a segurança alimentar e a estabilidade socioeconômica dessas localidades. O documento também aponta que essas populações já lidam com severas limitações no acesso à água, elemento essencial à produção agrícola e à vida humana (BRASIL, 2022).

Diante dessa realidade, o setor agropecuário tem buscado alternativas tecnológicas para aumentar sua produtividade, entre as quais se destaca o uso da irrigação como estratégia para intensificar a produção de forma eficiente (BUNHAK, 2023).

### **3.2 Importância socioeconômica da soja e fatores que influenciam sua produtividade**

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) é uma oleaginosa pertencente à família das leguminosas e teve origem no nordeste da China, na região de Manchúria. A cultura foi introduzida no Brasil em 1908 por imigrantes japoneses na estação agrícola de Campinas/SP (SILVA; CAVICHIOLI, 2022), porém foi no Rio Grande do Sul que a soja encontrou condições climáticas mais semelhantes às de sua região de origem, portanto mais adequadas para seu desenvolvimento e adaptação (SILVA et al., 2022).

O ciclo da soja é dividido em duas fases bem definidas: a vegetativa, que vai da emergência da plântula até o surgimento do último nó na haste principal antes da abertura da primeira flor; e a reprodutiva, que começa com a abertura da primeira flor e segue até o completo amadurecimento dos grãos. Identificar corretamente o estágio em que a planta se encontra é essencial para o manejo da lavoura, pois influencia diretamente decisões como o momento ideal da colheita, que afeta as características dos grãos produzidos (PELISSARI; COIMBRA, 2023).

É uma das culturas agrícolas mais relevantes para a economia brasileira e mundial, sendo considerada uma das leguminosas mais cultivadas nas últimas décadas. Atualmente, mais de 60 países produzem soja (MORAES, 2021), que é utilizada como matéria-prima para a alimentação humana e animal, além de servir a setores como a agroindústria, a indústria química e a de biocombustíveis (SILVA, 2018).

Segundo dados da Embrapa (2019), o Brasil foi o maior produtor mundial de soja na safra 2019/2020, alcançando 124,84 milhões de toneladas em uma área plantada de 36,95 milhões de hectares, com produtividade média de 3.379 kg ha<sup>-1</sup>. Em 2023, a produção nacional saltou de 125,55 para 154,62 milhões de toneladas entre as safras 2021/22 e 2022/23, o que representa um crescimento de 23,2% (CONAB, 2023a). Já na safra 2024/25, o país atingiu um novo recorde com 167,87 milhões de toneladas colhidas em uma área de 47,52 milhões de hectares, mantendo-se como o maior produtor mundial da oleaginosa, com produtividade média de 3.533 kg/ha (CONAB, 2025).

Além de sua expressiva produção, a soja também apresenta um forte impacto econômico. Em 2019, o país exportou cerca de 97 milhões de toneladas do “complexo soja” (grãos, óleo e farelo), gerando um lucro de US\$ 35 bilhões (GOMES, 2023).

O destaque da soja no agronegócio se deve, em grande parte, à sua elevada rentabilidade e importância comercial tanto no mercado interno quanto externo (VINHAL-FREITAS et al.,

2011; FRARE, 2020). A cultura corresponde a mais de 50% da área total cultivada com grãos no Brasil (ZAMBIAZZI et al., 2017), consolidando-se como a principal commodity agrícola do país.

A produtividade da soja, no entanto, depende de diversos fatores, sendo a disponibilidade hídrica um dos principais. De acordo com Sedyama (2015), a demanda hídrica da cultura varia entre 450 a 850 mm ao longo do ciclo, dependendo da variedade e do manejo adotado. O déficit hídrico é considerado um dos fatores mais limitantes à produtividade da soja, podendo comprometer significativamente seu rendimento. Nessa perspectiva, o uso da irrigação torna-se essencial para garantir o potencial produtivo da cultura (TONATTO, 2020).

Além da água, a nutrição mineral adequada é fundamental. A soja exige um suprimento balanceado de nutrientes, sendo o fósforo, nitrogênio, potássio, cálcio e magnésio os mais influentes na produtividade (BORKERT, 2005). Para isso, é necessário o fornecimento equilibrado de fertilizantes, de modo a atender às exigências nutricionais da planta (COUTINHO et al., 2014).

### **3.3 Escassez hídrica**

A escassez de recursos hídricos é uma das questões mais preocupantes enfrentadas pela humanidade no atual século (TAYYAB et al., 2022). Esse cenário tem se configurado como uma realidade global, afetando países desenvolvidos, emergentes e subdesenvolvidos. Em todos esses contextos, observam-se dificuldades tanto na disponibilidade quanto na qualidade da água destinada aos diversos usos (ZAREI et al., 2020). Com o avanço das tecnologias, a criação de novas empresas e o crescimento das atividades produtivas, especialmente no setor agrícola, o consumo de água tem aumentado consideravelmente (BRAGA, 2002). Frente aos desafios atuais, torna-se indispensável debater inovações e estratégias eficazes voltadas à conservação desse recurso essencial à vida na Terra (RODRIGUES et al., 2023).

Historicamente, a água sempre desempenhou papel central nas civilizações, sendo indispensável tanto nas atividades agrícolas quanto pecuárias (MATIAS, 2023). No Brasil, conforme dados do Relatório de Conjuntura dos Recursos Hídricos (ANA, 2024), cerca de 50% da demanda consuntiva de água é direcionada à irrigação. Os demais usos distribuem-se entre o abastecimento urbano (23,4%), a indústria (9,2%), a dessedentação animal (7,9%), a indústria termelétrica (6,4%), o abastecimento rural (1,5%) e a mineração (1,6%).

Contudo, é importante destacar que, no Brasil, o setor que mais consome água doce é também o que mais desperdiça (BRAGA, 2002). O agronegócio, embora vital para a economia,

utiliza enormes volumes de água, com elevados índices de perda (SILVA et al., 2015), o que agrava os impactos da crise hídrica, especialmente sobre a produção agrícola. Em casos mais severos, a má gestão dos recursos hídricos pode gerar efeitos colaterais relevantes, como a redução da oferta de hortaliças e leguminosas, o desabastecimento local e até a demissão de trabalhadores do setor agrícola (MACEDO, 2015).

Para evitar tais consequências, é fundamental investir em planejamento e gestão eficiente da água. Entre as soluções viáveis está o uso de técnicas modernas de irrigação, que permitem economizar água sem comprometer a produtividade. (VASCONCELOS; SANTOS, 2024).

### **3.4 Importância da irrigação para a produção de alimentos**

A irrigação consiste em uma importante prática agrícola, cuja finalidade é atender, de forma parcial ou total, às exigências hídricas das plantas por meio da aplicação controlada de água utilizando técnicas e equipamentos específicos (ANA, 2021). Essa técnica se mostra especialmente relevante para o fortalecimento da atividade agrícola em regiões com escassez de água, contribuindo tanto para a manutenção da produtividade quanto para a preservação dos recursos naturais (ANDRADE, 2024).

É amplamente reconhecido que a agricultura representa um dos setores que mais consomem água doce, sendo os sistemas de irrigação os principais responsáveis por esse uso intensivo (PEREIRA, 2014). No entanto, quando devidamente planejada e executada, a irrigação possibilita um controle rigoroso da quantidade de água fornecida às plantas, independentemente das variações climáticas, evitando desperdícios e otimizando a produção. Essa eficiência no uso da água permite garantir uma produção agrícola contínua e segura, mesmo durante períodos de estiagem (SANTOS; SANTANA 2025).

A adoção da irrigação, especialmente no contexto da agricultura familiar, tem sido valorizada pelos produtores por assegurar a produtividade das lavouras em momentos críticos de seca, ao suprir adequadamente as necessidades hídricas das culturas (SILVA; NEVES, 2020). Propriedades que fazem uso de sistemas de irrigação frequentemente alcançam maior valorização de sua produção, uma vez que incorporam tecnologias essenciais para a adaptação às condições de seca (SANTOS; SANTANA, 2025).

Entre os principais benefícios proporcionados pela irrigação, destacam-se o aumento da produtividade agrícola, o uso contínuo do solo ao longo do ano, inclusive durante a entressafra, a garantia de produção em épocas de baixa precipitação e a melhoria na qualidade dos produtos

colhidos. Essa prática também favorece o planejamento agrícola de longo prazo, assegurando a continuidade das colheitas e reduzindo os riscos associados aos investimentos (BUNHAK, 2023). Além dos ganhos agronômicos, a irrigação gera efeitos positivos no âmbito socioeconômico, como a criação de empregos, o incremento da renda de pequenos produtores e o estímulo ao desenvolvimento rural nas regiões onde é adotada (LOPES SOBRINHO et al., 2019).

### **3.5 Irrigação e consumo de água**

A água é um recurso natural essencial e deve ser utilizada da melhor forma possível, especialmente nos sistemas agrícolas. Nesse contexto, seu uso por meio da irrigação assume um papel central na promoção de uma produção agrícola sustentável, extrapolando sua função econômica e contribuindo significativamente para a segurança hídrica e alimentar (SANTANA; SANTOS, 2025). A irrigação desempenha um papel essencial ao garantir a continuidade da produção em períodos com baixa precipitação, além de minimizar os impactos do estresse hídrico sobre as plantas durante veranicos (TAIZ et al., 2017). O manejo eficiente da irrigação, ao favorecer o uso adequado da água, é considerado um elemento chave para a sustentabilidade dos sistemas produtivos (LEMO FILHO et al., 2016; BRUNING et al., 2019).

Atualmente, a agricultura irrigada é responsável pela maior parte do consumo de água doce no mundo, representando cerca de 70% da retirada total de água de fontes superficiais e subterrâneas (RODRIGUES et al., 2017). A relevância da irrigação é ainda mais evidente em regiões com escassez hídrica acentuada, como o Nordeste brasileiro. Essa região, historicamente marcada por longos períodos de estiagem e seca (BRASIL, 2005; LIMA; MAGALHÃES, 2018; AQUINO et al., 2021), desenvolveram ao longo do tempo um importante conjunto de estratégias voltadas à convivência com a seca e à gestão da água em contextos críticos. Essas experiências demonstram como o uso eficiente da água, aliado à adoção de práticas de irrigação apropriadas, pode contribuir para a intensificação sustentável da produção agrícola em cenários de vulnerabilidade climática e hídrica (TESTEZLAF, 2017).

Contudo, o aumento da demanda por água na irrigação tem gerado crescentes pressões sobre os recursos hídricos globais, afetando os fluxos ecológicos naturais e originando conflitos entre os interesses agrícolas e os esforços de conservação ambiental (XUE, REN; 2017).

### 3.6 Irrigação localizada por gotejamento

A irrigação localizada, especialmente na forma de gotejamento, tem se consolidado como uma alternativa eficiente e sustentável para o uso racional da água na agricultura, sobretudo em cenários de escassez hídrica (SANTOS ROCHA et al., 2024). Esse sistema se caracteriza pela aplicação de água em menor volume e em maior frequência, geralmente próximo ou dentro da zona radicular da planta, o que permite maior eficiência no uso dos recursos hídricos (FRIZZONE et al., 2012; FU et al., 2021).

No sistema de irrigação localizada por gotejamento, a água é levada sob pressão por tubos e aplicada diretamente ao solo, na área das raízes das plantas, com alta frequência e baixa intensidade (ASSAD, 2016). Além disso, requer menor potência da bomba por área irrigada ( $\text{cv ha}^{-1}$ ), quando comparada aos sistemas de aspersão (AMORIM, 2023).

Entre os principais benefícios do sistema de gotejamento estão a alta uniformidade na distribuição da água, a redução das perdas por evaporação e arraste pelo vento, e a minimização da percolação profunda (AMORIM, 2023). Essas características fazem com que o consumo de água seja significativamente reduzido, aumentando a eficiência hídrica das lavouras (GONÇALVES et al., 2025).

De acordo com Andrade et al. (2017) e Silva et al. (2018), a irrigação por gotejamento favorece a diminuição do aparecimento de doenças nas partes aéreas das plantas, uma vez que mantém a umidade concentrada no solo e longe das folhas. Essa condição, somada à precisão da aplicação da água e dos insumos, reduz o uso de defensivos químicos, resultando em uma prática agrícola mais sustentável. Conforme apontam Borssoi et al. (2012) e Soares et al. (2012), tal sistema oferece vantagens significativas como menor consumo de água, possibilidade de aplicação frequente, e elevado aproveitamento de fertilizantes, tornando-se uma estratégia promissora para o fornecimento adequado de água às culturas.

Apesar de seus benefícios, o sistema de irrigação localizada por gotejamento apresenta algumas limitações que contribuem para sua menor adoção em comparação a outros métodos. Entre os principais entraves estão o elevado custo de aquisição (MAZZI et al., 2023), a complexidade na implantação e no manejo em áreas extensas (NASCIMENTO, 2022), e a exigência de manutenção rigorosa (BISCARO, 2014). Além disso, há o risco de entupimento dos gotejadores (MONTEIRO, 2024), alterações na distribuição do sistema radicular das plantas (TESSLER, 2022), acúmulo de sais na superfície do solo e a necessidade de mão de obra especializada para sua operação e manutenção (STONE et al., 2017).

### 3.7 Irrigação por pulsos

A irrigação por pulsos destaca-se como uma técnica promissora para o uso eficiente da água na agricultura, especialmente em regiões áridas e semiáridas (ELHAKIM et al., 2021). Essa técnica consiste na aplicação da lâmina de irrigação diária de forma fracionada, em ciclos compostos por curtos períodos de irrigação, intercalados por fases de repouso. O processo se repete até que todo o volume de água previsto seja aplicado em uma série de ciclos (ALMEIDA, 2012).

A proposta da irrigação por pulsos foi inicialmente apresentada por Karmeli e Peri (1974), que a descreveram como uma alternativa para alcançar baixas taxas de aplicação de água em sistemas que utilizam emissores de alta vazão. Esses autores definiram a técnica como uma sucessão de ciclos com duas fases distintas: uma operatória e outra de repouso, permitindo que a aplicação da água se aproxime da capacidade de absorção das plantas.

Essa estratégia de irrigação é baseada, portanto, na redução da taxa de aplicação e no aumento da frequência de irrigação, o que proporciona maior uniformidade na distribuição da água no solo e reduz perdas por percolação profunda (EID et al., 2013; PHOGAT et al., 2013). Com isso, promove-se uma melhoria na eficiência do uso da água, sem comprometer o desenvolvimento e a produtividade das culturas.

No Brasil, pesquisas sobre a irrigação por pulsos têm apresentado resultados animadores. Zamora et al. (2019), ao estudarem a cultura do coentro, verificaram que a técnica proporcionou um aumento significativo na produtividade e uma economia de até 40% no volume de água utilizado durante o ciclo de cultivo. Tais resultados demonstram que essa modalidade de irrigação pode ser uma alternativa eficaz para o manejo racional da água em diferentes condições agrícolas.

Semelhantemente, estudos internacionais também têm evidenciado os benefícios da irrigação por pulsos. Elnesr et al. (2015), ao avaliarem o efeito da irrigação intermitente no cultivo de tomate na Arábia Saudita, observaram melhorias significativas na qualidade nutricional, no tamanho e no grau de maturação dos frutos. Esses resultados têm consolidado a irrigação por pulsos como uma solução técnica condizente com os desafios contemporâneos da agricultura, contribuindo tanto para a conservação dos recursos hídricos quanto para o aumento da eficiência produtiva em diferentes sistemas de cultivo (MENEZES, 2022).

### 3.8 Reuso de água

O reuso de águas residuárias na agricultura tem se consolidado como uma solução viável diante da crescente escassez de recursos hídricos. De acordo com a Resolução nº 54/2005 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos – CNRH (BRASIL, 2005), a água de reuso é definida como água residuária tratada que atende aos padrões exigidos para os usos pretendidos.

Diante do aumento da demanda por água na atividade agrícola e da crescente pressão sobre mananciais de boa qualidade, torna-se cada vez mais necessário recorrer a fontes alternativas de abastecimento (SOUSA et al., 2022). Nesse cenário, o reaproveitamento de águas residuárias surge como uma estratégia relevante para a gestão ambiental (CAVALCANTE et al., 2017; SANTOS et al., 2020). Além de seu caráter econômico, essa prática contribui para a conservação ambiental, considerando que a exaustão dos recursos hídricos pode trazer graves consequências para a sociedade (CRUZ, 2019). O reuso tem se mostrado eficaz tanto no enfrentamento da crise hídrica quanto na promoção de uma agricultura ambientalmente mais equilibrada (GONÇALVES SOBRINHO et al., 2024).

A literatura aponta experiências exitosas em países como Israel, Espanha e China (HENDGES et al., 2018), regiões que enfrentam níveis de escassez hídrica mais intensos do que o Brasil, e onde o uso de águas residuais tratadas é amplamente empregado na agricultura (BRASIL, 2005). No contexto brasileiro, embora ainda não exista uma legislação federal específica, há normas estaduais em vigor (RODRIGUES et al., 2023) e recomendações baseadas em diretrizes internacionais que orientam o uso seguro da água de reuso (MOURA et al., 2020; TZANAKAKIS et al., 2023).

Entre as principais vantagens dessa prática, destacam-se a diminuição da pressão sobre fontes convencionais de água doce (AMARAL; PEDREIRO, 2023), a economia na aplicação de fertilizantes (MELO NETO et al., 2023) devido à presença de nutrientes como nitrogênio (N) e fósforo (P), a melhoria das propriedades físico-químicas do solo e o aumento da produtividade agrícola. Além disso, o reuso contribui para a redução da carga de poluentes lançados nos corpos hídricos, promovendo a proteção dos ecossistemas aquáticos (AMARO, 2024).

Pesquisas conduzidas por Maimone e Harder (2014) e Souza et al. (2017) reforçam que, quando adequadamente tratada, a água de reuso pode fornecer nutrientes importantes para o crescimento vegetal. Já Oliveira et al. (2014) apontam que seu uso na irrigação é capaz de reduzir a necessidade de adubos químicos, melhorar a qualidade química do solo e elevar a produtividade das culturas.

Contudo, é imprescindível que essas águas sejam submetidas a tratamentos rigorosos antes do uso, uma vez que não são potáveis e, se utilizadas sem os devidos cuidados, podem conter substâncias tóxicas que representam riscos à saúde humana e ao meio ambiente (CHOJNACKA et al., 2020). Por isso, é necessário monitorar parâmetros como pH, condutividade elétrica, turbidez, sólidos suspensos, coliformes totais e *Escherichia coli*, a fim de assegurar sua segurança no uso agrícola (ERIKSSON et al., 2002).

## **4. METODOLOGIA**

### **4.1 Área experimental**

Os experimentos foram conduzidos em ambiente protegido no Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), na cidade de Recife – PE, cuja localização está nas coordenadas 8° 04' 03'' S e 34° 55' 00" O e altitude média de 5 m. A casa de vegetação (Figura 1) onde os experimentos foram realizados possui dimensões de 7 m de largura por 24 m de comprimento e 3 m de pé direito, com cobertura do tipo arco e filme de polietileno de baixa densidade com 150 µm de espessura, com tratamento contra a ação dos raios ultravioletas e com difusor de luz. A parte lateral e frontal são constituídas de telas de nylon, cor preta, com 50% de sombreamento e o piso foi revestido com uma manta geotêxtil (bidim).

**Figura 1** - Vista geral dos experimentos na casa de vegetação



Fonte: Autora

O plantio foi realizado em vasos com capacidade de 8 L e dimensões de 0,20 x 0,20 x 0,25 m de altura, o diâmetro da base menor e maior, respectivamente. Para o preenchimento dos vasos foi adicionada uma camada de brita com 1,312 kg e um disco de bidim, para auxiliar no processo de drenagem. Posteriormente os vasos foram preenchidos com 7 kg solo.

Foram utilizados dois tipos de solo em experimentos separados conduzidos simultaneamente, sendo o primeiro um Argissolo Amarelo Distrófico Abrupto oriundo do município de Carpina-PE e o segundo, um Espodossolo Humilúvico oriundo do município de Goiana-PE, ambos classificados segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Embrapa, 2018), os quais têm suas características físicas e químicas apresentadas nas tabelas 1 e 2, respectivamente.

**Tabela 1.** Caracterização físico-química do Argissolo Amarelo Distrófico Abrupto do Município de Carpina, PE

| Química                                       |                           |   |                  |                             |                  |                                |
|---|---------------------------|---|------------------|-----------------------------|------------------|--------------------------------|
| pH  | P                         | Ca <sup>+2</sup>                              | Mg <sup>+2</sup> | K <sup>+</sup>              | Al <sup>+3</sup> | H <sup>+</sup> Al <sup>+</sup> |
| H <sub>2</sub> O                              | mg dm <sup>-3</sup>       | -----cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ----- |                  |                             |                  |                                |
| 4,5   | 8                         | 1,60  | 1,00             | 0,18                        | 0,55             | 4,33                           |
| SB  | CTC                       | t   | Cu               | Fe                          | Mn               | Zn                             |
| -----cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ----- |                           | -----mg dm <sup>-3</sup> -----                |                  |                             |                  |                                |
| 2,78  | 7,11                      | 3,99  | 0,10             | 33,0                        | 9,27             | 1,08                           |
| V(%)  | M.O (g kg <sup>-1</sup> ) |   |                  |                             |                  |                                |
| 39,09   | 2,64                      |   |                  |                             |                  |                                |
| Física  |                           |   |                  |                             |                  |                                |
| Areia   | Silte                     | Argila  | CT               | Ds                          | Dp               | PT                             |
| ----- g kg <sup>-1</sup> -----                |                           | ---   | ---              | ----g cm <sup>-3</sup> ---- | -----%-----      |                                |
| 730   | 90                        | 180   | Franco arenoso   | 1,37                        | 2,52             | 45,60                          |

P= Fósforo; Ca<sup>2+</sup>= Cálcio; Mg<sup>2+</sup>= Magnésio; K<sup>+</sup>= Potássio; Al<sup>3+</sup>= Alumínio; CT= Classificação textural; PT = Porosidade Total; Ds= Densidade do solo; Dp= Densidade de partículas.

Fonte: Autora

**Tabela 2.** Caracterização físico-química do Espodossolo Humilúvico do Município de Goiana, PE

| Química  |                |                    |       |                               |                |      |      |
|--|----------------|--------------------|-------|-------------------------------|----------------|------|------|
| pH   | Cu             | Fe                 | Mn    | Zn                            | P              |      |      |
| H <sub>2</sub> O ----- mg dm <sup>-3</sup> ----- |                |                    |       |                               |                |      |      |
| 5,49   | 0,00           | 51,20              | 0,20  | 0,10                          | 2              |      |      |
| K  | Na             | Al                 | Ca    | Mg                            | H+Al+          | SB   | CTC  |
| ----- cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----   |                |                    |       |                               |                |      |      |
| 0,03   | 0,02           | 0,0                | 0,19  | 0,05                          | 7,38           | 0,29 | 7,67 |
| V  | C              | M.O                |       |                               |                |      |      |
| -----%-----                                      |                | g kg <sup>-1</sup> |       |                               |                |      |      |
| 3,78   | 1,63           | 2,81               |       |                               |                |      |      |
| Física   |                |                    |       |                               |                |      |      |
| AT   | AG             | AF                 | Silte | Argila                        | CT             |      |      |
| ----- %-----                                     |                |                    |       |                               |                |      |      |
| 84,87  | 57,64          | 27,23              | 8,9   | 6,2                           | Franco arenoso |      |      |
| PT   | Argila Natural | Grau Floculação    |       | Ds                            | Dp             |      |      |
| ----- %-----                                     |                |                    |       | -----g cm <sup>-3</sup> ----- |                |      |      |
| 49,67  | 0,41           | 93,33              |       | 1,36                          | 2,70           |      |      |

AT= Areia total; AG = Areia grossa; AF= Areia fina; CT= Classificação textural; PT= Porosidade total; Ds= Densidade do solo; Dp= Densidade de partículas; SB= Soma de bases trocáveis.

Fonte: Autora

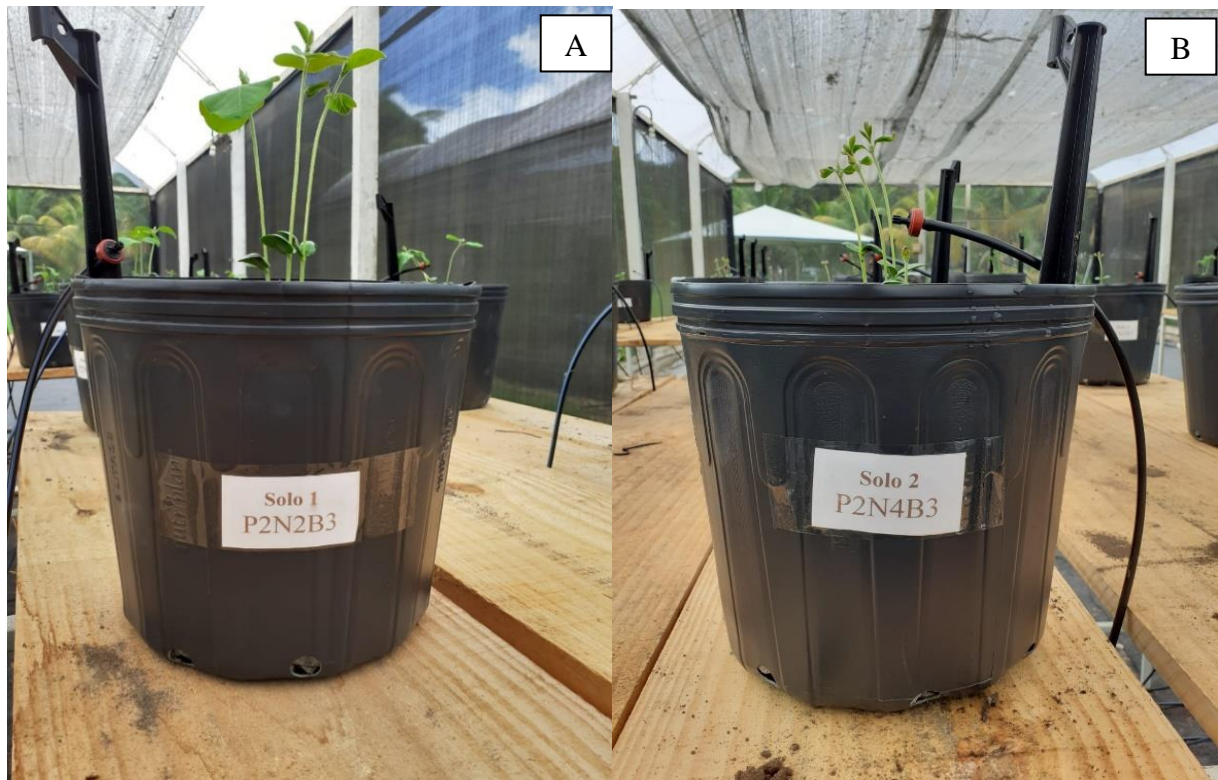
Os vasos foram postos sobre uma bancada com dimensões de 2,00 x 1,25 x 0,80 m de comprimento, largura e altura, respectivamente, obedecendo ao espaçamento de 0,20 x 0,50 m. Cada experimento continha 4 bancadas com 10 vasos cada, totalizando 8 bancadas com 80 vasos. Foi realizada a semeadura com três sementes por vaso da variedade de soja FT 1192, que é uma cultivar com hábito de crescimento determinado e reação negativa a peroxidase, sendo feito o desbaste 15 dias após a germinação, mantendo uma planta por vaso.

#### 4.2 Delineamento e Tratamentos

Os experimentos foram conduzidos em delineamento em blocos casualizados em esquema fatorial 5x2, com quatro repetições. Para o primeiro fator, houveram cinco níveis de diluição de esgoto doméstico tratado (EDT), sendo: N1 – 0% de EDT e 100% de água de

abastecimento; N2 – 25% de EDT e 75 % de água de abastecimento; N3 – 50% de EDT e 50% de água de abastecimento, N4 – 75% de EDT e 25 % de água de abastecimento e N5 – 100% de EDT e 0% de água de abastecimento. O segundo fator foi constituído pelos pulsos de irrigação, sendo: P1 – lâmina total em uma única aplicação (irrigação contínua) e P2 – lâmina de irrigação dividida em quatro aplicações (quatro pulsos) (Figura 2). Os pulsos de irrigação foram espaçados com intervalo de 30 minutos entre eles.

**Figura 2** – Unidade experimental em Solo 1, Pulso 2, Nível 2 e Bloco 3 (A) e Unidade experimental em Solo 2, Pulso 2, Nível 4 e Bloco 3 (B).



Fonte: Autora

Foi realizada a adubação convencional considerando a necessidade observada pela análise química do solo. Tratando-se de uma leguminosa, não é realizada adubação nitrogenada para a soja, fazendo-se a inoculação de bactérias fixadoras de nitrogênio. Em virtude de não haver recomendação de nitrogênio para a soja, aplicou-se o equivalente a 20 kg ha<sup>-1</sup> de N (sulfato de amônio), com base na recomendação do Instituto Agrônomo de Pernambuco - IPA para feijão irrigado, e 80 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (superfosfato simples) e 60 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O (cloreto de potássio), conforme manual de recomendação de adubação de soja para o Estado de Pernambuco (IPA, 2008).

### 4.3 Sistema e manejo da irrigação

O manejo da irrigação foi realizado via solo, sendo o cálculo da lâmina requerida realizada com base no balanço de água no solo, considerando a umidade na capacidade de campo ( $\Theta_{cc}$ ) como limite superior de disponibilidade hídrica. Deste modo, é importante considerar que, no momento de semeadura, todos os vasos estavam em máxima disponibilidade hídrica. Logo, por meio do princípio da lisimetria de pesagem, a cada 24 horas, a irrigação necessária foi determinada pela diferença entre o peso basal (peso do vaso com solo na capacidade de campo) e o peso atual (valores diários de peso dos vasos), com o auxílio de uma balança digital, considerando a equação a seguir:

$$IN = PB - PA$$

Em que, IN é a irrigação necessária, kg; PB é o peso basal, kg; PA é o peso atual, kg.

Para determinar o tempo de irrigação (TI), em horas, necessário em cada tratamento, após ser calculada a quantidade de água para irrigação necessária, em Kg, a mesma foi dividida pela vazão do emissor ( $2 \text{ L.h}^{-1}$ ), considerando a densidade da água ( $1 \text{ Kg/L}$ ) e, posteriormente, pelo número de horas do dia (24 h), conforme representado na equação a seguir:

$$TI = \left(\frac{IN}{2}\right) \div 24$$

A água residuária utilizada foi coletada na Estação de Tratamento de Esgoto Doméstico dos prédios da Zona 1 da UFRPE e transportada para área experimental em containers, sendo armazenada em reservatórios de capacidade de 250L. A Estação de Tratamento de Efluentes dispõe de processo de tratamento terciário e utiliza reator do tipo MBBR (Moving Bed Biofilm Reactor) na etapa biológica do sistema. A água residuária foi caracterizada mediante análises físico-químicas e bacteriológica segundo as recomendações da APHA (2017) que estão apresentadas na Tabela 3.

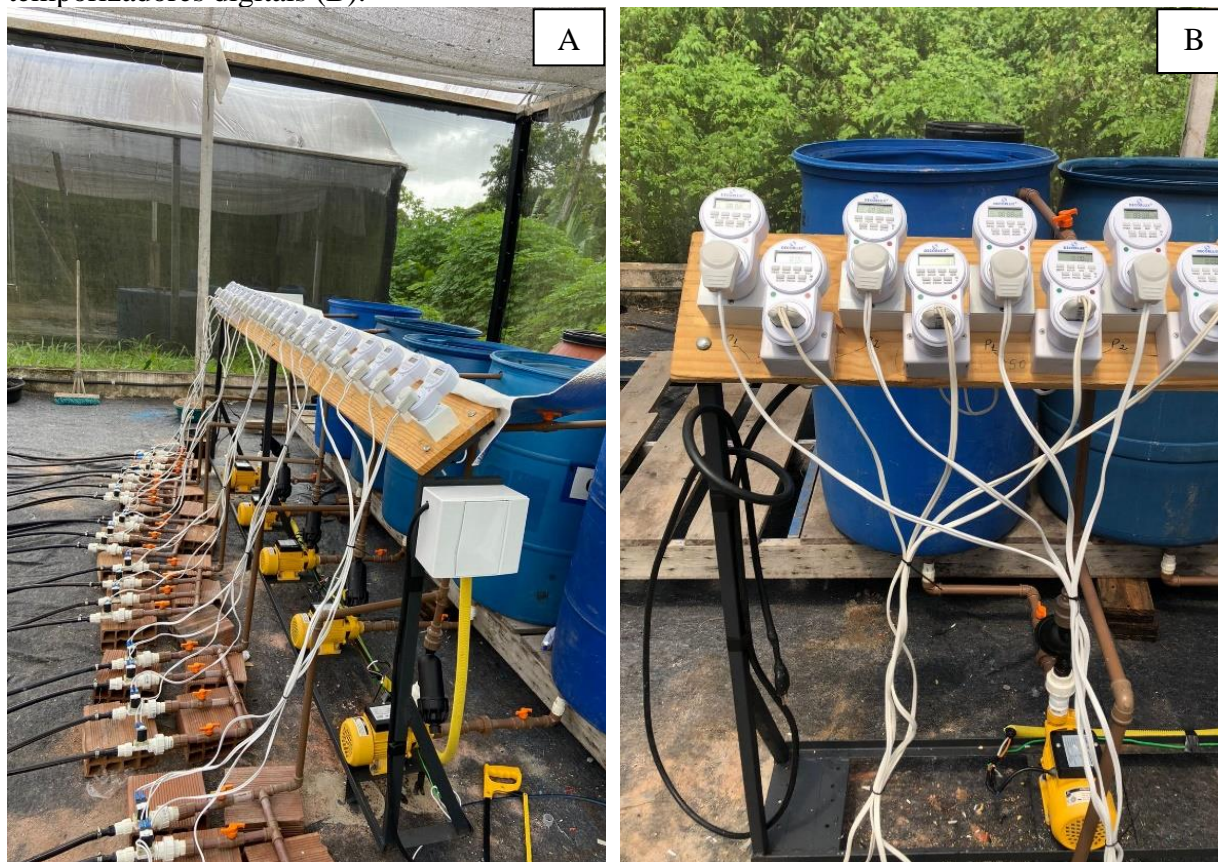
**Tabela 3.** Caracterização físico-química do efluente da ETE - UFRPE

| Parâmetro                            | Resultado                   |
|--------------------------------------|-----------------------------|
| Demanda Química de Oxigênio (DQO)    | 800 mg O <sub>2</sub> /L    |
| Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) | 222,39 mg O <sub>2</sub> /L |
| Nitrogênio Amoniacal                 | 19,61 mg/L                  |
| pH                                   | 4,3                         |
| Sólidos Fixos Totais                 | 562,5 mg/L                  |
| Sólidos Dissolvidos Totais           | 671 mg/L                    |
| Sólidos Totais Voláteis              | 382,5 mg/L                  |
| Alcalinidade de Bicarbonatos         | 0,0 mg/L CaCO <sub>3</sub>  |
| Alcalinidade de Carbonos             | 0,0 mg/L CaCO <sub>3</sub>  |
| Alcalinidade de Hidróxidos           | 0,0 mg/L CaCO <sub>3</sub>  |
| Alcalinidade Totais                  | 0,0 mg/L CaCO <sub>3</sub>  |
| Cálcio                               | 25,37 mg/L Ca               |
| Fósforo total                        | 9,29 mg/L P                 |
| Potássio                             | 52,38 mg/L K                |

Fonte: Instituto de Tecnologia de Pernambuco - ITEP (2023)

Para o fornecimento da água de irrigação foram utilizados cinco recipientes com capacidade de 200 litros para o armazenamento das frações de esgoto doméstico tratado. Sendo que para cada um desses recipientes foi utilizada uma motobomba de 0,5 cv. Nas saídas das tubulações de cada nível de diluição foram postas válvulas solenóides para o controle da irrigação, sendo a 1<sup>a</sup> e 3<sup>a</sup> – para irrigação contínua para o experimento 1 e 2 e a 2<sup>a</sup> e 4<sup>a</sup> – para irrigação pulsada para o experimento 1 e 2, respectivamente (Figura 3A). Foram utilizados temporizadores digitais (Figura 3B) para regular o tempo de cada pulso e controlar as válvulas correspondentes a P1 e P2 nos níveis de diluição de esgoto (N1, N2, N3, N4 e N5).

**Figura 3** – Cabeçal de controle do Sistema de irrigação com válvulas solenóides (A) e temporizadores digitais (B).



Fonte: Autora

A distribuição da água de irrigação foi feita com o uso de tubos PVC com diâmetro de 25 mm na linha principal e tubos de polietileno de 16 mm nas linhas de derivação nos quais se tinham conectados microtubos de polietileno de 3 mm com gotejador autocompensante de vazão  $2\text{L h}^{-1}$  na extremidade, para conduzir a água ao vaso.

#### 4.4 Análise dos parâmetros biométricos

Para análise de altura da planta (cm) utilizou-se uma trena e mediu-se semanalmente a distância da base da planta até o fim da última folha desenvolvida. Também foi medido semanalmente o diâmetro do caule (mm), a 10 cm de distância do solo, usando um paquímetro digital.

#### 4.5 Análise dos parâmetros produtivos

Para os componentes de produção, foi feita a contagem manual do número de vagens por planta (Figura 4A), do número de grãos por vagem e do número de grãos por planta (Figura 4B).

**Figura 4** – Contagem do número de vagem por planta (A) e número de grãos por planta (B)  
Fonte: Autora



A massa fresca da parte aérea da planta foi avaliada com auxílio de uma balança de precisão e depois conduzida à estufa a 65 °C por 72 horas, e em seguida pesada novamente em balança de precisão para fornecer a massa seca da parte aérea.

Para a análise da massa de mil grãos também se fez uso de uma balança de precisão e, posteriormente, estimado a produção por hectare conforme equação abaixo:

$$EP = \frac{PP \times NVP \times NGV \times MMG}{1000}$$

Em que: EP é a estimativa de produtividade, kg ha<sup>-1</sup>; PP é a população de plantas por hectare, considerando 300.000 plantas ha<sup>-1</sup>; NVP é o número de vagem por planta; NGV é o número de grãos por vagem; MMG é a massa de mil grãos, kg.

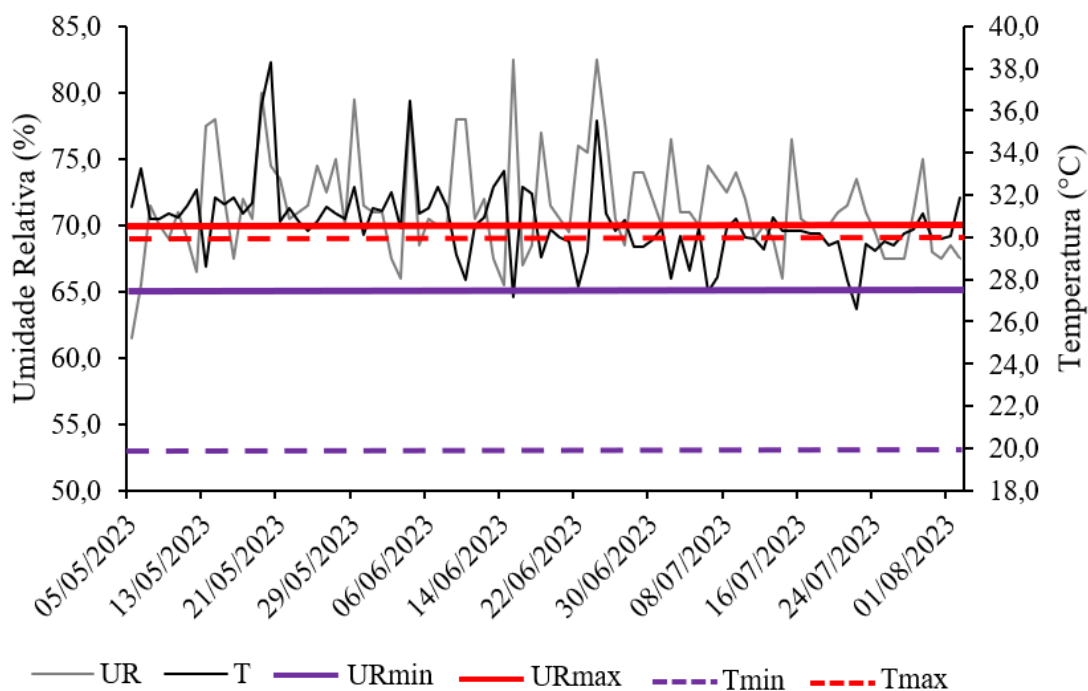
A eficiência do uso da água (EUA) foi obtida pela razão entre a massa seca da parte aérea da planta (g planta<sup>-1</sup>) e a quantidade de água consumida/aplicada em todo o ciclo (L), com o resultado expresso em kg m<sup>-3</sup>.

Os dados coletados foram submetidos a análise de variância (ANOVA), e quando significativos pelo teste de F ( $p < 0,05$ ) foram submetidos ao teste de comparação de médias de Tukey a 5% de probabilidade, através do software Sisvar.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 5 são apresentados os valores de temperatura e umidade relativa da casa de vegetação no respectivo período de manejo. O valor médio de temperatura foi de  $30,68^\circ$ , valor próximo ao da temperatura ideal para o desenvolvimento da soja, que segundo Campagnaro et al. (2025) é de 20 a  $30^\circ\text{C}$ . Já para umidade, a média foi de 71,55%, um pouco acima da faixa de umidade ideal para a cultura, que é entre 65% e 70% (DALMAGRO et al., 2019).

**Figura 5** – Monitoramento da temperatura e umidade relativa do ar da casa de vegetação durante a condução dos experimentos.



Na Tabela 4 pode-se observar o resumo da análise de variância para o experimento com o Argissolo Amarelo Distrófico Abrupto do Município de Carpina, PE.

**Tabela 4.** Análise de variância do experimento com Argissolo Amarelo Distrófico Abrupto do Município de Carpina, PE

| FV     | GL | QUADRADO MÉDIO         |                      |                       |                      |                        |                      |
|--------|----|------------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|------------------------|----------------------|
|        |    | AP                     | DC                   | PF                    | PS                   | NVP                    | NGV                  |
| N      | 4  | 167,7950 <sup>ns</sup> | 2,0733 <sup>**</sup> | 17,5710 <sup>**</sup> | 9,7230 <sup>**</sup> | 145,3500 <sup>**</sup> | 1,2875 <sup>**</sup> |
| P      | 1  | 165,2422 <sup>ns</sup> | 0,0302 <sup>ns</sup> | 17,8222 <sup>*</sup>  | 11,3742 <sup>*</sup> | 48,4000 <sup>ns</sup>  | 0,0250 <sup>ns</sup> |
| NxP    | 4  | 119,8060 <sup>ns</sup> | 0,1347 <sup>ns</sup> | 3,4305 <sup>ns</sup>  | 1,9236 <sup>ns</sup> | 17,4000 <sup>ns</sup>  | 0,0875 <sup>ns</sup> |
| Bloco  | 3  | 57,9789 <sup>ns</sup>  | 0,4664 <sup>ns</sup> | 2,4472 <sup>ns</sup>  | 0,5175 <sup>ns</sup> | 65,7333 <sup>**</sup>  | 0,1583 <sup>ns</sup> |
| Erro   | 27 | 357,0829               | 0,1839               | 2,7735                | 1,7027               | 12,7333                | 0,1768               |
| Total  | 39 |                        |                      |                       |                      |                        |                      |
| CV (%) |    | 14,82                  | 6,14                 | 7,68                  | 7,34                 | 23,48                  | 25,11                |

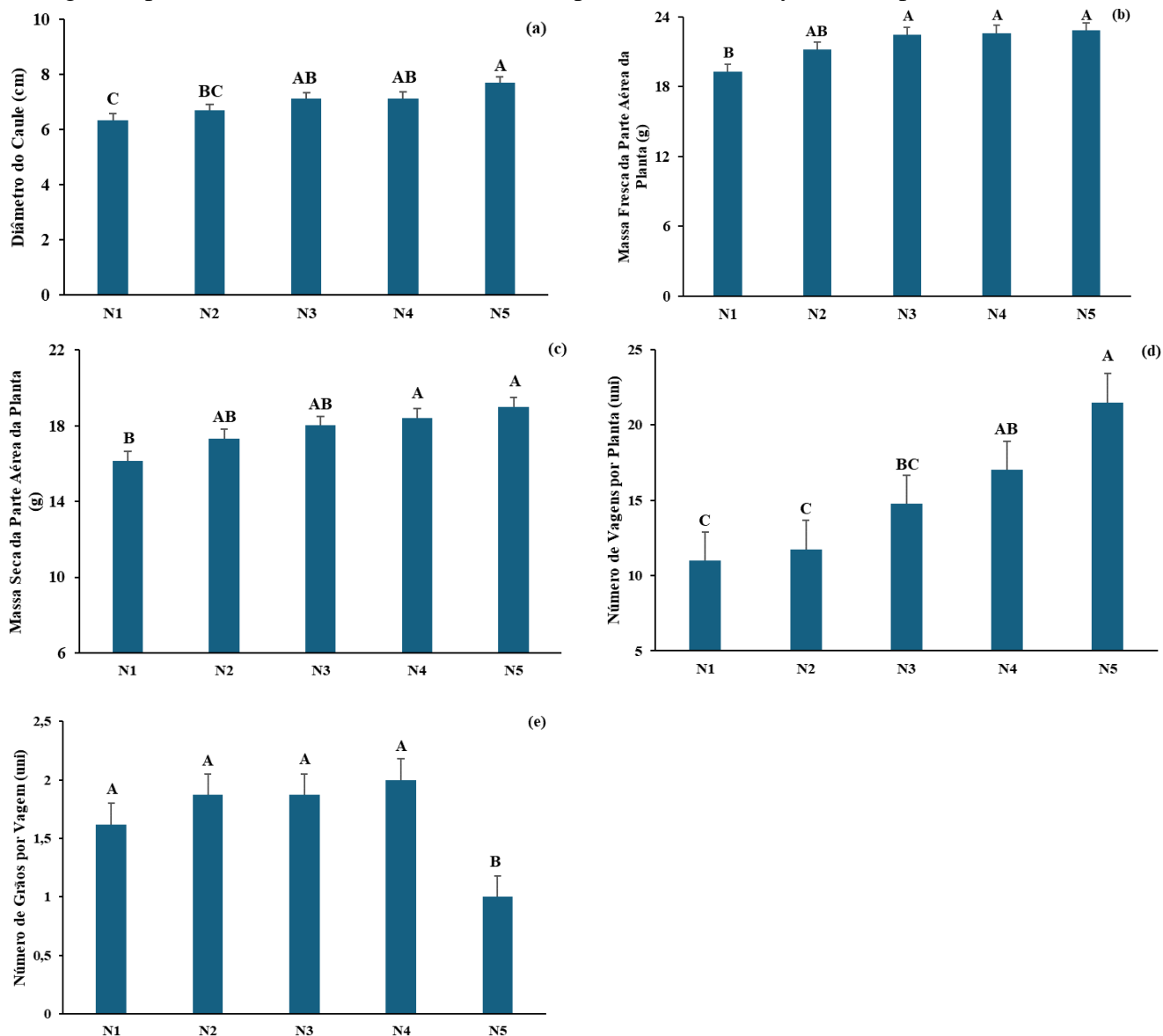
| FV     | GL | QUADRADO MÉDIO         |                       |                            |                       |
|--------|----|------------------------|-----------------------|----------------------------|-----------------------|
|        |    | NGP                    | MMG                   | PROD                       | EUA                   |
| N      | 4  | 243,6625 <sup>*</sup>  | 0,00314 <sup>ns</sup> | 474491,4909 <sup>ns</sup>  | 0,12604 <sup>ns</sup> |
| P      | 1  | 765,6250 <sup>**</sup> | 0,03782 <sup>**</sup> | 3573481,0179 <sup>**</sup> | 0,36902 <sup>ns</sup> |
| NxP    | 4  | 185,4375 <sup>*</sup>  | 0,00953 <sup>*</sup>  | 756231,6360 <sup>ns</sup>  | 0,02922 <sup>ns</sup> |
| Bloco  | 3  | 190,6916 <sup>ns</sup> | 0,00274 <sup>ns</sup> | 540686,2040 <sup>ns</sup>  | 0,24587 <sup>ns</sup> |
| Erro   | 27 | 66,1731                | 0,00309               | 340780,4839                | 0,09444               |
| Total  | 39 |                        |                       |                            |                       |
| CV (%) |    | 30,05                  | 49,55                 | 67,18                      | 21,20                 |

FV – Fonte de variação; GL – Grau de liberdade; N – Nível de diluição do EDT; P – Pulso; B – Bloco; CV – Coeficiente de variação; AP – Altura da planta; DC – Diâmetro do caule; PF – Massa fresca da parte aérea da planta; PS – Massa seca da parte aérea da planta; NVP – Número de vagem por planta; NGV – Número de grãos por vagem; NGP – Número de grãos por planta; MMG – Massa de mil grãos; PROD – Produtividade; EUA – Eficiência do uso da água; \* e \*\* - significativo a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente; ns – não significativo.

Para a variável altura da planta (Tabela 4) não houve significância em nenhum dos fatores. Esses resultados diferem do observado por Kummer et al. (2023) no cultivo de soja com efluente de esgoto tratado, onde as plantas que receberam a água residuária apresentaram um incremento de 23% em sua altura em comparação à parcela irrigada com água potável. De forma semelhante, Seron et al. (2015) ao cultivar pepino notaram que ao dividir a aplicação da lâmina de irrigação em pulsos, houve um incremento de 160% da altura da planta comparado a lâmina aplicada de uma vez.

Nota-se pela Tabela 4 que as variáveis diâmetro do caule, massa fresca e seca da parte aérea da planta, número de vagens por planta e número de grãos por vagem apresentaram significância para os níveis de diluição de EDT, isoladamente. Na Figura 6 pode-se observar os valores médios dessas variáveis.

**Figura 6** – Médias de Diâmetro do caule (cm) (a), Massa Fresca da Parte Aérea da Planta (g) (b), Massa Seca da Parte Aérea da Planta (g) (c), Número de Vagens por Planta (uni) (d) e Número de Grãos por Vagem (uni) (e) de soja cultivada em Argissolo Amarelo Distrófico Abrupto do Município de Carpina, PE, em função dos níveis de EDT. Médias  $\pm$  erro padrão seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.



Fonte: Autora

Para diâmetro do caule, as plantas que receberam N5 (100% de EDT) apresentaram as médias mais altas e as que receberam N1 (100% de água de abastecimento), médias mais baixas, diferente do encontrado por Oliveira et al. (2021), em que a irrigação com água de reuso tratada não proporcionou diferença significativa no diâmetro do caule de plantas de batata doce, comparado às parcelas irrigadas com água de chuva.

As amostras que receberam maiores concentrações de EDT demonstraram melhores valores de massa fresca e seca da parte aérea da planta, corroborando com o observado por

Sousa et al. (2024), onde as plantas de rabanete que receberam lâmina de 100% de diluição de esgoto tratado apresentaram melhor desempenho desses parâmetros que as outras que receberam menores diluições de esgoto tratado.

O número de vagens por planta diferiu apenas para o fator isolado níveis de diluição do esgoto. O tratamento N5 apresentou as maiores médias, enquanto a produção de vagens diminuiu proporcionalmente à medida que a diluição de EDT foi reduzida. O número de grãos por vagem também mostrou diferenças significativas para o fator isolado níveis de diluição do esgoto, todavia, o N5 obteve menores médias enquanto os outros tratamentos não diferiram estatisticamente e demonstraram maiores valores. Distintamente, Silva (2022) não notou influência da aplicação de doses de composto de lodo de esgoto no número de vagens e número de grãos por vagem de feijão.

Os pulsos de irrigação influenciaram os componentes de produção massa fresca e seca da parte aérea, número de grãos por planta e produtividade, conforme apresentado na Tabela 5.

**Tabela 5.** Teste de média para as variáveis de produção em função do pulso de irrigação para soja cultivada no Argissolo Amarelo Distrófico Abrupto do Município de Carpina, PE

|    | PF      | PS      | NGP     | PROD      |
|----|---------|---------|---------|-----------|
| P1 | 21,01 B | 17,24 B | 22,70 B | 570,08 B  |
| P2 | 22,34 A | 18,31A  | 31,45 A | 1167,86 A |
| EP | 0,37239 | 0,29178 | 1,81897 | 130,53361 |

\*Médias com letras distintas nas colunas diferem estatisticamente pelo teste de tukey a 5% de probabilidade de erro.

P1 – Irrigação contínua; P2 – Irrigação pulsada; PF – Massa fresca da parte área da planta (g); PS – Massa seca da parte área da planta (g); NGP – Número de grãos por planta (uni); PROD – Produtividade por hectare (kg ha<sup>-1</sup>); EP – Erro Padrão; S – Significância pelo teste tukey.

Para todos os parâmetros em que houve influência dos pulsos de irrigação, a irrigação dividida em quatro pulsos (P2) apresentou maiores médias. Isso corrobora com os resultados do estudo de Menezes (2022), que ao avaliar os efeitos de irrigação pulsada no cultivo de cana-de-açúcar observou um aumento de 20,6% no rendimento bruto de açúcar para as amostras que receberam irrigação por pulsos, em comparação as amostras irrigadas de forma contínua. A irrigação pulsada proporcionou um aumento de 104,86% na produtividade (Tabela 5) quando comparado à irrigação contínua. Costa et al. (2024) encontraram resultado semelhante ao estudar a produtividade de pimentão sob diferentes pulsos de irrigação, onde a irrigação dividida em maior quantidade de pulsos resultou em maiores valores de produtividade comparado às plantas que receberam irrigação contínua ou apenas dividida em duas frações.

Houve interação entre os fatores nível de diluição de EDT e pulsos de irrigação somente para os componentes de produção número de grãos por planta e massa de mil grãos. Dessa forma, deu-se o desdobramento e as médias estão apresentadas nas Tabelas 6 e 7.

**Tabela 6.** Desdobramento da interação dos fatores para o número de grãos por planta de soja no Argissolo Amarelo Distrófico Abrupto do Município de Carpina - PE, demonstrando o teste comparativo de média por Tukey.

| Pulsos de irrigação | Níveis de diluição de EDT |           |           |          |           | Médias |
|---------------------|---------------------------|-----------|-----------|----------|-----------|--------|
|                     | N1                        | N2        | N3        | N4       | N5        |        |
| P1                  | 20,50 Ab                  | 27,75 Aab | 33,00 Aab | 38,75 Aa | 37,25 Aab | 31,45  |
| P2                  | 19,25 Aab                 | 26,00 Aab | 25,00 Aab | 31,00 Aa | 12,25 Bb  | 22,70  |
| Médias              | 19,87                     | 26,87     | 29,00     | 34,87    | 24,75     |        |
| CV (%)              | 30                        |           |           |          |           |        |

\*Médias seguidas de letras distintas, maiúsculas nas colunas (níveis de diluição de EDT) e minúsculas nas linhas (pulsos de irrigação), diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Verificou-se que sob a irrigação contínua, os maiores valores médios de grãos por planta foram obtidos com N4, e os menores com N1, enquanto os outros tratamentos não diferenciaram estatisticamente entre si. De forma semelhante, as parcelas que receberam N4 também apresentaram maiores médias na irrigação pulsada, entretanto as menores médias se associam a N5. Comparando os níveis de EDT dentro de cada pulso, percebe-se que não houve diferença entre os tratamentos, exceto por N5 na irrigação pulsada, que revelou menores médias em relação às outras amostras. Esse resultado diverge do observado por Bermúdez et al. (2024) no cultivo de feijão-caupi irrigado com água cinza tratada, no qual as amostras submetidas à irrigação com água residual apresentaram maior produção total de grãos em comparação àquelas irrigadas com água de abastecimento.

**Tabela 7.** Desdobramento da interação dos fatores para a massa de mil grãos de planta de soja no Argissolo Amarelo Distrófico Abrupto do Município de Carpina - PE, demonstrando o teste comparativo de média por Tukey.

| Pulsos de irrigação | Níveis de diluição de EDT |          |          |          |          | Médias |
|---------------------|---------------------------|----------|----------|----------|----------|--------|
|                     | N1                        | N2       | N3       | N4       | N5       |        |
| P1                  | 0,11 Aa                   | 0,092 Aa | 0,082 Aa | 0,065 Aa | 0,057 Ba | 0,081  |
| P2                  | 0,112 Ab                  | 0,11 Ab  | 0,13 Aab | 0,12 Aab | 0,23 Aa  | 0,143  |
| Médias              | 0,111                     | 0,101    | 0,106    | 0,096    | 0,146    |        |
| CV (%)              | 49,55                     |          |          |          |          |        |

\*Médias seguidas de letras distintas, maiúsculas nas colunas (níveis de diluição de EDT) e minúsculas nas linhas (pulsos de irrigação), diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Avaliando-se o parâmetro massa de mil grãos, de acordo com o desdobramento da interação, para a irrigação contínua todos os níveis apresentaram valores iguais estatisticamente, porém, para a irrigação pulsada, N5 apresentou maiores médias de produção. Isso corrobora com o encontrado por Gomes (2019), que não notou diferença estatística na produção de massa de 100 grãos de milho comparando tratamentos que receberam irrigação contínua e em pulsos. Analisando a interação dentro dos níveis percebe-se que N5 exibiu resultados mais baixos na irrigação contínua, em oposição ao observado por Alves Neto et al. (2016) que obtiveram um aumento de 157,88 g no tratamento com água de abastecimento, para 163,36 em dose de 140 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> de água residuária de suinocultura no cultivo de soja.

Não houve diferenças estatísticas para os valores de eficiência do uso da água (Tabela 4) em nenhuma das variáveis. Esse resultado difere do observado por Silva (2022) no cultivo de cana-de-açúcar, onde a irrigação por gotejamento em pulsos forneceu um valor médio de EUA de 0,085 t ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>, ao passo que para a irrigação por gotejamento contínuo, o valor médio foi de 0,078 t ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>.

Na Tabela 8 pode-se observar o resumo da análise de variância para o experimento com o Espodossolo Humilúvico, oriundo do município de Goiana, PE.

**Tabela 8.** Análise de variância do experimento com Espodossolo Humilúvico oriundo do Município de Goiana, PE.

|        |    | QUADRADO MÉDIO         |                      |                       |                      |                       |                      |
|--------|----|------------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|
| FV     | GL | AP                     | DC                   | PF                    | PS                   | NVP                   | NGV                  |
| N      | 4  | 101,8833 <sup>ns</sup> | 2,3450 <sup>**</sup> | 13,1217 <sup>**</sup> | 4,3387 <sup>**</sup> | 67,6500 <sup>**</sup> | 0,6656 <sup>**</sup> |
| P      | 1  | 211,4160 <sup>*</sup>  | 0,2560 <sup>ns</sup> | 0,0490 <sup>ns</sup>  | 2,4552 <sup>**</sup> | 3,6000 <sup>ns</sup>  | 1,2250 <sup>**</sup> |
| NxP    | 4  | 95,1805 <sup>ns</sup>  | 0,8782 <sup>*</sup>  | 2,1016 <sup>ns</sup>  | 1,7086 <sup>**</sup> | 19,1000               | 0,1156 <sup>ns</sup> |
| Bloco  | 3  | 60,6247 <sup>ns</sup>  | 0,8915 <sup>ns</sup> | 3,4432 <sup>ns</sup>  | 1,3244 <sup>ns</sup> | 3,2333 <sup>ns</sup>  | 0,0750 <sup>ns</sup> |
| Erro   | 27 | 39,9745                | 0,3075               | 1,1836                | 0,4155               | 4,6962                | 00,0750              |
| Total  | 39 |                        |                      |                       |                      |                       |                      |
| CV (%) |    | 11,00                  | 12,37                | 8,46                  | 6,06                 | 23,68                 | 17,28                |

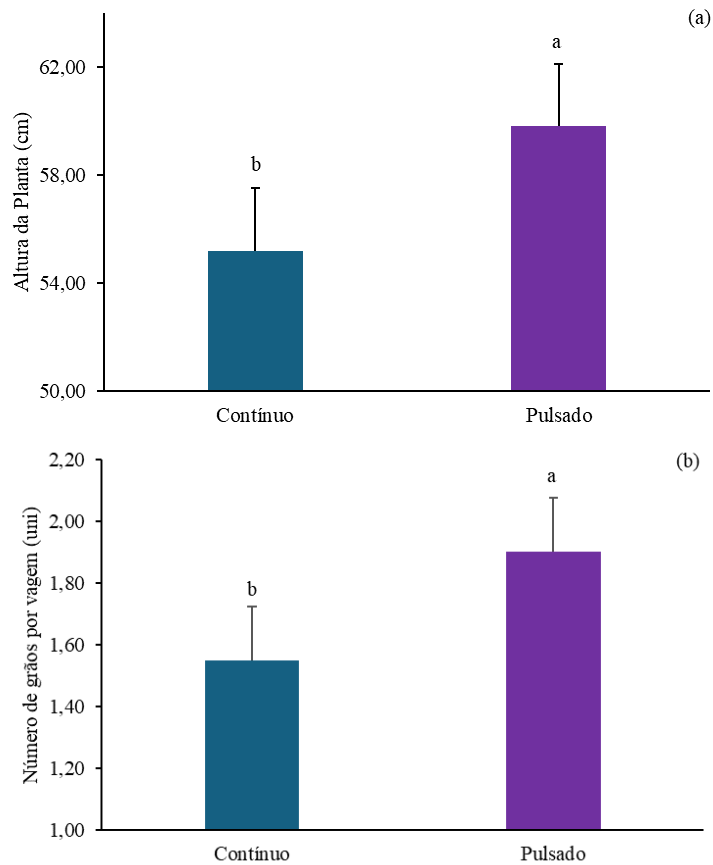
  

|        |    | QUADRADO MÉDIO         |                      |                           |                      |
|--------|----|------------------------|----------------------|---------------------------|----------------------|
| FV     | GL | NGP                    | MMG                  | PROD                      | EUA                  |
| N      | 4  | 149,6613 <sup>**</sup> | 0,0013 <sup>ns</sup> | 144896,5445 <sup>**</sup> | 0,2307 <sup>**</sup> |
| P      | 1  | 2,6677 <sup>ns</sup>   | 0,0000 <sup>ns</sup> | 115357,2662 <sup>**</sup> | 0,0117 <sup>ns</sup> |
| NxP    | 4  | 17,4845 <sup>ns</sup>  | 0,0002 <sup>ns</sup> | 70282,2641 <sup>**</sup>  | 0,1162 <sup>**</sup> |
| Bloco  | 3  | 6,9353 <sup>ns</sup>   | 0,0001 <sup>ns</sup> | 20469,5587 <sup>ns</sup>  | 0,0219 <sup>ns</sup> |
| Erro   | 27 | 11,0966                | 0,0007               | 6747,9671                 | 0,0129               |
| Total  | 39 |                        |                      |                           |                      |
| CV (%) |    | 23,28                  | 25,39                | 16,78                     | 12,57                |

FV – Fonte de variação; GL – Grau de liberdade; N – Nível de diluição do EDT; P – Pulso; B – Bloco; CV – Coeficiente de variação; AP – Altura da planta; DC – Diâmetro do caule; PF – Massa fresca da parte área da planta; PS – Massa seca da parte área da planta; NVP – Número de vagem por planta; NGV – Número de grãos por vagem; NGP – Número de grãos por planta; MMG – Massa de mil grãos; PROD – Produtividade; EUA – Eficiência do uso da água; \* e \*\* - significativo a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente; ns – não significativo.

Os pulsos de irrigação apresentaram significância para as variáveis altura da planta e número de grãos por vagem (Tabela 8). As médias de altura da planta estão dispostas na Figura 7 (a), e de número de grãos por vagem na Figura 7 (b).

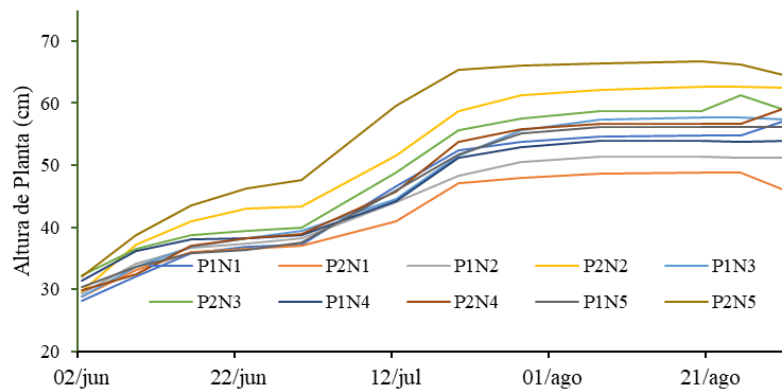
**Figura 7** - Média de altura da planta (a) e número de grãos por vagem (b) de soja cultivada em Espodossolo Humilúvico oriundo do Município de Goiana - PE, em função de pulsos de irrigação. Letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.



Fonte: Autora

Para ambas as variáveis, os tratamentos submetidos à irrigação fracionada em quatro pulsos apresentaram desempenho superior de 8,3% e 22,6% para altura da planta e número de grãos por vagem, respectivamente, em comparação com a irrigação contínua. Tal resultado está em consonância com o obtido por Gonçalves et al. (2025), que observaram maiores alturas em plantas de cana-de-açúcar irrigadas em quatro pulsos, em comparação àquelas submetidas a dois, três e cinco pulsos de irrigação. Resultados semelhantes foram relatados por Cruz et al. (2021) no cultivo de amendoim irrigado com água salobra, no qual a irrigação pulsada proporcionou maior número de vagens e grãos em relação à irrigação contínua. Na Figura 8 encontra-se a evolução da altura das plantas ao longo do ciclo. Observa-se que as plantas alcançaram altura máxima inferior a 70 cm. Contudo, de acordo com Sediyaama et al. (2009), o ideal para uma colheita mais eficiente é que a cultura apresente entre 70 e 80 cm de altura.

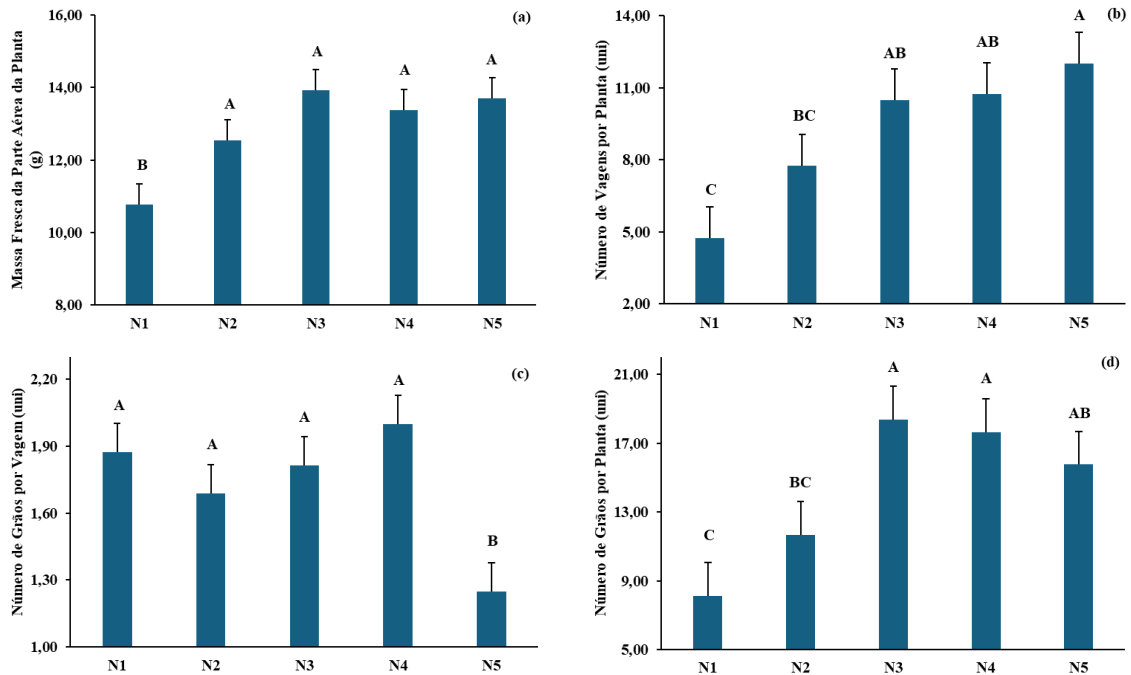
**Figura 8** – Evolução da Altura das Plantas ao longo do ciclo da cultura da soja cultivada no Espodossolo Humilúvico oriundo do Município de Goiana, PE.



Fonte: Autora

Os níveis de diluição de EDT foram particularmente significantes para massa fresca da parte aérea da planta, número de vagens por planta, número de grãos por vagem e número de grãos por planta, conforme pode-se observar na Tabela 8. Na Figura 9 pode-se observar os valores médios dessas variáveis.

**Figura 9** – Médias de Massa fresca da Parte Aérea da Planta (g) (a), Número de vagens por Planta (uni) (b), Número de Grãos por Vagem (uni) (c) e Número de Grãos por Planta (uni) (d) de soja cultivada em Espodossolo Humilúvico oriundo do Município de Goiana – PE, em função dos níveis de EDT. Médias  $\pm$  erro padrão seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.



Fonte: Autora

Em relação à massa fresca da parte aérea, não foram observadas diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos, com exceção do tratamento N1, que apresentou a menor média, com redução de 19,5% comparado a média dos demais tratamentos. Esse resultado diverge do encontrado por Nascimento et al. (2025), os quais relataram maior média de massa fresca total em mudas de mamão irrigadas com água de abastecimento em comparação àquelas irrigadas com água residuária proveniente de lavanderia pública.

Para número de vagens por planta, o tratamento N5 resultou nas maiores médias, na ordem de 12 vagens por planta, enquanto os tratamentos submetidos à menor diluição (N2) e à ausência de diluição de EDT (N1) apresentaram os menores valores, de 7,75 e 4,75 vagens por planta, respectivamente. Os demais tratamentos não diferiram estatisticamente entre si. Em contraste, Figueiredo (2013) não identificou diferenças significativas no número de vagens por planta de feijão ao comparar sistemas de irrigação com água de abastecimento e com água residuária tratada.

No que diz respeito ao número de grãos por vagem, N5 apresentou a menor produtividade, com redução de 32% comparado à média dos outros tratamentos, que por vez, não apresentaram diferenças estatísticas significativas entre si. Tal resultado contraria os obtidos por Melo (2017), que não observou diferenças significativas no número de grãos por vagem entre plantas irrigadas com água residuária e aquelas irrigadas com água potável.

Quanto ao número de grãos por planta, os tratamentos N3 e N4 destacaram-se por apresentarem as maiores médias de produção de 18,38 e 17,63, respectivamente, seguidos, em ordem decrescente, pelos tratamentos N5 (15,75), N2 (11,67) e N1 (8,13). Esses resultados corroboram os dados obtidos por Leonel (2022), que, ao avaliar o cultivo de trigo, verificou produção média de 8,64 grãos por vaso em plantas irrigadas com efluente doméstico, enquanto aquelas irrigadas com água de abastecimento apresentaram média de apenas 1,78 grãos por vaso.

Houve interação entre os fatores para os parâmetros diâmetro do caule, massa seca da parte aérea, produtividade e eficiência do uso da água (Tabela 8). Dessa forma deu-se o desdobramento da interação para cada uma dessas variáveis.

Com relação ao diâmetro do caule (Tabela 9), a irrigação contínua não promoveu diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos. No entanto, observou-se que as plantas submetidas ao nível de diluição N5 apresentaram os maiores valores médios, enquanto aquelas irrigadas com N2 obtiveram os menores. Os demais tratamentos não apresentaram diferenças entre si em função dos níveis de diluição da água. Na de irrigação pulsada, as plantas submetidas ao tratamento N1 foram negativamente influenciadas tanto pelo fracionamento da lâmina quanto pela qualidade da água utilizada, ao passo que as amostras irrigadas com N5 demonstraram melhor desempenho frente ao nível de diluição aplicado. Em contraste com esses resultados, Oliveira et al. (2021) não identificaram diferenças significativas no diâmetro do caule de plantas de batata-doce irrigadas com água de cisterna e água de reuso tratada.

**Tabela 9.** Desdobramento da interação dos fatores para diâmetro do caule (cm) de plantas de soja cultivada no Espodossolo Humilúvico oriundo do Município de Goiana - PE, demonstrando o teste comparativo de média por Tukey a 5% de probabilidade.

| Pulsos de irrigação | Níveis de diluição de EDT |          |          |          |         | Médias |
|---------------------|---------------------------|----------|----------|----------|---------|--------|
|                     | N1                        | N2       | N3       | N4       | N5      |        |
| P1                  | 4,36 ABa                  | 3,95 Ba  | 4,52 ABa | 4,82 ABa | 5,16 Aa | 4,56   |
| P2                  | 3,30 Cb                   | 4,64 ABa | 4,01 BCa | 4,71 ABa | 5,33 Aa | 4,40   |
| Médias              | 3,83                      | 4,29     | 4,26     | 4,77     | 5,24    |        |
| CV (%)              | 12,37                     |          |          |          |         |        |

\*Médias seguidas de letras distintas, maiúsculas nas colunas (níveis de diluição de EDT) e minúsculas nas linhas (pulsos de irrigação), diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Para massa seca da parte aérea (Tabela 10), no sistema de irrigação contínua, os tratamentos N2 e N5 apresentaram os menores valores médios correspondente a 9,98 e 10,50 g, enquanto os demais não diferiram estatisticamente entre si. Os diferentes níveis de diluição de EDT não influenciaram significativamente essa variável. Na irrigação fracionada, não foi observada influência dos pulsos sobre a massa seca da parte aérea. Contudo, as amostras irrigadas com água de abastecimento (N1) apresentaram as menores médias, cerca de 20,3% menor que a média dos demais tratamentos, que por vez, não mostraram diferenças estatísticas relevantes. Esses resultados contrastam com os obtidos por Almeida (2023), ao avaliar a produção de mudas de pimenta, em que as mudas irrigadas com água de abastecimento apresentaram maiores valores de massa seca da parte aérea, em comparação àquelas submetidas a diluições de água residuária proveniente de laticínio.

**Tabela 10.** Desdobramento da interação dos fatores para massa seca da parte aérea (g) de soja cultivada no Espodossolo Humilúvico oriundo do Município de Goiana – PE, demonstrando o teste comparativo de média por Tukey.

| Pulsos de irrigação | Níveis de diluição de EDT |          |          |          |          | Médias |
|---------------------|---------------------------|----------|----------|----------|----------|--------|
|                     | N1                        | N2       | N3       | N4       | N5       |        |
| P1                  | 9,76 Aa                   | 9,98 Ab  | 10,79 Aa | 10,82 Aa | 10,59 Ab | 10,39  |
| P2                  | 9,04 Ba                   | 11,37 Aa | 11,56 Aa | 10,61 Aa | 11,85 Aa | 10,88  |
| Médias              | 9,40                      | 10,68    | 11,18    | 10,72    | 11,22    |        |
| CV (%)              | 6,06                      |          |          |          |          |        |

\*Médias seguidas de letras distintas, maiúsculas nas colunas (níveis de diluição de EDT) e minúsculas nas linhas (pulsos de irrigação), diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

No que se refere à produtividade por hectare (Tabela 11), observa-se que o sistema de irrigação contínua exerceu efeito negativo sobre os tratamentos N3 e N5, que apresentaram

médias de 474,91 e 259,64 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Nesse sistema, as amostras submetidas ao tratamento N4 apresentaram a maior produtividade de 634,90 kg ha<sup>-1</sup>, cerca de 45,6% superior à média total dos tratamentos na irrigação contínua, seguidas, em ordem decrescente, pelos tratamentos N2, N3, N1 e N5. Por outro lado, na irrigação pulsada, os pulsos não exerceram influência significativa sobre a variável, no entanto, os níveis de água N3, N4 e N5 resultaram nas maiores produtividades, de 720,01, 672,07 e 615,67 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente, enquanto N2 e N1 apresentaram os menores valores, na faixa de 388,73 e 319,68 kg ha<sup>-1</sup>, na mesma ordem. Esses resultados corroboram os obtidos por Sousa et al. (2006), os quais verificaram maior produtividade em plantas de pimentão irrigadas com efluentes de reator UASB (26,89 kg ha<sup>-1</sup>), quando comparadas àquelas irrigadas com água de poço (15,27 kg ha<sup>-1</sup>).

**Tabela 11.** Desdobramento da interação dos fatores para produtividade por hectare (kg ha<sup>-1</sup>) de soja cultivada no Espodossolo Humilúvico oriundo do Município de Goiana – PE, demonstrando o teste comparativo de média por Tukey.

| Pulsos de irrigação | Níveis de diluição de EDT |            |            |           |           | Médias |
|---------------------|---------------------------|------------|------------|-----------|-----------|--------|
|                     | N1                        | N2         | N3         | N4        | N5        |        |
| P1                  | 320,83 BCa                | 488,87 ABa | 474,91 ABb | 634,90 Aa | 259,64 Cb | 435,83 |
| P2                  | 319,68 Ba                 | 388,73 Ba  | 720,01 Aa  | 672,07 Aa | 615,67 Aa | 543,23 |
| Médias              | 320,25                    | 438,80     | 597,46     | 653,48    | 437,66    |        |
| CV (%)              | 16,78                     |            |            |           |           |        |

\*Médias seguidas de letras distintas, maiúsculas nas colunas (níveis de diluição de EDT) e minúsculas nas linhas (pulsos de irrigação), diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Ao analisar o desdobramento para a eficiência do uso da água (Tabela 12), observa-se que, no sistema de irrigação contínua, as amostras que receberam N2 se destacaram, apresentando média de 1,05 kg m<sup>-3</sup>, aproximadamente 14% superior à média total nesse sistema, evidenciando influência tanto do tipo de irrigação quanto dos tipos de água utilizados. Por outro lado, no sistema de irrigação pulsada, apenas as amostras submetidas ao tratamento N2 demonstraram sensibilidade à variação dos pulsos. Quanto aos níveis de diluição de EDT, o tratamento N3 apresentou os melhores resultados médios (1,32 kg m<sup>-3</sup>), enquanto N1 resultou nas menores eficiências (0,59 kg m<sup>-3</sup>). Resultados semelhantes foram obtidos por Sandri et al. (2007), ao analisarem a eficiência do uso da água em plantas de alface, nas quais os tratamentos irrigados com água residuária apresentaram melhor eficiência do uso da água em comparação àqueles que utilizaram água proveniente de depósito de fonte superficial.

**Tabela 12.** Desdobramento da interação dos fatores para eficiência do uso da água ( $\text{kg m}^{-3}$ ) para soja cultivada no Espodossolo Humilúvico oriundo do Município de Goiana - PE demonstrando o teste comparativo de média por Tukey.

| Pulsos de irrigação | Níveis de diluição de EDT |          |          |          |          | Médias |
|---------------------|---------------------------|----------|----------|----------|----------|--------|
|                     | N1                        | N2       | N3       | N4       | N5       |        |
| P1                  | 0,81 Bb                   | 1,05 Aa  | 1,02 ABb | 0,88 ABa | 0,83 ABa | 0,92   |
| P2                  | 0,59 Ca                   | 0,74 BCb | 1,32 Aa  | 0,86 Ba  | 0,91 Ba  | 0,89   |
| Médias              | 0,70                      | 0,89     | 1,17     | 0,87     | 0,87     |        |
| CV (%)              | 12,57                     |          |          |          |          |        |

\*Médias seguidas de letras distintas, maiúsculas nas colunas (níveis de diluição de EDT) e minúsculas nas linhas (pulsos de irrigação), diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

## 6. CONCLUSÕES

No experimento utilizando o Argissolo Amarelo Distrófico Abrupto de Carpina - PE, a aplicação de 100% de EDT (N5) associado à irrigação pulsada proporcionou melhores resultados para variáveis como diâmetro do caule, massa fresca e seca da parte aérea, número de vagens por planta e produtividade por hectare, em comparação aos tratamentos com água de abastecimento. Esses resultados evidenciam que o uso integral de EDT, aliado à irrigação em pulsos, constitui estratégia promissora para o crescimento e produção de plantas de soja.

No experimento utilizando o Espodossolo Humilúvico oriundo de Goiana-PE, observou-se também melhor desempenho agrônômico com níveis intermediários a altos de EDT (notadamente N3 e N4), especialmente sob irrigação pulsada, nas variáveis número de grãos por planta, produtividade por hectare e EUA. Entretanto, para este solo, concentrações extremas de EDT, como o N5 utilizado, comprometeram o desenvolvimento de parâmetros como número de grãos por vagem e EUA. Portanto, verifica-se que para este solo, a utilização da irrigação pulsada com diluições de EDT configuram estratégia viável para crescimento e rendimento de soja.

## 7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante do exposto, conclui-se que a aplicação de esgoto doméstico tratado, em proporções adequadas e com manejo adequado da lâmina de irrigação (por meio da técnica de irrigação pulsada), constitui uma alternativa adequada e sustentável para o cultivo da soja, contribuindo tanto para a economia de água potável quanto para o reaproveitamento de recursos hídricos alternativos. No entanto, recomenda-se a realização de estudos de longo prazo, a fim de avaliar novas condições de pulsação (maiores números de pulsos, intervalo entre os pulsos),

avaliação da capacidade de toxidez dos elementos presentes no EDT e a utilização do EDT como complementação da adubação, com monitoramento da qualidade do solo e da planta, visando garantir a segurança ambiental e produtiva dessa prática.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (Brasil). **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2024** : informe anual / Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico.- Brasília : ANA, 2024.

Agência Nacional de Águas. **ANA conclui mapeamento da área com uso de água para cana-de-açúcar no Brasil**. 2019. Disponível em: <<https://www.ana.gov.br/noticias/anacoclui-mapeamento-da-area-com-uso-de-agua-para-cana-de-acucar-no-brasil>>. Acesso em 25 jun. 2025.

Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Atlas irrigação: Altas Irrigação e Tipologias de Irrigação**, 2021. Disponível em: <<https://portal1.snirh.gov.br/ana/apps/dashboards/911d339de2944eb79e4f0b8a96e65b8b>>. A cessado em 20 jun. 2025.

ALMEIDA , A. A. **PRODUÇÃO DE MUDAS DE PIMENTA IRRIGADAS COM ÁGUA RESIDUÁRIA DA INDÚSTRIA DE LATICÍNIOS**. Orientadora: Catariny Cabral Aleman. 2023. 38 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Agrícola e Ambiental) - Universidade Federal de Viçosa, VIÇOSA – MINAS GERAIS, 2023.

ALMEIDA, W. F. **Gotejamento por pulsos e cobertura do solo na formação do bulbo molhado e produtividade da alface americana**. 2012. 80 f. Tese (Doutorado em Engenharia de água e Solo) - Universidade Federal de Lavras, Lavras-MG. 2012.

ALMEIDA, W. F. et al. Gotejamento por pulsos e cobertura do solo na produtividade da alface-americana. **Engenharia Agrícola**, v. 35, n. 6, p. 1009-1018, 2015.

ALVES NETO, A. J. et al. Água residuária de suinocultura sobre a produtividade de soja e milho segunda safra: uso e viabilidade econômica. **Scientia Agraria Paranaensis**, [S.l.], v. 15, n. 3, p. 350–357, 2016.

AMARAL, S. S.; PEDREIRO, M. R. M. REDE COLETORA DE ESGOTO SUSTENTÁVEL: REUSO DOS EFLUENTES TRATADOS. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação**, v. 9, n. 10, p. 2828-2838, 2023.

AMORIM, D. M. **Irrigação por gotejamento subsuperficial no cultivo de *Megathyrsus maximus* (Syn. *Panicum maximum* Jacq.) cv. Mombaca**. 2023. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

AMARO, N. N. G. **SISTEMA COMPOSTO DE POLIESTIRENO: UMA ALTERNATIVA PARA TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS**. Orientador: Kepler Borges França. 2024. 84 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2024.

ANDRADE, G. S. G. **TECNOLOGIA DE IRRIGAÇÃO: VANTAGENS, IMPACTOS E PRINCIPAIS MÉTODOS**. Orientador: Bianca Silva Tavares. 2024. 25 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Química) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco, Barreiros, 2024.

ANDRADE, M.C. R. et al. Produção de tomate rasteiro por irrigação localizada, **Revista Saberes Uni AGES**, v. 1, n. 5, p. 18-22, jan./abr. 2017.

APHA, AWWA e WEF – AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION; AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION. **WATER ENVIRONMENT FEDERATION**. Standard methods: for the examination of water and waste water. 23.ed. Washington: American Public Health Association, 2017.

AQUINO, J. R. et al. Agricultura familiar no Nordeste: um breve panorama dos seus ativos produtivos e da sua importância regional. **Boletim Regional, Urbano e Ambiental**, n. 23, p. 97-110, 2021.

ASSAD, E. D. **Eficiência do uso da água no Brasil: análise do impacto da irrigação na agricultura brasileira e potencial de produção de alimentos face ao aquecimento global (relatório completo)**. São Paulo: GV AGRO. 2016.

BERMÚDEZ, V. et al. Uso de água cinza na irrigação de feijão Caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp) no Nordeste brasileiro. **Revista DAE**, v. 73, n. 248, p. 01-12, fev. 2024.

BISCARO, Guilherme Augusto. **SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO LOCALIZADA**. Dourados, MS: Ed. UFGD, 2014. 256 p.

BORSSOI, A. L. et al. Water application uniformity and fertigation in a dripping irrigation set. **Engenharia Agrícola**, v. 32, n. 4, p. 718-726, 2012.

BRAGA, E.T. **Poluidor-pagador, uma necessidade ambiental**. *Jus Navigandi*, Teresina, ano 6, n. 53, jan. 2002. Disponível em: <<https://jus.com.br/artigos/2494/poluidor-pagador-uma-necessidade-ambiental>>. Acesso em: 25 jun. 2025.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Programa de Ação Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca: PAN-Brasil**. Brasília: MMA, 2005. 242 p.

BRASIL. Relatório da UNESCO destaca águas subterrâneas como solução para crise hídrica. Organização das Nações Unidas. Brasil, 2022.

BRASIL. Resolução CNRH no 54, de 28 de novembro 2005. Estabelece modalidades, diretrizes e critérios para o reuso direto não potável de água, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, v. 3, n. 1, p. 31, 28 nov. 2005a. Seção 1, p. 31-36.

BRUNING, J. et al. Estimativa da curva de retenção de água no solo por função de pedotransferência. **Revista Cultura Agrônômica**, v. 28, n. 1, p. 97, 2019.

BUNHAK, A. C. S. **UNIFORMIDADE DE APLICAÇÃO DE LÂMINA E MANEJO DE IRRIGAÇÃO EM ROBUSTAS AMAZÔNICOS**. 2023. Orientador: Adjalma Campos de

França Neto, 57 f. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas Amazônicos) - UNIVERSIDADE FEDERAL DE RONDÔNIA. Rolim de Moura, 2023.

CAMPAGNARO, N. et al. A produtividade da soja e seu resultado associado às condições ambientais: revisão de literatura. **REVISTA OBSERVATORIO DE LA ECONOMIA LATINO AMERICANA**, v. 23, n. 1, p. 1-25, 2025.

CAVALCANTE, K. L. et al. Estudo das características restritivas dos efluentes das estações de tratamento de esgoto de Petrolina-PE para uso na agricultura irrigada. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 11, n. 2, p. 1331-1338, 2017.

CHOJNACKA, K. et al. A transition from conventional irrigation to fertigation with reclaimed wastewater: Prospects and challenges. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 130, p. 1-14, 2020.

COÊLHO, J. D. Agricultura: Soja. **Escritório Técnico de Estudos Econômicos do Nordeste – ETENE**, n. 327, 2024.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **7º Levantamento - Safra 2024/25**. Disponível em: <<https://www.gov.br/conab/pt-br/atuacao/informacoes-agropecuarias/safra/safra-de-graos/boletim-da-safra-de-graos/7o-levantamento-safra-2024-25/boletim-da-safra-de-graos>>. Acesso em: 20 jun. 2025.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Perspectiva para a agropecuária, safra 2023/24**. Brasília, v. 11, 137 p. 2023a.

CONTINI, E.; ARAGÃO, A. O Agro Brasileiro alimenta 800 milhões de pessoas. **Brasília: Embrapa**, 2021.

COSTA, R. H. et al. Produtividade e eficiência no uso da água do pimentão irrigado por pulsos. **CUADERNOS DE EDUCACIÓN Y DESARROLLO**, [S. l.], v. 16, n. 13, p. 01-15, nov. 2024.

COUTINHO, P. W. R. et al. Doses de fósforo na cultura do feijão-caupi na região nordeste do Estado do Pará. **Revista Agro@mbiente**, v. 8, n. 1, p. 66-73, 2014.

CRUZ, J. P. H. CRESCIMENTO E EFICIÊNCIA NO USO DA ÁGUA DE CAFEEIRO SUBMETIDO A ESTRATÉGIAS DE MANEJO DA IRRIGAÇÃO. Orientador: Eusímio Felisbino Fraga Júnior. 2019. 32 p. **Trabalho de Conclusão de Curso** (Graduação em Engenharia Agrônoma) - Universidade Federal de Uberlândia, Monte Carmelo, 2019

CRUZ, R. I. F. et al. PRODUCTIVITY OF IRRIGATED PEANUT PLANTS UNDER PULSE AND CONTINUOUS DRIPPING IRRIGATION WITH BRACKISH WATER. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 34, n. 1, p. 208 –218, jan./mar. 2021.

DALMAGRO, C. et al. Viabilidade de hibridações em soja em ambiente protegido e sem controle de temperatura e umidade. **Revista Cultivando o Saber**, p. 47-53. 2019.

DIAS, R.; MATOS, F. IMPACTOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NOS RECURSOS HÍDRICOS: DESAFIOS E IMPLICAÇÕES PARA A HUMANIDADE. **Revista Sociedade Científica**, [S. l.], v. 6, n. 1, p. 1571-1603, 2023.

EID, A. R. et al. Effect of pulse drip irrigation and mulching systems on yield, quality traits and irrigation water use efficiency of soybean under sandy soil conditions. **Agricultural Sciences**, v. 4, n. 5, p. 249-261, 2013.

EL-ABEDIN, T. Z. Effect of pulse drip irrigation on soil moisture distribution and maize production in clay soil. **New Trends in Agricultural Engineering**, v. 22, p. 1032- 1050, 2006.

ELHAKIM, A. et al. Effect use of pulsed deficit drip irrigation for tomato crop in greenhouse powered by solar energy. **Misr Journal of Agricultural Engineering**, v. 38, n. 1, p. 1-14, 2021.

ELNESR, M. N. et al. Evaluating the effect of three water management techniques on tomato crop. **PlosOne**, v. 10, n. 6, p. e0129796, 2015.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 5. ed., rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356 p.: il. color.

EMBRAPA. Soja em números (safra 2019/20). Disponível em: <https://www.embrapa.br/soja/cultivos/soja1/dados-economicos>. Acesso em: 20 jun. 2025.

ERIKSSON, E. et al. Characteristics of grey wastewater. **Urban water**, v. 4, n. 1, p. 85-104, 2002.

FAO. FAO's Global Information System on Water and Agriculture. Water use. 2021. Disponível em: <https://www.fao.org/aquastat/en/overview/methodology/water-use>. Acesso em: 20 jun. 2025.

FAO. The future of food and agriculture – Trends and challenges. Rome, 2017.

FEITOSA JÚNIOR, F. R. et al. Uso racional dos recursos hídricos por meio da tecnologia da inovação no cerrado brasileiro. **Natural Resources**, v. 11, n. 3, p. 105-110, 2021.

FIGUEIREDO, A. M. F. **VIABILIDADE DO USO DE ÁGUAS SUPERFICIAIS POLUÍDAS TRATADAS ATRAVÉS DE SISTEMAS DE WETLANDS CONSTRUÍDOS NO CULTIVO DO FEIJÃO**. Orientador: Carlos Alberto Vieira de Azevedo. 2013. 113 f. Tese (Doutorado em Recursos Naturais) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande - PB, 2013.

FINAMORE, E. B.; MONTROYA, M. A. O fluxo circular do consumo e do uso da água no Brasil e a demanda hídrica do agronegócio brasileiro. In: **Congresso SOBER - Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural**, n. 57, 2019, Ilhéus, 2019.

FRARE, T. T. **Desempenho de cultivares de soja (Glycine max) tratadas com fungicida isolado e combinado à inseticida e fertilizante**. 2020. 24 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG. 2020.

FRIZZONE, J. A. et al. **Microirrigação: gotejamento e microaspersão**. Maringá: Eduem, 2012

FU, B. et al. Effects of subsurface drip irrigation on alfalfa (*Medicago sativa* L.) growth and soil microbial community structures in arid and semi-arid areas of northern China. **Applied Soil Ecology**, v. 159, p. 103859, 2021.

GOMES, G. P. **INFLUÊNCIA DE GOTEJADORES COM SAÍDA DE ÁGUA TIPO FENDA E CILÍNDRICA NA INTRUSÃO RADICULAR EM IRRIGAÇÃO SUBSUPERFICIAL NA CULTURA DO MILHO**. Orientador: Hélio Grassi Filho. 2019. 68 p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Botucatu, 2019.

GOMES, M. R. EVOLUÇÃO E PERSPECTIVAS DE DESEMPENHO ECONÔMICO E PRODUÇÃO DA SOJA NOS CONTEXTOS BRASILEIRO E PARANAENSE. **(RE)DEFINIÇÕES DAS FRONTEIRAS**, v. 1, n. 2, p. 349-360, mai. 2023.

GONÇALVES, I. A. S. et al. Pulsos e intervalos de irrigação por gotejamento subsuperficial no crescimento da cana-de-açúcar. **REVISTA OBSERVATORIO DE LA ECONOMIA LATINOAMERICANA**, v. 23, n. 6, p. 01-27, 2025.

GONÇALVES SOBRINHO, L. G. et al. Produção de frutíferas e forragem de forma integrada irrigadas com água cinza tratada. **Cadernos de Agroecologia**, v. 19, n. 1, 2024.

HENDGES, L. T. et al. 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.

IPA - (INSTITUTO AGRONÔMICO DE PERNAMBUCO). **Recomendações de adubação para o estado de Pernambuco**. 3.ed revisada. Recife, 2008.

KARMELE, D.; PERI, G. Basic Principles of Pulse Irrigation. **Journal of the Irrigation and Drainage Division**, v. 100, n. 3, p.309-319, 1974.

KUMMER, A. C. B. et al. Resíduos de estação de tratamento de esgoto no cultivo de soja: influência no desenvolvimento da cultura. **Revista Brasileira de Ciência, Tecnologia e Inovação**, v. 8, n. 2, p. 156-164, 2023.

LEMOS FILHO, L.C.A. et al. Variabilidade espacial e estabilidade temporal do armazenamento de água em solo arenoso cultivado com videiras irrigadas. **Irriga**, Edição Especial, Grandes Culturas, p. 319-340, 2016.

LEONEL, L. P. **IMPACTO DO REÚSO AGRÍCOLA DE EFLUENTE DOMÉSTICO TRATADO E DESINFETADO NAS PROPRIEDADES DO SOLO E NA PRODUTIVIDADE DE UMA CULTURA DE TRIGO**. Orientador: Adriano Luiz Tonetti. 2022. 175 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS, Campinas, 2022.

LIMA, J. R. de; MAGALHÃES, A. R. Secas no Nordeste: registros históricos das catástrofes econômicas e humanas do século 16 ao século 21. **Revista Parcerias Estratégicas**, v. 23, n. 46, p. 191-212, 2018.

LOPES SOBRINHO, O. P. L. et al. A cultura da cana-de-açúcar (*saccharum officinarum*) e o manejo da irrigação. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 12, n.4, p. 1605-1625. 2019.

LORDELOS, A. S. B. et al. SEGURANÇA ALIMENTAR E SUSTENTABILIDADE: INOVAÇÃO E DESAFIOS PARA SISTEMAS DE PRODUÇÃO SUSTENTÁVEL. In: **CIÊNCIAS AGRÁRIAS: INOVAÇÕES, SUSTENTABILIDADE E DESAFIOS PARA O SÉCULO XXI**. Editora Científica Digital, 2025. p. 146-167.

MACEDO, M. F. S. Técnicas de irrigação, o desenvolvimento da agricultura e do agronegócio: uma análise à luz da proteção humana e da cidadania frente à crise hídrica nacional. **Campo Jurídico**, v. 3, n. 2, p. 39-54, 2015

MAIMONE, J. C. C; HARDER, M. N. C. Uso e conservação da água na produção de alimentos e energia. **Bioenergia em Revista: Diálogos**, v. 4, n. 2, p.1-26, 2014.

MATIAS , A. R G. **Alterações climáticas e desigualdades sociais no Alentejo: narrativas, representações e práticas sobre a seca e a água**. Orientador: Ana Isabel Oliveira Delicado. 2023. Tese (Doutorado em Alterações Climáticas e Políticas de Desenvolvimento Sustentável) - Universidade de Lisboa, Portugal, 2023.

MAZZI, J. V. C. et al. Agricultura de precisão no setor sucroalcooleiro do estado de São Paulo: vantagens, desvantagens e desafios. **Revista Gestão e Secretariado (GeSec)**, v. 14, n. 7, p. 11943-11959, 2023.

MELO, M. R. M. **DÉFICIT HÍDRICO APLICADO EM CULTIVARES DE FEIJÃO, NAS FASES VEGETATIVA E REPRODUTIVA, ASSOCIADO COM O USO DE ÁGUA RESIDUÁRIA**. Orientador: Antonio Evaldo Klar. 2017. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2017.

MELO NETO, J. M. N. et al. Análise econômica da cultura do milho em diferentes manejos de adubação com água residuária de suinocultura. **Brazilian Journal of Science**, v. 2, n. 3, p. 6-13, 2023.

MENEZES, S. M. **CULTIVO DE CANA-DE-AÇÚCAR SOB LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO PULSADO E CONTÍNUO**. Orientador: Gerônimo Ferreira da Silva. 2022. 146 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2022.

MONTEIRO, L. S. **Viabilidade econômica do cultivo de arroz irrigado por gotejamento com efluente tratado de laticínio**. Orientadora: Tamara Maria Gomes. 2024. 87 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Biosistemas) - Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2024.

MORAES, M. S. Análise do mercado da soja: parâmetros e ferramentas que influenciam na tomada de decisão dos produtores rurais em Cachoeira do Sul –RS. **Revista Eletrônica Científica da UERGS**, [S. l.], v. 1, n. 10, p. 1-4, 2021.

MOURA, P. G. et al. Água de Reúso: Uma alternativa sustentável para o Brasil. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 25, n. 6, p. 791-808, 2020

NASCIMENTO, G. N. **MÉTODOS DE IRRIGAÇÃO: TRADICIONAL E AUTOMATIZADA ATRAVÉS DA PLATAFORMA ARDUINO**. Orientadora: Virgínia de Fátima Bezerra Nogueira. 2022. 61 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) - Universidade Federal de Campina Grande, POMBAL - PB, 2022.

NASCIMENTO, M. T. C. C. et al. ÁGUA CINZA E ESTERCO BOVINO NO CULTIVO DE MUDAS DE MAMÃO. **Revista Verde**, [S. l.], v. 1, n. 7, p. 1-18, mai. 2025.

OLIVEIRA, A. F. M. et al. Teores de metais pesados em cambissolo irrigado com água residuária doméstica e água de poço. **Revista Ambiente & Água**, v. 9, n. 2, p. 302-312, 2014.

OLIVEIRA, L. C.C. et al. Desperdício de alimentos no Brasil: revisão narrativa de literatura. **Human and Social Development Review**, v. 3, n. 1, p. 01-09, 2022.

OLIVEIRA, R. C. et al. CRESCIMENTO E FITOMASSA DE BATATA-DOCE IRRIGADA COM ÁGUA RESIDUÁRIA TRATADA. **Irriga**, [S. l.], v. 1, n. 1, p. 97-109, 2021.

OLIVEIRA, T. F. et al. Reserve mobilization in soybean seeds under water restriction after storage. **Journal of Seed Science**, v. 42, n. 1, p. 1-8, 2020.

PELLISSARI, F.; COIMBRA, R. A. Sementes de soja esverdeadas: causas e consequências na qualidade fisiológica. **Scientific Electronic Archives**, [S. l.], v. 16, n. 4, p. 86-93, 2023.

PEREIRA, J. B. A. **Manual Prático de Irrigação**, EMTER-RJ, Niterói, 2014.

PHOGAT, V. et al. Evaluation of soil plant system response to pulsed drip irrigation of an almond tree under sustained stress conditions. **Agricultural Water Management**, v. 118, p. 1-11, 2013.

ROCHA, L. O. S. et al. EXPLORAÇÃO DO USO EFICIENTE DE RECURSOS HÍDRICOS NA AGRICULTURA: INVESTIGAÇÃO DE TÉCNICAS DE IRRIGAÇÃO E TECNOLOGIAS PARA A MINIMIZAÇÃO DO DESPERDÍCIO DE ÁGUA. **Revista Foco**, [S. l.], ano 2024, v. 17, n. 4, p. 01-18, 2024.

RODRIGUES, A. B. F. **AVALIAÇÃO DE UM SISTEMA COMERCIAL DE TRATAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA**. Orientador: Monica Pertel. 2017. 91 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.

RODRIGUES, L. N. et al. Agricultura irrigada: desafios e oportunidades para o desenvolvimento sustentável. 1 Ed. Brasília, DF: **INOVAGRI**, 2017.

RODRIGUES, L. M. A. et al. Withdrawal: Wastewater reuse: A global review focusing on opportunities and challenges for Brazil. **Water and Environment Journal**, v. 37, n. 4, p. 828-828, 2023.

SANDRI, D. et al. Desenvolvimento da alface Elisa em diferentes sistemas de irrigação com água residuária. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 11, n. 1, p. 17-29, ago. 2007.

SANTOS, A. S. et al.. A.Importância do reuso de água para irrigação no Semiárido. **Meio Ambiente (Brasil)**, v.2, n.3. p.15-20, 2020.

SANTOS, G.R.; SANTANA, A. S. **ÁGUA E IRRIGAÇÃO NO BRASIL E NA REGIÃO NORDESTE: ESTRUTURA E IMPORTÂNCIA PARA A AGRICULTURA FAMILIAR. In: Agricultura e diversidades: trajetórias, desafios regionais e políticas públicas no Brasil.** Brasília: Ipea, 2025. v. 2, cap. 2, p. 41-60.

SANTOS ROCHA, L. O. et al.. Exploração Do Uso Eficiente de Recursos Hídricos Na Agricultura: Investigação de Técnicas de Irrigação e Tecnologias Para a Minimização Do Desperdício de Água. **REVISTA FOCO**, v. 17, n. 4, p. 01-18, 2024.

SEDIYAMA, T. et al. Tecnologias de produção e usos da soja. Londrina: Ed. Mecenaz, 314.p, 2009.

SEDIYAMA, T. et al. **Soja: do plantio à colheita.** Ed. UFV, 2015.

SERON, C. C. et al. CRESCIMENTO DA CULTURA DO PEPINO IRRIGADO POR PULSOS. **IX EPCC – Encontro Internacional de Produção Científica UniCesumar**, n. 9, p. 4-8, 2015.

SETUBAL, I. S. **Marcha de absorção de nutrientes em soja sob adubação nitrogenada em regime hídrico pleno e deficitário.** 2021. Orientadora: Artenisa Cerqueira Rodrigues, 108 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2021.

SILVA, A. H. S. **Relações hídricas do amendoim irrigado com águas salobras sob gotejo pulsado e contínuo,** 2020. Orientador: Manassés Mesquita da Silva, 54 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2020.

SILVA, B. F.; CAVICHIOLI, F. A. O uso de veículos aéreos não tripulados para detecção de pragas e doenças na cultura da soja. **Revista Interface Tecnológica**, v. 19, n. 1, p. 236-247, 2022.

SILVA, E. R. A. C. et al. Consumo de água na irrigação para cultivo da bananeira nas condições edafoclimáticas da bacia do riacho do Pontal no Semiárido de Pernambuco. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 8, n. 3, p. 921-937, 2015.

SILVA, F. et al. **Soja: do plantio à colheita.** 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2022.

SILVA, F. G. et al. Tensão de água no solo para o reinício da irrigação de milho verdeno semiárido. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 17, n. 2, p. 190-200, 2018.

SILVA, F. M. **ANÁLISE DA APLICAÇÃO DA BIOMASSA RESIDUAL PROVENIENTE DA AGROINDÚSTRIA DA SOJA PARA PRODUÇÃO DE MATERIAIS RENOVÁVEIS POR MEIO DE PROCESSO PIROLÍTICO.** Orientador:

Luciana Rezende Alves de Oliveira. 2018. 97 f. Tese (Doutorado em Tecnologia Ambiental) - Universidade de Ribeirão Preto, São Paulo, 2018.

SILVA, F. M. B. et al. **Dessalinização de água como alternativa para minimizar a escassez hídrica no semiárido brasileiro**, In: **SILUSBA**, n. 14, 4 p., 2019.

SILVA, L. M. C. **Biometria e produtividade da cana-de-açúcar sob lâminas de irrigação aplicadas por gotejamento subsuperficial pulsado**. 2022. Orientadora: Ceres Duarte Guedes Cabral de Almeida, 58 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2022.

SILVA, M. B. **EFEITO RESIDUAL DO COMPOSTO DE LODO DE ESGOTO NA CICLAGEM E NO METABOLISMO DE NITROGÊNIO NA ROTAÇÃO FEIJÃO-Urochloa brizantha-SOJA EM SISTEMA PLANTIO DIRETO NO CERRADO**. Orientador: Thiago Assis Rodrigues Nogueira. 2022. 63 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA, São Paulo, 2022.

SILVA, S.; NEVES, E. **IMPORTÂNCIA DO MANEJO DA IRRIGAÇÃO**. **ENCICLOPEDIA BIOSFERA**, [S. l.], v. 17, n. 34, 2020.

SOARES, L. A. A. et al. Componentes de crescimento da mamoneira cultivada com águas salinas e doses de nitrogênio. **Irriga**, v. 1, n. 01, p. 40-54, 2012.

SOUSA, D. L. et al. O EXEMPLO DE ISRAEL: TÉCNICAS PARA O COMBATE À SECA NO ESTADO DO CEARÁ. **Revista Meio Ambiente e Sustentabilidade**, Curitiba, v. 11, n. 23, p. 72-88, 2022.

SOUSA, J. T. et al. Reúso de água residuária na produção de pimentão (*Capsicum annuum* L.). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v. 10, ed. 1, p. 89-96, 2006.

SOUSA, R. Í. G. et al. Influência da irrigação com efluente tratado nas variáveis morfofisiológicas da cultura do rabanete. **CUADERNOS DE EDUCACIÓN Y DESARROLLO**, Portugal, v. 16, n. 13, p. 01-28, 2024.

SOUZA, M. A. et al. Características biométricas e acúmulo de fitomassa da berinjela sob irrigação com água residuária e doses de nitrogênio e fósforo. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada - RBAI**, v. 11, n. 7, p. 1975-1985, 2017.

STONE, L.F. et al. **Métodos de Irrigação**. Brasília: Embrapa, 2017.

TAIZ, L. et al. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**. 6 ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 858 p.

TAYYAB, M. et al. Management options for large metropolitans on the verge of a water stress. **J. Human, Earth, Future**, v. 3, n. 3, p. 333-344, 2022.

TESCHE, J. R. **Avaliação de estratégias de comercialização da produção agrícola de soja pelos pequenos produtores em Santo Angêlo-RS**. 2022. Orientador: Glauco Shultz, 49 f.

TCC (Graduação) - Curso Bacharelado em Desenvolvimento Rural -PLAGEDER, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2022.

TESSLER, M. H. Irrigação por gotejamento: histórico e evolução tecnológica. In: PAOLINELLI, A.; DOURADO NETO, D.; MANTOVANI, E. C. (org.). *Agricultura irrigada no Brasil: ciência e tecnologia*. Cap. 3, p. 37-59, 2022.

TESTEZLAF, R. **Irrigação: Métodos, Sistemas e Aplicações**. Ed. Revisada. Não publicada. Campinas, SP: Faculdade de Engenharia Agrícola/UNICAMP 2017.

THE WHITE HOUSE OFFICE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY POLICY. Bold goals for U.S. biotechnology and biomanufacturing: harnessing research and development to further societal goals. Washington, DC: The White House, 2023.

TONATTO, M. **Potencial de rendimento de cultivares modernos de soja no sudoeste do Paraná**. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Tecnológica do Paraná (UTFPR). Pato Branco, 2020.

Torres, D. M. et al. TRATAMENTO DE EFLUENTES E PRODUÇÃO DE ÁGUA DE REÚSO PARA FINS AGRÍCOLAS. **HOLOS**, v. 8, p. 1-15, 2019.

TZANAKAKIS, V. A. et al. Insights into Global Water Reuse Opportunities. **Sustainability**, v. 15, n. 17, p. 13007, 2023.

VASCONCELOS, E.; SANTOS, F. EFICIÊNCIA PRODUTIVA E SUSTENTABILIDADE AGRÍCOLA: INTEGRAÇÃO DE DADOS QUANTITATIVOS PARA PLANEJAMENTO ESTRATÉGICO. **ARACÊ**, v. 6, n. 4, p. 11973-11996, 2024.

VINHAL-FREITAS, I. C. et al. Germinação e vigor de sementes de soja classificadas em diferentes tamanhos. **Agropecuária técnica**, v. 32, n. 1, p. 108-114, 2011.

XUE, J.; REN, L. Assessing water productivity in the Hetao Irrigation District in Inner Mongolia by an agro-hydrological model. **Irrigation Science**, v. 35, n. 4, p. 357-382, 2017.

WOOD, P.; TAVAN, M. A review of the alternative protein industry. **Current opinion in Food Science**, v. 47, p. 100869, out. 2022.

ZAMBIAZZI, E. V. et al. Desempenho agronômico e qualidade sanitária de sementes de soja em resposta à adubação potássica. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 40, n. 3, p. 543-553. 2017.

ZAMORA, V. R. O. et al. Pulse drip irrigation and fertigation water depths in the water relations of coriander. **Horticultura Brasileira**, v. 37, n. 1, p. 22-28, 2019.

ZAREI, Z. et al. Co-production of knowledge and adaptation to water scarcity in developing countries. **Journal of Environmental Management**, [s.l.], v. 262,, mai. 2020.