



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE**  
**CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS**  
**UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA AGRÍCOLA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA**  
**AGRÍCOLA**



**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**BENEFÍCIOS DA APLICAÇÃO DE QUITOSANA NO FEIJÃO-CAUPI IRRIGADO COM**  
**ÁGUA SALOBRA**

**LUCYELLY DÂMELA ARAÚJO BORBOREMA**

Campina Grande – PB

Março – 2024

LUCYELLY DÂMELA ARAÚJO BORBOREMA

Engenheira de Biosistemas

**BENEFÍCIOS DA APLICAÇÃO DE QUITOSANA NO FEIJÃO-CAUPI  
IRRIGADO COM ÁGUA SALOBRA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós- Graduação em Engenharia Agrícola do Centro de Tecnologia e Recursos Naturais da Universidade Federal de Campina Grande, como parte dos requisitos exigidos para obtenção do título de Mestra em Engenharia Agrícola. Área de Concentração: Irrigação e Drenagem.

ORIENTADORES: Prof. Dr. Hans Raj Gheyi

Prof. Dr. André Alisson Rodrigues da Silva

Campina Grande – PB

Março – 2024

B729b      Borborema, Lucyelly Dâmela Araújo.  
              Benefícios da aplicação de quitosana no feijão-caupi irrigado com  
              água salobra / Lucyelly Dâmela Araújo Borborema. – Campina Grande,  
              2024.  
              84 f. : il. color.

              Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade  
              Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais,  
              2024.  
              "Orientação: Prof. Dr. Hans Raj Gheyi, Prof. Dr. André Alisson  
              Rodrigues da Silva".  
              Referências.

              1. Irrigação e Drenagem. 2. Feijão-caupi – Cultira. 3. Estresse  
              Abiótico. 4. Salinidade. 5. BRStapaihum. I. Gheyi, Hans Raj. II. Silva,  
              André Alisson Rodrigues da. III. Título.

CDU 631.62/.67(043)



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE**  
POS-GRADUACAO EM ENGENHARIA AGRICOLA  
Rua Aprigio Veloso, 882, - Bairro Universitario, Campina Grande/PB, CEP 58429-900

## FOLHA DE ASSINATURA PARA TESES E DISSERTAÇÕES

**LUCYELLY DÂMELA ARAÚJO BORBOREMA**

**“BENEFÍCIOS DA APLICAÇÃO DE QUITOSANA  
NO FEIJÃO-CAUPI IRRIGADO COM ÁGUA  
SALOBRA”**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola como pré-requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola.

Aprovada em: 05/03/2024

Hans Haj Gheyi - Orientador(a) - PPGEA/CTRN/UFCG

André Alisson Rodrigues da Silva - Coorientador(a) - PDPG/UFCG

Geovani Soares de Lima - Examinador(a) Interno(a) - PPGEA/CTRN/UFCG

Francisco de Assis da Silva - Examinador(a) Externo(a) - PDPG/UFCG



Documento assinado eletronicamente por **Francisco de Assis da Silva, Usuário Externo**, em 16/04/2024, às 15:33, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **Hans Raj Gheyi, Usuário Externo**, em 16/04/2024, às 17:08, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **André Alisson Rodrigues da Silva, Usuário Externo**, em 16/04/2024, às 17:32, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **GEOVANI SOARES DE LIMA, PROFESSOR(A) DO MAGISTERIO SUPERIOR-VISITANTE**, em 17/04/2024, às 09:18, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).

---



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site <https://sei.ufcg.edu.br/autenticidade>, informando o código verificador **4363540** e o código CRC **9FA7E5BF**.

---

Referência: Processo nº 23096.010384/2024-38

SEI nº 4363540

Aos meus avós Noé Xavier da Cruz (*in memorian*) e Geni Borborema da Cruz (*in memorian*), por todo amor e cuidado durante os anos que Deus nos concedeu vivermos juntos, nunca esquecerei do zelo e paciência que tinham comigo, onde quer que eu vá levarei vocês em meu coração.

### **MINHA HOMENAGEM**

Aos meus pais Domício Borborema da Cruz (*in memorian*) e Lucinete Araújo de S. dos Santos, meu padrasto Adelson, minha irmã Dryelly Borborema e meu sobrinho Phyetto Kaynam por serem meu alicerce e me guiarem no caminho correto.

### **OFEREÇO**

Ao meu noivo Everton Alcântara, por sua paciência, seu cuidado comigo e por sempre me lembrar que sou capaz.

### **DEDICO**

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por colocar a sua mão protetora sobre minha vida e me dar forças para lutar todos os dias, sem a ajuda do Senhor eu nada seria e sei que todas as vezes que pensei em desistir foi Deus que me sustentou de pé.

Aos meus pais, Domício Borborema da Cruz (*in memoriam*) e Lucinete Araújo de S. dos Santos por me darem educação e coragem, por me mostrarem que com fé, força e determinação eu consigo conquistar meus sonhos.

Aos meus tios (Célia, Domingos, Fátima, Júnior, Lucicleide, Moisés e Zezito) por me motivarem a seguir os estudos e se sentir orgulhosa por cada conquista.

Agradeço de coração ao meu noivo Everton, por todo carinho, apoio, compreensão e amor, por sempre estar ao meu lado encorajando-me e mostrando que sou capaz, por muitas vezes me tranquilizar e me confortar nos momentos de tristeza.

Aos meus amigos de infância (Amanda, Andrew, Cristilani, Fernanda e Klebson), por sempre que possível me animarem e por acreditarem em mim, mesmo quando eu não acreditei.

Aos amigos que a pós me presenteou (Allesson, Denis, Edmilson, Kheila, Larissa, Thiago, Vitória Dantas, Vitória Régia e Wesley), agradeço por toda ajuda no experimento, pelos momentos de alegria, por tornar os dias na universidade mais leves. A minha parceira de caminhada e de moradia, Yanka, por sempre me apoiar e ser minha segunda família desde o tempo da graduação.

E em especial, meu muito obrigada aos meus orientadores Prof. Dr. Hans Raj Gheyi e Dr. André Alisson R. da Silva e ao Prof. Dr. Geovani Soares de Lima por todos os ensinamentos, pela paciência, por sempre sanar minhas dúvidas e sempre me ajudarem em todos os momentos que precisei.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq pela concessão da bolsa de estudo. Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola pela oportunidade de realização do curso. À Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), em especial a Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola (UAEA), pela disponibilidade de espaço para realização deste trabalho. A empresa Originalis® Biotech pelo fornecimento da quitosana e ao Laboratório de Ecofisiologia de plantas cultivadas (Ecolab) pelas sementes de feijão-caupi.

“Entrega o teu caminho ao Senhor, confia nEle, e  
Ele tudo fará.”

**Salmos 37:5**



## Sumário

	Pág.
<b>LISTA DE TABELAS</b>	viii
<b>LISTA DE FIGURAS</b>	x
<b>RESUMO</b>	xiii
<b>ABSTRACT</b>	xiv
<b>1 INTRODUÇÃO</b>	14
<b>2 OBJETIVOS</b>	16
2.1 Geral	16
2.2 Específicos	16
<b>3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	17
3.1 Cultura do feijão-caupi	17
3.1.1 Origem, aspectos botânicos e morfológicos do feijão-caupi	17
3.1.2 Importância econômica	19
3.2 Uso da água salobra na irrigação	19
3.3 Efeito da salinidade nas plantas	20
3.3.1 Efeito osmótico	21
3.3.2 Efeito iônico	22
3.4 Efeito da salinidade na cultura do feijão-caupi	22
3.5 Quitosana	23
<b>4 MATERIAL E MÉTODOS</b>	26
4.1 Localização do experimento	26
4.2 Tratamentos e delineamento experimental	26
4.3 Cultivar em estudo	27
4.4 Condução do experimento	27
4.5 Semeadura	28
4.6 Manejo de adubação	28
4.7 Preparo das águas e manejo de irrigação	29
4.8 Preparo da solução de quitosana	30
4.9 Controle fitossanitário	30
4.10 Variáveis analisadas	30

4.10.1 Parâmetros fisiológicos realizados aos 45 DAS	30
4.10.2 Variáveis de crescimento	33
4.10.3 Componentes de produção	34
4.10.4 Eficiência do uso da água	34
4.10.5 Tolerância	34
4.10.6 Acúmulo de fitomassa	35
4.11. Análise estatística	35
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	<b>36</b>
<b>6 CONCLUSÕES</b>	<b>65</b>
<b>7 REFERÊNCIAS</b>	<b>66</b>

## LISTA DE TABELAS

	Pág.
<b>Tabela 1.</b> Características químicas e físicas-hídricas do solo utilizado no experimento.....	28
<b>Tabela 2.</b> Consumo hídrico das plantas de feijão-caupi durante o período de condução da pesquisa.....	29
<b>Tabela 3.</b> Volume de calda de quitosana aplicado por planta aos 15, 30 e 45 dias após a semeadura (DAS).....	30
<b>Tabela 4.</b> Resumo da análise de variância referente ao conteúdo relativo de água (CRA) na folha e extravasamento de eletrólitos (EE%) no limbo foliar das plantas de feijão-caupi, irrigadas com água de diferentes níveis de condutividade elétrica e aplicação foliar de quitosana, aos 45 dias após a semeadura.....	36
<b>Tabela 5.</b> Resumo da análise de variância referente aos teores de clorofila <i>a</i> (Chl <i>a</i> ), clorofila <i>b</i> (Chl <i>b</i> ), clorofila <i>total</i> (Chl <i>t</i> ) e carotenoides (Car) das plantas de feijão-caupi irrigadas com água de diferentes níveis de condutividade elétrica e aplicação foliar de quitosana, aos 45 dias após a semeadura.....	38
<b>Tabela 6.</b> Resumo da análise de variância referente a fluorescência inicial ( $F_0$ ), fluorescência máxima ( $F_m$ ), fluorescência variável ( $F_v$ ) e eficiência quântica máxima do fotossistema II ( $F_v/F_m$ ) das plantas de feijão-caupi irrigadas com água de diferentes níveis de condutividade elétrica e aplicação foliar de quitosana, aos 45 dias após a semeadura.....	42
<b>Tabela 7.</b> Resumo da análise de variância referente ao comprimento de haste (CH), diâmetro de haste (DH), número de folhas (NF) e área foliar (AF) das plantas de feijão-caupi, irrigadas com água de diferentes níveis de condutividade elétrica da água de irrigação e concentrações de quitosana, aos 30 e 45 dias após a semeadura (DAS).....	45
<b>Tabela 8.</b> Resumo da análise de variância referente a taxa de crescimento relativo do comprimento de haste ( $TCR_{CH}$ ), diâmetro de haste ( $TCR_{DH}$ ) e área foliar ( $TCR_{AF}$ ) e taxa de crescimento absoluto do comprimento de haste ( $TCA_{CH}$ ), diâmetro de haste ( $TCA_{DH}$ ) e área foliar ( $TCA_{AF}$ ) das plantas de feijão-caupi, irrigadas com água de diferentes níveis de condutividade elétrica da água de irrigação e concentrações de quitosana, no período de 30 a 45 dias após a semeadura.....	51

<b>Tabela 9.</b> Resumo da análise de variância referente ao número de vagens por planta (NVP), comprimento médio de vagens (CMV), número de grãos por vagens (NGV), produção total de grãos por planta (PROG) e índice de grãos (IG) das plantas de feijão-caupi irrigadas com água de diferentes níveis de condutividade elétrica da água de irrigação e concentrações de quitosana, aos 60 dias após a semadura.....	55
<b>Tabela 10.</b> Resumo da análise de variância referente a eficiência do uso da água (EUA) e do consumo hídrico (CHI) das plantas de feijão-caupi irrigadas com água de diferentes níveis de condutividade elétrica da água de irrigação e concentrações de quitosana.....	59
<b>Tabela 11.</b> Resumo da análise de variância referente ao acúmulo de fitomassa seca da folha (FSF), do caule (FSC), da parte aérea (FSPA), da raiz (FSR) e relação raiz parte aérea (R/PA) das plantas de feijão-caupi irrigadas com água de diferentes níveis de condutividade elétrica da água de irrigação e concentrações de quitosana, aos 60 dias após a semadura.....	61

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
<b>Figura 1.</b> Temperatura (máxima, média e mínima) e umidade média relativa do ar da área interna da casa de vegetação durante o período experimental (13 de março a 30 de maio de 2023).....	26
<b>Figura 2.</b> Ilustração do enchimento dos vasos adaptados como lisímetros de drenagem.....	27
<b>Figura 3.</b> Conteúdo relativo de água - CRA na folha (A) e extravasamento de eletrólitos - EE% (B) das plantas de feijão-caupi em função da interação entre a condutividade elétrica da água de irrigação (CEa) e aplicações foliares de quitosana, aos 45 dias após a semeadura.....	37
<b>Figura 4.</b> Clorofila <i>a</i> - Chl <i>a</i> (A), clorofila <i>b</i> - Chl <i>b</i> (B), clorofila <i>total</i> - Chl <i>t</i> (C) e carotenoides - Car (D) das plantas de feijão-caupi, em função da interação entre a condutividade elétrica da água de irrigação (CEa) e aplicações foliares de quitosana, aos 45 dias após a semadura.....	40
<b>Figura 5.</b> Fluorescência inicial - F <sub>0</sub> (A) e eficiência quântica do fotossistema II - F <sub>v</sub> /F <sub>m</sub> (D) das plantas de feijão-caupi em função da interação entre a condutividade elétrica da água (CEa) de irrigação e concentrações de quitosana, fluorescência máxima - F <sub>m</sub> (B) e fluorescência variável - F <sub>v</sub> (C) das plantas de feijão-caupiem função da condutividade elétrica da água de irrigação aos 45 dias após a semeadura.....	44
<b>Figura 6.</b> Comprimento de haste de plantas de feijão-caupi em função dos níveis de condutividade elétrica da água de irrigação (A) e em função das concentrações de quitosana (B) aos 30 dias após o semeio; comprimento de haste (C) e diâmetro de haste (E) aos 45 dias após o semeio e diâmetro de haste (D) aos 30 dias apos a semeadura, das plantas de feijão-caupi em função da interação entre a condutividade elétrica da água de irrigação (CEa) e aplicações foliares de quitosana.....	47
<b>Figura 7.</b> Número de folhas (A, B) e área foliar (C, D) das plantas de feijão-caupi em função da interação entre a condutividade elétrica da água de irrigação (CEa) e aplicações foliares de quitosana, aos 30 (A, C) e 45 (B, D) dias após a semeadura.....	49
<b>Figura 8.</b> Taxa de crescimento relativo em diâmetro de haste - (TCR <sub>DH</sub> ) (A) e em área foliar - (TCR <sub>AF</sub> ) (B) das plantas de feijão-caupi em função da interação	

entre a condutividade elétrica da água de irrigação (CEa) e aplicações foliares de quitosana, no período entre 30 a 45 dias após a semeadura.....	54
<b>Figura 9.</b> Taxa de crescimento absoluto em comprimento de haste - (TCA <sub>CH</sub> ) (A), diâmetro de haste - (TCA <sub>DH</sub> ) (B) e área foliar - (TCA <sub>AF</sub> ) (C) das plantas de feijão-caupi em função da interação entre a condutividade elétrica da água de irrigação (CEa) e aplicações foliares de quitosana, no período entre 30 a 45 dias após a semeadura.....	53
<b>Figura 10.</b> Número de vagens por planta - NVP (A), comprimento médio de vagens - CMV (B) e número de grãos por vagens - NGV (C) das plantas de feijão-caupi em função da interação entre a condutividade elétrica da água de irrigação (CEa) e aplicações foliares de quitosana, aos 60 dias após a semeadura.....	56
<b>Figura 11.</b> Produção total de grãos por planta - PROG (A) e índice de grãos - IG (B) das plantas de feijão-caupi em função da interação entre a condutividade elétrica da água de irrigação (CEa) e aplicações foliares de quitosana, aos 60 dias após a semeadura.....	58
<b>Figura 12.</b> Eficiência do uso da água (EUA) - (A) das plantas de feijão-caupi em função da interação entre a condutividade elétrica da água de irrigação (CEa) e aplicações foliares de quitosana e consumo hídrico (CHI) - (B) em função da CEa das plantas de feijão-caupi.....	60
<b>Figura 13.</b> Fitomassa seca da folha - FSF (A), do caule - FSC (B) e da parte aérea - FSPA (C) das plantas de feijão-caupi em função da interação entre a condutividade elétrica da água de irrigação (CEa) e aplicações foliares de quitosana, aos 60 dias após a semeadura.....	62
<b>Figura 14.</b> Fitomassa seca da raiz - FSR (A) e relação raiz parte aérea - R/PA (B) das plantas de feijão-caupi, em função da interação entre a condutividade elétrica da água de irrigação (CEa) e aplicações foliares de quitosana, aos 60 dias após a semeadura.....	63

BORBOREMA, L. D. A. **Benefícios da aplicação de quitosana no feijão-caupi irrigado com água salobra**. 2024. 82p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais. Campina Grande, PB.

## RESUMO

Para garantir a produção agrícola com segurança, especialmente no semiárido do Nordeste brasileiro, em que existe escassez de água de baixa salinidade e os problemas de salinização de solo e água são frequentes, torna-se necessário o desenvolvimento de tecnologias que possibilitem o uso de águas salobras na irrigação. Sendo a utilização da quitosana uma alternativa para amenizar os efeitos deletérios da salinidade sobre as plantas. No presente estudo, objetivou-se avaliar os benefícios da aplicação de quitosana sobre o crescimento, fisiologia e componentes de produção do feijão caupi irrigado com água salobra. Os tratamentos foram arranjados em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial  $2 \times 5$ , sendo dois níveis de condutividade elétrica da água de irrigação – CEa (0,6 e 4,0  $\text{dS m}^{-1}$ ) e cinco concentrações de quitosana (0; 0,25; 0,50; 0,75 e 1,00  $\text{g L}^{-1}$ ) com quatro repetições e três plantas por parcela. Os efeitos dos tratamentos foram avaliados através da fisiologia (conteúdo relativo de água, extravasamento de eletrólitos, pigmentos fotossintéticos e fluorescência da clorofila *a*), crescimento (comprimento de haste, área foliar, diâmetro de haste, número de folhas, taxa de crescimento relativo e absoluto) e dos componentes de produção (número de vagens por planta, comprimento médio da vagem, número de grãos por vagem, produção de grãos e o índice de grãos). A irrigação com água de condutividade elétrica de 4,0  $\text{dS m}^{-1}$  afetou negativamente o conteúdo relativo de água, extravasamento de eletrólitos, crescimento, a síntese de pigmentos fotossintéticos, fluorescência da clorofila *a*, a produção de grãos e o acúmulo de fitomassa das plantas de feijão-caupi cultivar BRS Tapaihum. Entretanto, a aplicação foliar de quitosana entre as concentrações de 0,46 e 0,71  $\text{g L}^{-1}$  amenizou os efeitos deletérios da salinidade, reduzindo o extravasamento de eletrólitos e aumentando o conteúdo relativo de água, número de folhas, área foliar, a síntese de pigmentos fotossintéticos, eficiência fotoquímica, a produção de grãos por planta, o índice de grãos, bem como a relação raiz parte aérea. Considerando o percentual de perda de produção obtida na CEa de 4,0  $\text{dS m}^{-1}$  em comparação com plantas irrigadas com água de 0,6  $\text{dS m}^{-1}$ , o feijão-caupi foi classificado como sensível (diminuição > 60%) à salinidade da água de irrigação, com redução de 72,95%.

**PALAVRAS-CHAVE:** BRS tapaihum, elicitores, estresse abiótico, salinidade.

BORBOREMA, L. D. A. **Benefits of application of chitosan in cowpea irrigated with brackish water**. 2024. 82p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais. Campina Grande, PB.

### ABSTRACT

To ensure agricultural production with safety, especially in the semi-arid region of Northeastern Brazil, where there is a shortage of low-salinity water and issues of soil and water salinization are frequent, the development of technologies enabling the use of brackish water in irrigation becomes necessary. The use of chitosan is considered an alternative to minimize the deleterious effects of salinity on plants. The objective of present study was to assess the benefits of application of chitosan on the growth, physiology, and production components of cowpea irrigated with brackish water. Treatments were arranged in a completely randomized design, in a  $2 \times 5$  factorial scheme, with two levels of electrical conductivity of irrigation water – ECw (0.6 and 4.0 dS m<sup>-1</sup>) and five concentrations of chitosan (0; 0.25; 0.50; 0.75, and 1.00 g L<sup>-1</sup>), with four replicates and three plants per plot. The effects of treatments were evaluated on physiology (relative water content, electrolyte leakage, photosynthetic pigments and chlorophyll *a* fluorescence), growth (length of stem, leaf area, stem diameter, and number of leaflets) and production components (number of pods per plant, average pod length, number of grains per pod, grain yield, and grain index). Irrigation with water of electrical conductivity of 4.0 dS m<sup>-1</sup> negatively affected the relative water content, electrolyte leakage, growth, synthesis of photosynthetic pigments, chlorophyll *a* fluorescence, grain production, and phytomass accumulation of cowpea cultivar BRS Tapaihum. Nevertheless, the foliar application of chitosan between concentrations of 0.46 and 0.71 g L<sup>-1</sup> mitigated the deleterious effects of salinity, reducing the electrolyte leakage and increasing the relative water content, number of leaves, leaf area, synthesis of photosynthetic pigments, photochemical efficiency, grain production per plant, grain index, and root-shoot ratio. Considering the percentage of production loss obtained at ECw of 4.0 dS m<sup>-1</sup> compared to plants irrigated with water of 0.6 dS m<sup>-1</sup>, cowpea was classified as sensitive (decrease > 60%) to the salinity of the irrigation water, with reduction of 72.95%.

**Key words:** BRS tapaihum, elicitors, abiotic stress, salinity.



## 1 INTRODUÇÃO

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.), é uma leguminosa intimamente relacionada ao consumo humano devido às importantes propriedades nutricionais de seus grãos, tais como: alto teor de proteínas (20-29%), amido (56-74%), vitaminas, minerais e fibras alimentares, além de possuir uma pequena quantidade de lipídio (2%) (Jayathilake et al., 2018; Gondwe et al., 2019).

A Nigéria e o Niger são os maiores produtores de feijão-caupi no mundo, sendo o Brasil o terceiro maior produtor, com produção de 632,2 mil toneladas na safra de 2021/2022, sendo a região Nordeste responsável por 65,93% da produção nacional, tendo como principais produtores os estados da Bahia (113,5 mil toneladas), do Ceará (103,5 mil toneladas) e Piauí (83,5 mil toneladas), tendo o estado da Paraíba com produção de 24,7 mil toneladas (Conab, 2022).

A exemplo disto, tem-se a cultivar BRS Tapaihum, que possui como característica tegumento preto, porte ereto e crescimento semi-determinado, cultivada em áreas irrigadas e de sequeiro da Bahia, Pernambuco e Piauí, com ampla adaptação e boa previsibilidade produtiva (Almeida et al., 2019). De acordo com Santos (2011), em termos de desempenho produtivo, a cultivar BRS Tapaihum produz em geral 1415 kg ha<sup>-1</sup>, variando entre 1183 kg ha<sup>-1</sup> em condições de sequeiro e 1619 kg ha<sup>-1</sup> em ambientes irrigados, superando a produção de grãos das cultivares BRS Marataoã e BRS Canapu. Além do mais, possui alta tolerância de campo às viroses do mosaico dourado, do mosaico severo e do *Potyvirus*.

O Nordeste se caracteriza por sua variação nas condições climáticas, possuindo restrições hídricas que são capazes de influenciar a produtividade de determinadas culturas (milho, algodão, feijão, dentre outras) podendo inibir a germinação, o estabelecimento das plantas, reduzir o crescimento vegetativo e a produção de grãos (Cavalcante, 2021; Borborema et al., 2022; Oliveira et al., 2023).

A prática da irrigação permite a produção agrícola durante todo o ano, porém, devido a disponibilidade de água com baixas concentrações de sais não ser suficiente para a agricultura irrigada, as águas com altas concentrações de sais são usadas em períodos de escassez, como a exemplo das águas salobras (Carvalho et al., 2020; Silva et al., 2022a).

O uso de águas salobras na irrigação pode ocasionar o estresse salino, limitando a absorção de água e nutrientes minerais pelas plantas, afetando o metabolismo, a expansão

celular e a produção de fotoassimilados, assim, prejudicando o crescimento e reduzindo o rendimento das culturas (Guilherme et al., 2021; Sousa et al., 2021). Para resolver tal problemática, é necessário encontrar cultivares tolerantes e/ou usar estratégias de manejo que reduzam o impacto do estresse salino sobre as plantas (Goes et al., 2021).

Dentre os estimulantes que são utilizados como estratégias de manejo na agricultura, tem-se a quitosana, um polímero linear não ramificado de  $\beta$ -1,4-d-glucosamina considerado um estimulante não tóxico e biodegradável (Malerba; Cerana, 2018; Hassan et al., 2021), obtido a partir do processo de desacetilação da quitina, um copolímero de N-acetil-d-glucosamina e d-glucosamina (Rolim et al., 2018). Vem se destacando como um material biocompatível com aplicações potenciais em diversas áreas, inclusive na agricultura, em que, o uso da quitosana demonstrou ter um impacto positivo no crescimento e desenvolvimento das plantas, particularmente sob condições de estresse, como a exemplo do estresse salino (Junedi et al., 2023).

O uso da concentração adequada de quitosana pode efetivamente reduzir os efeitos adversos que o estresse salino proporciona e, aumentar o crescimento das plantas e/ou seu rendimento (Safikan et al., 2018), conforme relatado no feijão (Sen; Mandal, 2016), no milho (Turk, 2019), arroz (Garude et al., 2019), cártamo (Golkar et al., 2019), estévia (Gerami et al., 2020), girassol (Bakhoun et al., 2020) e tomateiro (Hernández et al., 2018; Ullah et al., 2020).

Desta forma, este estudo baseia-se na hipótese de que a aplicação foliar de quitosana em concentrações adequadas atenua os efeitos deletérios causados pela irrigação com águas salobras sobre a fisiologia, o crescimento e a produção de grãos do feijão-caupi cultivar BRS Tapaihum, induzindo a tolerância das plantas ao estresse salino. Diante disso, estudos a respeito do uso da quitosana na indução da tolerância do feijão-caupi na região semiárida do Nordeste é de grande importância, tendo em vista que uso de quitosana pode ser uma estratégia promissora capaz de atuar nos mecanismos de defesa das plantas, estimular o seu crescimento e rendimento.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Geral**

Avaliar os benefícios da aplicação de quitosana sobre a fisiologia, o crescimento e os componentes de produção do feijão caupi irrigado com água salobra.

### **2.2 Específicos**

Quantificar o conteúdo relativo de água, o extravasamento de eletrólitos, os teores de pigmentos fotossintéticos e a fluorescência da clorofila *a* do feijão-caupi cv. BRS Tapaihum submetidos a aplicações de quitosana e dois níveis de condutividade elétrica da água de irrigação.

Avaliar as alterações no crescimento do feijão-caupi cv. BRS Tapaihum em função da condutividade elétrica da água de irrigação e da aplicação de quitosana.

Avaliar a eficiência do uso da água e o consumo hídrico das plantas de feijão-caupi cv. BRS Tapaihum em função da aplicação de quitosana e dois níveis de condutividade elétrica da água de irrigação.

Determinar a tolerância relativa do feijão-caupi cv. BRS Tapaihum submetidos a aplicação de quitosana e dois níveis de condutividade elétrica da água de irrigação.

Avaliar a formação de fotoassimilados de feijão-caupi cv. BRS Tapaihum, submetidos a aplicação de quitosana e dois níveis de condutividade elétrica da água de irrigação.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 Cultura do feijão-caupi

##### 3.1.1 Origem, aspectos botânicos e morfológicos do feijão-caupi

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.), é conhecido também como feijão-de-corda, feijão-miúdo, feijão-fradinho, feijão-frade ou feijão-macassá, é uma leguminosa que pertence à família Fabaceae e nativa da África Central, cultivada principalmente nas áreas secas dos trópicos na América Latina, África e sul da Ásia, é uma espécie autógama, herbácea e anual e se destaca pelo seu alto potencial produtivo, o qual caracteriza grandes atributos à cultura (Gupta et al., 2019). Seus grãos são especialmente ricos em nutrientes que podem ser incorporados à dieta da população, como forma de prevenir deficiências causadas pela falta de minerais (Dias-Barbosa et al., 2021).

O feijão-caupi é uma planta de ciclo anual que apresenta crescimento vigoroso durante a estação quente. Seu cultivo é recomendado em faixa de temperatura que varia de 18 a 34 °C, sendo que a temperatura ideal é em torno de 28 °C (Craufurd et al., 1996).

Essa planta é classificada principalmente como uma planta de dias curtos. A massa de sementes do feijão-caupi varia de 80 a 320 mg por semente, e suas vagens contêm de 8 a 18 sementes com formas cilíndricas, curvadas ou retas. Além disso, a textura, cor e uniformidade do tegumento dessas sementes podem variar consideravelmente (Timko; Singh, 2008).

As plantas de feijão-caupi possuem três hábitos de crescimento, sendo eretos, semi-eretos ou prostrados. A maioria dessas plantas são de crescimento indeterminado, no entanto algumas que possuem maturação precoce recém-desenvolvidas com fenótipo de crescimento determinado (Timko; Singh, 2008).

As fases fenológicas do feijão-caupi são divididas em duas, compreendendo a fase vegetativa (V) e reprodutiva (R) (Moura et al., 2012) em que, de acordo com Campos et al. (2000), a fase vegetativa é constituída dos estádios: V0 – Semeadura; V1 – Emergência; V2 – Folhas primárias unifolioladas; V3 – Primeira folha trifoliada; V4 – Segunda folha trifoliolada aberta; V5 – A terceira folha trifoliolada encontra-se com os folíolos separados e completamente abertos; V6 – Os primórdios do ramo secundário surgem nas axilas das folhas unifolioladas ou nas axilas das primeiras folhas trifolioladas; V7 - A primeira folha do ramo secundário encontra-se completamente aberta; V8 - A segunda folha do ramo secundário encontra-se completamente aberta; V9 - A terceira folha do ramo secundário encontra-se completamente aberta.

O estágio reprodutivo é constituído por: R1 – Pré-floração, ocorrendo o desenvolvimento dos primeiros ramos secundários e o surgimento dos primeiros botões florais; R2 – Floração, o início desse estágio ocorre quando a planta apresenta 50% de suas flores abertas; R3 – Formação de vagens, as flores, já fecundadas, murcham as pétalas e ocorre a formação das primeiras vagens (canivetes); R4 – Enchimento das vagens, essa fase começa com o enchimento dos grãos e, conseqüentemente, o aumento do volume das vagens; R5 – Maturação, as vagens perdem a cor e começam a secar e as sementes adquirem a cor característica da cultivar (Campos et al., 2000).

Alguns dos genótipos possuem floração precoce e podem produzir grãos secos em 60 dias, enquanto os de estação mais longa podem exigir mais de 150 dias para amadurecer, dependendo do fotoperíodo (Timko; Singh, 2008).

Quando exposto às condições extremas de estresse por alta temperatura, pode ocorrer o abortamento excessivo de flores, redução do vigamento, retenção final de vagens e número de sementes por vagem (Desravines, 2022), condições essas que contribuem também para a ocorrência de várias doenças e pragas que podem reduzir o rendimento da cultura. Por outro lado, quando submetido à baixa temperatura atrasa a floração, inibi o crescimento, aumenta o ciclo da cultura e conseqüentemente há redução no número de vagens por planta (Costa et al., 2020).

A necessidade hídrica do feijão-caupi varia de acordo com seu estágio de desenvolvimento, onde há menor demanda na germinação, alta exigência hídrica na floração e formação de vagens, seguida de uma redução de exigência no início da maturação. Estima-se que são necessários de 400 a 500 mm de água bem distribuídos durante o ciclo, de maneira que, no período crítico situado entre 35 e 60 dias após a germinação, fase de maior consumo de água, sejam indispensáveis os cuidados especiais para evitar queda na produtividade (Figuerêdo, 2000; Silva, 2023).

O feijão-caupi é considerado uma planta exigente em nutrientes, fato este justificado pela cultura apresentar seu sistema radicular muito pequeno e pouco profundo, em que, Oliveira et al. (2001) afirmam que para obtenção de elevadas produtividades na cultura do feijoeiro é necessária a realização de uma adubação equilibrada em matéria orgânica e NPK (Nitrogênio, Fósforo e Potássio) Por isso, é fundamental que seja disponibilizado a planta, nutrientes em tempo e local adequados (Pereira Junior, 2012).

Devido seus grãos possuírem características nutricionais essenciais, o feijão-caupi é considerado uma espécie de grande relevância para a alimentação humana, possuindo 20-29% de proteínas, 56-74% de amido e uma quantidade elevada de vitaminas, minerais

e fibras alimentares; além de uma baixa quantidade de lipídios (2%) (Jayathilake et al., 2018; Gondwe et al., 2019).

### **3.1.2 Importância econômica**

Nas regiões áridas e semiáridas, o feijão-caupi se destaca como uma das leguminosas mais importantes, por ser um dos principais componentes da dieta alimentar, principalmente para as populações de baixa renda (Gondwe et al., 2019). Exerce um papel socioeconômico relevante, pois, além da utilização na alimentação humana, também na alimentação animal, forragem verde, feno, rotação de culturas e como ingrediente na fabricação de produtos industrializados (Sindhu et al., 2019).

O feijão-caupi possui atributos desejáveis, como alto teor proteico, de fibras alimentares e de minerais e antioxidante, tais como ferro e zinco e tem baixo teor de lipídios e, além de todos estes benefícios para os consumidores desse grão, possui alta versatilidade em relação a farinha, utilizada nas mais diversas formulações alimentícias, como pães, cookies, hambúrguer e biscoitos (Oliveira, 2020).

No Brasil, o feijão-caupi é o segundo feijão mais cultivado, contabilizando 17 estados com produção expressiva, sendo as regiões Norte e Nordeste responsáveis por mais de 75% da produção nacional (Ibrafe, 2022). Na região de clima semiárido, o maior estado produtor é a Bahia, juntamente com outros estados, sendo responsáveis por 66% da produção nacional, em que, o estado com maior área plantada nacional é o Ceará, com menor produtividade média do país (289 kg ha<sup>-1</sup>), ainda assim, em 2022, foi o segundo maior estado produtor nacional e, em terceiro lugar, ficou o estado do Mato Grosso, por outro lado, o Distrito Federal possuiu maior produtividade média (1410 kg ha<sup>-1</sup>) (Ibrafe, 2022).

### **3.2 Uso da água salobra na irrigação**

O uso indiscriminado da água para diferentes fins tem causado a escassez progressiva desse recurso natural, o que limita o desenvolvimento socioeconômico das regiões de cultivo (Medeiros, 1992). Dentre os diversos usos da água, a agricultura é responsável pelo consumo médio de 70% do volume captado (Magalhães et al., 2020).

Uma das principais tecnologias utilizada na agricultura é a irrigação, sendo a água o insumo fundamental em termos qualitativos e quantitativos (Ayers; Westcot, 1999). No entanto, o aumento progressivo da população mundial e a segurança alimentar global

passou a ser uma enorme preocupação, visto que a disponibilidade hídrica tanto em qualidade quanto em quantidade para a produção agrícola tem reduzido gradualmente ao longo do tempo (Andrade et al., 2018). Neste sentido, diversas pesquisas têm avaliado alternativas viáveis que possam amenizar esse problema e garantir a produção de alimentos, destacando-se a utilização de águas salobras (Alvarenga et al., 2019; Magalhães et al., 2020).

A irrigação com águas salobras proporciona a preservação dos recursos agrícolas de água doce, especialmente nas regiões áridas e semiáridas (Li et al., 2022), em que, estudos realizados já demonstraram que o rendimento das culturas irrigadas com água salina ou água salobra pode aproximar-se ou atingir o rendimento irrigado com água doce para algumas culturas tolerantes ao sal (Niu et al., 2010; Wan et al., 2010; Malasha et al., 2012; Singh; Panda, 2012).

A utilização de água salobra em longo prazo pode proporcionar acúmulo de sais no solo e, conseqüentemente, representa uma ameaça potencial tanto para o solo quanto para o crescimento das culturas (Zhang et al., 2020), desta forma, se faz necessário o uso seguro e eficiente dessas águas (Wang et al., 2022).

Desta forma, a salinidade é um fator importante que limita a produtividade da planta e afeta aproximadamente 7% da área total de terra (Karaca et al., 2023), sendo necessário estratégias que sejam capazes de minimizar tais impactos ocasionados.

### **3.3 Efeito da salinidade nas plantas**

O estresse salino é ocasionado pelo acúmulo de sais no solo que promove efeitos negativos ao crescimento e desenvolvimento das plantas, devido à redução da capacidade de absorção de água pelas plantas em função da redução do potencial osmótico do solo, desbalanceamento e desequilíbrio nutricional, estresse oxidativo, toxicidade de íons específico, especialmente o  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$  (Wang et al., 2019).

Os íons responsáveis pela salinidade são os cátions sódio ( $\text{Na}^+$ ), cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ), magnésio ( $\text{Mg}^{2+}$ ), potássio ( $\text{K}^+$ ) e os ânions cloreto ( $\text{Cl}^-$ ), sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ), carbonato ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) e nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) (Morais et al., 2018; Silva et al., 2020).

Um dos primeiros efeitos negativos a ocorrer em plantas sob estresse salino é a degradação do aparato do processo fotossintético, afetando negativamente a taxa de transporte de elétrons e a eficiência fotoquímica do fotossistema II. Outro problema causado por esse estresse está relacionado à clorose foliar, pois reduz a síntese de clorofila e a redução da absorção de água em plantas estressadas (Wani et al., 2019).

Nas plantas, a presença de sais causa o estresse osmótico, assim os estômatos se fecham, parcialmente, para reduzir as perdas de água por transpiração, resultando em uma menor taxa fotossintética, responsável pela redução do crescimento das espécies sob condições de estresse salino (Souza et al., 2016). De acordo com Litalien e Zeeb (2020), a maioria das plantas não consegue completar seu ciclo de vida pelo fato de não tolerar altas concentrações de sais em seus meios de crescimento, devido à redução da disponibilidade de água e nutrientes do meio.

O efeito do estresse salino na planta se dá em duas fases: a fase osmótica, que começa a ocorrer quando a planta é exposta ao sal, e a fase iônica, que acontece quando a salinidade no meio persiste por vários dias, o que acarreta acúmulo de íons nos tecidos das plantas (Ghatak et al., 2018).

### **3.3.1 Efeito osmótico**

O excesso de sais dissolvidos no solo diminui a disponibilidade de água devido à redução no potencial osmótico da solução do solo, desta forma, a planta aumenta o gasto de energia para conseguir absorver água e nutrientes (Ashraf; Harris, 2004; Dias et al., 2018).

A redução do potencial osmótico resulta no fechamento parcial e, conseqüentemente, na redução da entrada de dióxido de carbono na câmara subestomática, fato que pode resultar em diminuição na taxa de assimilação de CO<sub>2</sub> devido aos fatores de origem estomáticos e não estomáticos, na homeostase iônica e, por conseguinte, na inibição do crescimento das plantas (Martins et al., 2019).

Para que seja possível a absorção de água, as forças de embebição dos tecidos das raízes devem ser superiores às forças com que a água é retida no solo, entretanto, a presença de sais na solução do solo aumenta essas forças de retenção devido ao efeito osmótico, dando origem ao estresse hídrico (Dias; Blanco, 2010).

### **3.3.2 Efeito iônico**

#### **3.3.2.1 Efeito tóxico**

O efeito tóxico causa danos diretamente na membrana plasmática e ocorre em função de alguns íons específicos, principalmente, sódio (Na<sup>+</sup>) e cloro (Cl<sup>-</sup>) (Munns; Tester, 2008; Sá et al., 2018a; Lima et al., 2019;), ocasionando também o desequilíbrio nutricional, devido a deficiência de nutrientes essenciais como o Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> e K<sup>+</sup>,



decorrentes do excesso de  $\text{Na}^+$  (Souza et al., 2016), enquanto que a absorção de  $\text{NO}_3^-$  pode ser comprometida pela concentração de  $\text{Cl}^-$ , causada pela competição iônica (Sá et al., 2018b).

Os principais íons responsáveis pela toxidade nas plantas são os cloretos, sódio e boro, no entanto, em solos salinos é mais comum a toxidez provocada pelo sódio e cloreto (Ayers; Westcot, 1999).

Nas folhas, tais sintomas de toxicidade são relatados por Dias e Blanco (2010), na qual relatam que; o sintoma do cloreto é evidenciado pela queimadura do ápice das folhas podendo atingir as bordas em estágios mais avançados e promovendo a queda prematura; os sintomas típicos do sódio surgem em forma de queimaduras ou necrose ao longo das bordas nas folhas mais velhas, progredindo na área internerval até o centro da folha, à medida que se intensifica; os sintomas causados pelo boro na folha se resumem em manchas amarelas ou secas nas bordas e no ápice das folhas velhas, estendendo-se pelas áreas internervais até o centro das folhas.

### **3.3.2.2 Efeito nutricional**

O desequilíbrio nutricional ocorre devido as altas concentrações de íons específicos, a exemplo do  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$  e B, podendo ocasionar, principalmente, a deficiência de nutrientes essenciais como o potássio, cálcio, magnésio, fósforo e nitrato (Taiz et al., 2017). As elevadas concentrações de  $\text{Na}^+$  no citosol promove mudanças na absorção e metabolismo do  $\text{Ca}^{2+}$ , que é substituído em membranas e paredes celulares, afetando a permeabilidade e elasticidades das mesmas (Dias et al., 2005). Ademais, pode reduzir os processos bioquímicos e fisiológicos que dependem de  $\text{K}^+$ , a exemplo da abertura estomática, fotossíntese, respiração e síntese de proteínas (Alvarenga et al., 2019).

O íon cloreto demonstra uma notável capacidade de deslocamento entre a planta e o solo, facilitando sua absorção pelas raízes e sua rápida transferência para o sistema fotossintético, em que, esse processo resulta em interferência na absorção de nitratos, gerando desequilíbrio nutricional, amarelamento foliar e queda prematura das folhas (De Pascale et al., 2013; Dias; Blanco, 2010).

## **3.4 Efeito da salinidade na cultura do feijão-caupi**

O feijão-caupi é classificado como moderadamente tolerante à salinidade, com limiar de salinidade de  $2,3 \text{ dS m}^{-1}$  da água de irrigação (Barbosa et al., 2021).

Em estudo desenvolvido por Oliveira et al. (2015) com feijão-caupi sob estresse salino e regulador de crescimento, foi verificado que a prática da irrigação utilizando água com condutividade elétrica acima de  $3,5 \text{ dS m}^{-1}$  reduz ou inibe o efeito benéfico do bioestimulante Stimulate sobre a cultura do feijão caupi.

Furtado et al. (2014) em seus estudos com a cultura do feijão-caupi sob condições de salinidade e adubação nitrogenada, observaram que a salinidade do solo provocou retardamento da floração e elevou a taxa de abortamento de flores de forma proporcional ao aumento da salinidade.

Ribeiro et al. (2022) constataram que, o estresse salino contínuo nas fases fenológicas afeta negativamente a altura da planta, fotossíntese, transpiração, condutância estomática e a temperatura foliar da cultura do feijão-caupi sob irrigação com água salina e adubação fosfatada.

Oliveira et al. (2018) constataram que, os pigmentos fotossintéticos apresentaram reduções com o aumento da condutividade elétrica da água, indicando presença de estresse em feijão-caupi irrigado com água salina, logo, todas as alterações contribuíram para a conclusão de que, a clorofila *a* pode ser usada para detectar a presença de estresse salino em feijão caupi.

### 3.5 Quitosana

A quitosana é um polímero linear não ramificado de  $\beta$ -1, 4-d-glucosamina (Malerba; Cerana, 2018), obtido a partir do processo de desacetilação da quitina, um copolímero de *N*-acetil-d-glucosamina e *d*-glucosamina (Rolim et al., 2018), processo que pode ser realizado de duas formas, por ação enzimática (quitinases) e pela hidrólise alcalina, sendo a última a mais utilizada, como destacado por Felipe et al. (2017).

A quitosana é o único polímero catiônico solúvel em água comercialmente disponível devido às cargas positivas em seus grupos amino (Hamed et al., 2016). Tais características conferem a quitosana ampla versatilidade em diversas áreas, além de ter vital importância para os avanços na ciência, meio ambiente e economia (Azevedo et al., 2007). Por ser atóxica, biocompatível e biodegradável, a quitosana vem ganhando interesse entre os agricultores (Balusamy et al., 2022).

Além disso, o seu uso é preferido devido as várias propriedades, como antioxidante (Jabeen, Ahmad, 2013; Safikhan et al., 2018), antimicrobiano (Gerami et al., 2020), biodegradável (Ullah et al., 2020), bioativo (Turk, 2019; Bakhom et al., 2020),

biocompatível (Safikhan et al., 2018; Hassan et al., 2021) e solúvel em água (Golkar et al., 2019).

Mulaudzi et al. (2022) ao estudarem a capacidade antioxidante da quitosana em plantas de sorgo sob estresse salino e relataram que a quitosana nas concentrações de 0,25 e 0,50 g L<sup>-1</sup> foram capazes de reduzir os marcadores de estresse oxidativo, prolina, açúcares solúveis totais e as atividades das enzimas antioxidantes em mais de 50% no sorgo sob NaCl 300 mM na fase de crescimento vegetativo, sem causar danos às células vegetais.

Estudos realizados por Ahmed et al. (2023) indicaram que as plantas de alecrim irrigadas com águas salobras (0, 25,7, 51,3, 77,0, 102,6 mM) e submetidas a aplicação foliar de quitosana na concentração de 6 mg L<sup>-1</sup> resultaram em maiores valores de parte aérea, pigmentos fotossintéticos, carboidratos, proteínas, fenóis, flavonóides, enzimas antioxidantes (peroxidase e superóxido dismutase), óleo essencial, nitrogênio, fósforo e potássio comparadas à aqueles irrigados com água salobra sem aplicação de quitosana.

A aplicação da quitosana pode ser feito por meio de pulverização foliar ou aplicação no solo para induzir tolerância ao estresse e melhorar o desempenho da planta ativando várias enzimas relacionadas ao estresse (Balusamy et al., 2022).

Associado à germinação de sementes, a quitosana tem sido estudada tanto *in vitro* como em campo atuando como bioestimulante e quando usada como revestimento das sementes na concentração de 2 g L<sup>-1</sup> proporciona proteção às plantas, apresentando resultados positivos na taxa de germinação, assim como em parâmetros de crescimento, gerando maior rendimento as culturas (Mesa et al., 2015).

Em estudos realizados por Alfonso et al. (2017) com a cultura do tomate cultivar Mara, verificaram que, o bioproduto QuitoMax<sup>®</sup> aplicado por embebição das sementes na concentração de 1 g L<sup>-1</sup>, pulverização foliar ou em sua combinação na concentração de 0,3 g ha<sup>-1</sup>, estimula as variáveis de crescimento, desenvolvimento e produtividade.

Pedroso et al. (2019) ao analisarem o efeito do QuitoMax<sup>®</sup> no rendimento do cultivo de arroz (*Oryza sativa*, L.) var. J-104 verificaram que os resultados mostraram uma melhor resposta do cultivar quando as sementes foram tratadas por 15 minutos com a concentração de 1,00 g L<sup>-1</sup> de quitosana e as plantas receberam duas aplicações foliares do QuitoMax<sup>®</sup> na concentração de 0,36 g L<sup>-1</sup>.

Piero e Garda (2008) ao avaliarem o controle da antracnose em feijoeiro-comum com a aplicação foliar de quitosana tiveram como resultados que, nas folhas do feijoeiro a quitosana na concentração de 18 mg por planta provocou o aumento na atividade de

glucanase, além disso, a quitosana apresenta propriedades antifúngicas contra *C. lindemuthianum*, bem como potencial para induzir resistência à planta, e pode ser uma alternativa para o controle da antracnose do feijoeiro.

Ullah et al. (2020), ao avaliarem as plantas de tomateiro cultivar Rio Grande sob estresse salino de NaCl a 150 mM, tiveram como resultados um aumento na altura de planta e diâmetro do caule ao avaliarem aplicação exógena de quitosana na concentração de 150 mg L<sup>-1</sup>.

Reis et al. (2019), ao estudarem a cultura do milho sob estresse hídrico e aplicação foliar de quitosana (0,5 mg por planta), observaram que o uso da quitosana evitou a redução da eficiência de carboxilação, proporcionando um aumento na Chl *b* e Chl *total*, quando comparadas com as plantas controle.

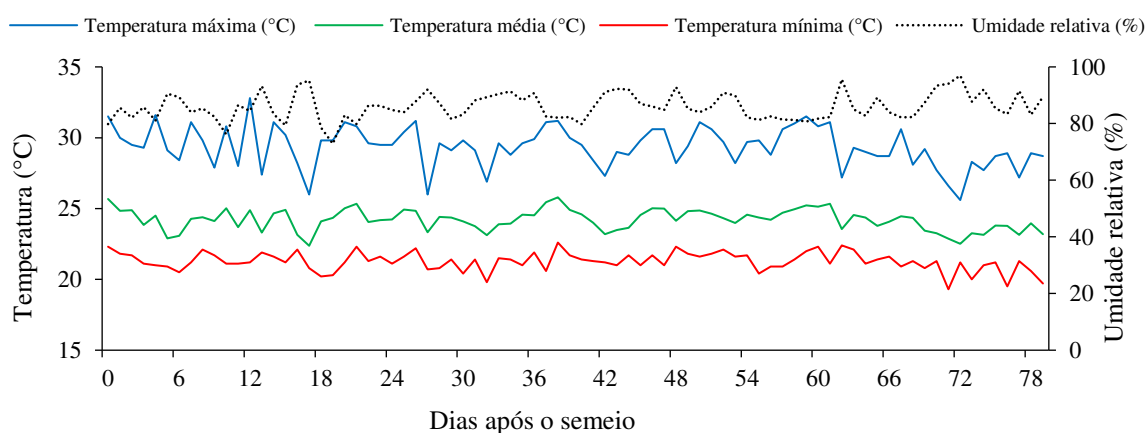
Ao analisar a cultura do trigo sob estresse hídrico, Behboudi et al. (2019) observaram um aumento na concentração de clorofila, ao aplicar quitosana via foliar (90 mg L<sup>-1</sup>), em comparação com o tratamento submetido ao estresse hídrico e sem a aplicação de quitosana. Esses resultados indicam que o uso da quitosana tem o potencial de aumentar o teor de pigmentos fotossintéticos, favorecendo, assim, a fotossíntese líquida nas plantas. Além disso, sugere-se que a contribuição da quitosana para o aumento no teor de clorofila pode estar relacionada ao teor de nitrogênio presente na quitosana, desempenhando um papel crucial no anel tetrapirrólico da clorofila.

No entanto, existe a escassez de informações sobre o uso da quitosana como atenuante de estresses abióticos em plantas de feijão-caupi, mais precisamente ao estresse salino, sendo promissor tais estudos.

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Localização do experimento

O experimento foi conduzido no período de março a maio de 2023 em ambiente protegido (casa de vegetação), pertencente à Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola - UAEA da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, em Campina Grande, Paraíba, situada pelas coordenadas geográficas 7°15'18" S, 35°52'28" W e altitude média de 550 m. A casa de vegetação utilizada foi do tipo arco com 30 m de comprimento e 21 m de largura, pé-direito de 3,0 m e cobertura de polietileno de baixa densidade (150 microns). Os dados de temperatura (máxima, média e mínima) e umidade relativa do ar da área interna da casa de vegetação durante o período experimental estão dispostos na Figura 1.



**Figura 1.** Temperatura (máxima, média e mínima) e umidade média relativa do ar da área interna da casa de vegetação durante o período experimental (13 de março a 30 de maio de 2023).

### 4.2 Tratamentos e delineamento experimental

Os tratamentos foram constituídos por dois níveis de condutividade elétrica da água de irrigação - CEa (0,6 e 4,0 dS m<sup>-1</sup>) e cinco concentrações de quitosana (0; 0,25; 0,50; 0,75 e 1,00 g L<sup>-1</sup>), distribuídas em um delineamento inteiramente casualizado (DIC), em arranjo fatorial 2 × 5, com quatro repetições e três plantas por parcela, cultivadas em vasos diferentes, em um espaçamento de 40 cm entre plantas, totalizando em 120 unidades experimentais.

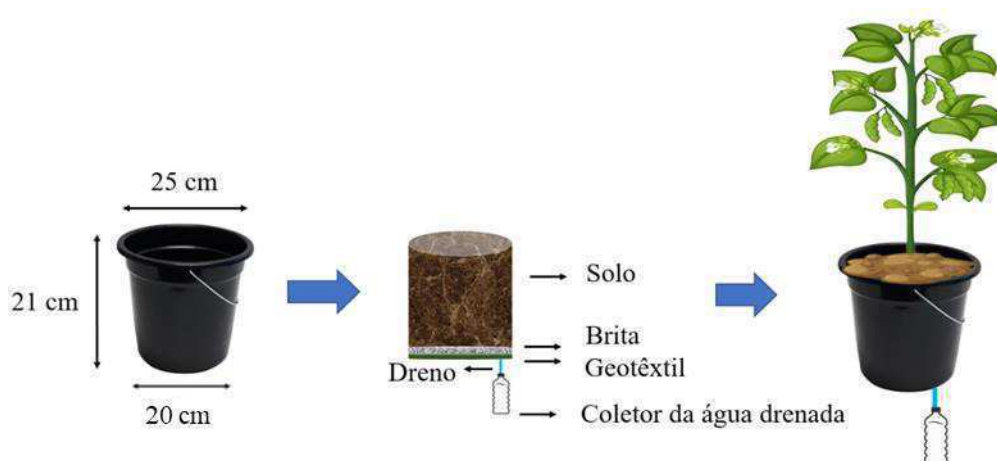
Os níveis salinos foram adaptados a partir de estudos realizados por Barbosa et al. (2021) que consideraram o feijão-caupi uma espécie moderadamente tolerante à salinidade da água de irrigação com salinidade limiar de 2,3 dS m<sup>-1</sup> e as concentrações de quitosana foram baseadas e adaptadas conforme estudo desenvolvido por Mulaudzi et al.

(2022) com a cultura do sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). As soluções de quitosana foram aplicadas através de pulverizações via foliar.

### 4.3 Cultivar em estudo

Foi utilizado a cultivar BRS Tapaihum devido seu potencial de ampla adaptação e boa previsibilidade produtiva, possuindo média geral no comportamento produtivo de 1415 kg ha<sup>-1</sup>, sendo de 1183 kg ha<sup>-1</sup> em ambiente de sequeiro e 1619 kg ha<sup>-1</sup> em ambiente irrigado (SANTOS, 2011).

### 4.4 Condução do experimento



**Figura 2.** Ilustração do enchimento dos vasos adaptados como lisímetros de drenagem.

Para o preenchimento dos vasos, foi coletado o solo e, em seguida, realizado os seus atributos químicos e físicos, antes do início do experimento. O solo utilizado no preenchimento dos lisímetros classificado como Neossolo Regolítico de textura franco-argilosa foi procedente do município de Lagoa Seca - PB (profundidade de 0-30 cm), situada pelas coordenadas geográficas 7° 10' 8" S e 35° 51' 20"W. Os atributos químicos e físicos do solo (Tabela 1) foram determinados de acordo com a metodologia proposta por Teixeira et al. (2017).

**Tabela 1.** Características químicas e físicas-hídricas do solo utilizado no experimento.

		Características químicas							
pH (H <sub>2</sub> O)	M.O.	P	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H <sup>+</sup>	
1:2,5	g dm <sup>-3</sup>	mg dm <sup>-3</sup>	.....					cmolc kg <sup>-1</sup>	.....
5,40	17,62	2,92	0,28	0,04	1,87	1,70	0,20	2,85	
Características químicas						Características físicas			

CEes dS m <sup>-1</sup>	CTC cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	RASes (mmol L <sup>-1</sup> ) <sup>0,5</sup>	PST %	Fração granulométrica (g kg <sup>-1</sup> )			Umidade (dag kg <sup>-1</sup> )	
				Areia	Silte	Argila	33,42 kPa <sup>1</sup>	1519,5 kPa <sup>2</sup>
0,72	6,94	0,03	0,58	675,2	221,1	103,7	12,94	5,32

pH – potencial hidrogeniônico, M.O. – matéria orgânica: digestão úmida Walkley-Black; Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup> extraídos com KCl 1 M pH 7,0; Na<sup>+</sup> e K<sup>+</sup> extraídos utilizando-se NH<sub>4</sub>OAc 1 M pH 7,0; Al<sup>3+</sup>+H<sup>+</sup> extraídos com CaOAc 0,5 M pH 7,0; CEes - condutividade elétrica do extrato de saturação; CTC - capacidade de troca catiônica; RASes - relação de adsorção de sódio do extrato de saturação; PST - percentagem de sódio trocável; <sup>1,2</sup> referindo a capacidade de campo e ponto de murchamento permanente, respectivamente.

#### 4.5 Semeadura

A semeadura ocorreu no dia 13/03/2023 às 17:00 horas, utilizando-se de quatro sementes de feijão por vaso distribuídas de forma equidistante, em profundidade padrão de  $\cong$  3 cm e, quinze dias após a emergência, foi realizado o desbaste deixando-se uma planta por vaso.

#### 4.6 Manejo de adubação

A adubação com NPK foi realizada conforme recomendação de adubação para experimentos em vaso, contida em Novais et al. (1991), aplicando 100, 300 e 150 mg kg<sup>-1</sup> do solo de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O, respectivamente utilizando a ureia (45% N), fosfato monoamônico (NH<sub>4</sub>H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, 12% N e 54% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) e KCl (60% K<sub>2</sub>O), sendo realizada quinzenalmente, dividida em três aplicações ao longo do ciclo (13, 38 e 43 dias após semeadura - DAS), através da fertirrigação, sendo aplicado 1,5, 4,5 e 2,25 g de NPK, respectivamente.

Como fonte de micronutrientes, foi aplicado via foliar com o auxílio de um pulverizador costal a cada 15 dias Dripsol Micro<sup>®</sup> na concentração de 1,0 g L<sup>-1</sup> contendo: Ca (1%); Mg (1,4%); S (2,7%); Zn (0,5%); B (0,05%); Fe (0,5%); Mn (0,05%); Cu (0,5%) e Mo (0,02%), seguindo a recomendação do fabricante. Foram aplicados, em média, 100 mL da solução por planta.

#### 4.7 Preparo das águas e manejo de irrigação

As águas salobras foram preparadas dissolvendo-se os sais de NaCl, CaCl<sub>2</sub>.2H<sub>2</sub>O e MgCl<sub>2</sub>.6H<sub>2</sub>O, na água de abastecimento local (0,4 dS m<sup>-1</sup>) na proporção equivalente de 7:2:1, relação esta predominante nas principais fontes de água utilizadas para irrigação no Nordeste brasileiro (Medeiros, 1992), obedecendo-se a relação entre CEa e a concentração dos sais (Richards, 1954) conforme Equação 1.

$$Q \approx \text{CEa} \times 10 \quad (1)$$

Onde:

Q - quantidade de sais ( $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$ ); e

CEa - condutividade elétrica da água de irrigação ( $\text{dS m}^{-1}$ ).

Após a preparação, as águas foram calibradas mediante checagem com um medidor de condutividade elétrica (condutivímetro).

Para o manejo de irrigação foi utilizado a água de abastecimento local ( $0,4 \text{ dS m}^{-1}$ ) até os 17 DAS, após esse período iniciou-se o uso das águas com diferentes níveis de condutividade elétrica conforme tratamento.

A irrigação foi realizada diariamente, aplicando-se em cada vaso o volume determinado através do método de lisimetria de drenagem (Bernardo et al., 2006) utilizando-se Equação 2.

$$\text{VI} = \frac{V_a - V_d}{1 - \text{FL}} \quad (2)$$

Em que:

VI - volume de água a ser aplicada (mL);

V<sub>a</sub> - volume de água aplicado no evento de irrigação anterior (mL);

V<sub>d</sub> - volume de água drenado (mL); e

FL - fração de lixiviação (0,10), aplicada a cada 15 dias.

Os volumes de água utilizados na irrigação durante a condução da pesquisa foram contabilizados para a determinação do consumo hídrico das plantas, conforme pode ser observado na Tabela 2.

**Tabela 2.** Consumo hídrico das plantas de feijão-caupi durante o período de condução da pesquisa.

CEa ( $\text{dS m}^{-1}$ )	Consumo hídrico médio (L por planta)	Consumo hídrico médio* (mm por planta)
0,6	24,2	492,87
4,0	18,4	366,60

\* Lâmina calculada levando em consideração a área do vaso ( $0,0491 \text{ m}^2$ ).

#### 4.8 Preparo da solução de quitosana

Utilizou-se a quitosana em pó fabricada pela empresa Originalis® Biotech, com 1,31% de cinzas totais e 86,12 de grau de desacetilação.



A solução de quitosana foi preparada no momento da aplicação por dissolução em ácido acético 0,1 M (6 ml L<sup>-1</sup>) com o auxílio de um agitador magnético Marca Centauro e posteriormente diluído para 0,25; 0,50; 0,75 e 1,00 g L<sup>-1</sup> utilizando água destilada e espalhante adesivo na proporção de 0,5 ml L<sup>-1</sup>, no entanto, para as testemunhas (0 g L<sup>-1</sup>) não se realizou a aplicação foliar. As aplicações foliares foram feitas no período da tarde (17:00 horas), aos 15, 30 e 45 DAS, sendo pulverizada a parte adaxial e abaxial das folhas com o auxílio de um pulverizador manual.

Ao realizar as aplicações da quitosana aos 15, 30 e 45 DAS, foi contabilizado o volume aplicado de acordo com cada tratamento (Tabela 3).

**Tabela 3.** Volume de calda de quitosana aplicado por planta aos 15, 30 e 45 dias após a semeadura (DAS).

Aplicações de quitosana	Q1 (mL)	Q2 (mL)	Q3 (mL)	Q4 (mL)	Q5 (mL)
29/03/2023	0	16,76	15	13,33	13,33
12/04/2023	0	29,17	21,25	24,58	18,75
27/04/2023	0	54,17	46,67	41,67	41,67

Q1, Q2, Q3, Q4 e Q5, respectivamente, concentração de quitosana de 0; 0,25; 0,50; 0,75 e 1,00 g L<sup>-1</sup>.

#### 4.9 Controle fitossanitário

Durante a condução do experimento foi efetuado os tratos culturais (limpeza da área, capinas entre as linhas dos lisímetros, escarificação superficial do solo nos vasos) e fitossanitários (Vertimec<sup>®</sup> na concentração de 0,3 mL L<sup>-1</sup> de solução e Evidence<sup>®</sup> na concentração de 0,1 g L<sup>-1</sup>), monitorando o surgimento de pragas e doenças, adotando-se medidas de controle quando necessário, de forma preventiva, conforme recomendação dos fabricantes.

#### 4.10 Variáveis analisadas

##### 4.10.1 Parâmetros fisiológicos realizados aos 45 DAS

###### 4.10.1.1 Conteúdo relativo de água

Para a obtenção dos valores do conteúdo relativo de água foliar (CRA), foram retiradas do terço intermediário dos ramos, 5 discos (diâmetro 12 mm) foliares de cada planta. Imediatamente após a coleta, os discos foram pesados evitando perdas de umidade, gerando os valores de massa fresca (MF), em seguida, essas amostras foram colocadas em Beckers<sup>®</sup>, imersas em 50 mL de água destilada e acondicionadas por 24 horas. Após este período, foi retirado o excesso de água com papel toalha, obtendo a massa túrgida (MT) das amostras, as quais foram levadas à estufa (temperatura  $\approx 65 \text{ }^\circ\text{C} \pm 3 \text{ }^\circ\text{C}$ ) para

obtenção da massa seca (MS) das amostras. A determinação do CRA foi obtida de acordo com metodologia de Weatherley (1950) utilizando-se da Equação 3.

$$\text{CRA} = \frac{\text{MF} - \text{MS}}{\text{MT} - \text{MS}} \times 100 \quad (3)$$

Em que:

CRA - conteúdo relativo de água foliar (%);

MF - massa fresca de folha (g);

MT - massa túrgida (g); e

MS - massa seca (g).

#### 4.10.1.2 Extravasamento de eletrólitos (%)

O extravasamento de eletrólitos na membrana celular foi avaliado pela capacidade de ruptura da membrana celular. Foram coletados cinco discos foliares de 113 mm<sup>2</sup> de área (diâmetro de 12 mm das folhas do terço médio das plantas), higienizados com água destilada para retirar outros eletrólitos aderidos às folhas. Em seguida, acondicionados em Beckers<sup>®</sup> com 50 mL de água destilada e hermeticamente fechados com papel alumínio. Os beckers foram mantidos em temperatura de 25 °C, por 24 horas, sendo aferida a condutividade elétrica inicial (C<sub>i</sub>), usando condutivímetro de bancada (MB11, MS Techonopon<sup>®</sup>). Logo após, os Beckers<sup>®</sup> foram mantidos em estufa com ventilação forçada de ar (SL100/336, SOLAB<sup>®</sup>) com temperatura constante de 80 °C, durante 120 minutos. Ao término desse processo, as amostras foram esfriadas a temperatura ambiente e aferida a condutividade elétrica final (C<sub>f</sub>). Logo, o extravasamento de eletrólitos foi obtido conforme Scotti-Campos et al. (2013), utilizando-se a Equação 4.

$$\text{EE}\% = \frac{C_i}{C_f} \times 100 \quad (4)$$

Onde:

EE - extravasamento de eletrólitos (%);

C<sub>i</sub> - condutividade elétrica inicial a 25 °C (dS m<sup>-1</sup>); e

C<sub>f</sub> - condutividade elétrica final 25 °C (dS m<sup>-1</sup>).

#### 4.10.1.3 Pigmentos fotossintéticos

A determinação dos teores de pigmentos fotossintéticos (clorofila *a*, clorofila *b*, clorofila *total* e carotenoides) foi quantificado seguindo a metodologia proposta por Arnon (1949), na qual foram coletadas amostras foliares e, em seguida, levadas ao Laboratório de Fisiologia Vegetal da Universidade Federal de Campina Grande, *campus* Campina Grande. A extração da clorofila foi realizada em recipientes contendo 8 mL de acetona 80% e um disco foliar de peso conhecido e área de 113 mm<sup>2</sup> (diâmetro de 12 mm) o qual foi mantido no escuro e em refrigerador durante 48 horas, devido à grande oxidação que as folhas sofrem. Os discos foliares foram coletados às 06:00 h da manhã e a quantificação dos teores de clorofila *a*, *b*, *total* e de carotenoides foram procedidos por espectrofotometria de emissão a 470 nm, 646 nm e 663 nm de absorbância, respectivamente, sendo calculadas por meio das Equações 5, 6, 7 e 8.

$$\text{Clorofila } a \text{ (Cl } a) = (12,21 \times \text{ABS}_{663}) - (2,81 \times \text{ABS}_{646}) \quad (5)$$

$$\text{Clorofila } b \text{ (Cl } b) = (20,13 \times \text{ABS}_{646}) - (5,03 \times \text{ABS}_{663}) \quad (6)$$

$$\text{Clorofila total} = (7,15 \times \text{ABS}_{663}) + (18,71 \times \text{ABS}_{646}) \quad (7)$$

$$(\text{Car}) = \frac{[(1000 \times \text{ABS}_{470}) - (1,82 \text{ Cl}_a - 85,02 \text{ Cl}_b)]}{198} \quad (8)$$

Os valores obtidos para os teores de clorofila *a*, *b*, *total* e carotenoides (Car) nas folhas foram expressos em µg mL<sup>-1</sup>.

#### 4.10.1.4 Fluorescência da clorofila *a*

Para as análises da fluorescência da clorofila *a*, foram determinadas: a fluorescência inicial ( $F_0$ ) (elétrons quantum<sup>-1</sup>), fluorescência máxima ( $F_m$ ) (elétrons quantum<sup>-1</sup>), fluorescência variável [ $F_v = (F_m - F_0)$ ] (elétrons quantum<sup>-1</sup>) e eficiência quântica máxima do fotossistema II [ $(F_v/F_m) = (F_m - F_0)/F_m$ ] (Genty et al., 1989), utilizando o equipamento PEA - Hansatech. Essas análises foram realizadas colocando-se pinças nas folhas e, após 30 minutos de adaptação ao escuro, realizou-se a leitura.

#### 4.10.2 Variáveis de crescimento

Aos 30 e 45 DAS foi avaliado comprimento de haste (CH, cm) com o auxílio de uma fita métrica, medindo da base da haste à extremidade onde encontra-se a gema apical; a área foliar (AF, cm<sup>2</sup>), medida seguindo a metodologia proposta por Lima et al. (2008)

utilizando a Equação 9; diâmetro de haste (DH, mm) utilizando-se de um paquímetro digital e o número de folhas.

$$AF = \Sigma (0,9915(C \times L)^{0,9134}) \quad (9)$$

Onde:

AF - área foliar (cm<sup>2</sup>);

C - comprimento (cm); e

L - largura da folha (cm).

A partir dos dados de comprimento de haste (CH), diâmetro de haste (DH) e área foliar (AF) aos 30 e 45 DAS, foi determinada a taxa de crescimento relativo do CH (TCR<sub>CH</sub>), do DH (TCR<sub>DH</sub>) e da AF (TCR<sub>AF</sub>), variáveis que verificam o crescimento das plantas quando comparadas com o seu tamanho inicial e, a taxa de crescimento absoluto do CH (TCA<sub>CH</sub>), do DH (TCA<sub>DH</sub>) e da AF (TCA<sub>AF</sub>). As taxas de crescimento relativo e absoluto foram determinadas de acordo com metodologia descrita por Benincasa (2003), conforme a Equação 10 e 11.

$$TCR = \frac{(\ln A_2 - \ln A_1)}{(T_2 - T_1)} \quad (10)$$

Em que:

TCR - taxa de crescimento relativo;

A<sub>1</sub> - variável no tempo 1;

A<sub>2</sub> - variável no tempo 2;

T<sub>1</sub> - tempo 1 em dias;

T<sub>2</sub> - tempo 2 em dias; e

Ln - logaritmo natural.

$$TCA = \frac{(M_2 - M_1)}{(t_2 - t_1)} \quad (11)$$

Onde:

M<sub>2</sub> - medição final no tempo t<sub>2</sub>;

M<sub>1</sub> - medição inicial no tempo t<sub>1</sub>;

t<sub>1</sub> - tempo 1 em dias; e

t<sub>2</sub> - tempo 2 em dias.

#### 4.10.3 Componentes de produção

Para a avaliação dos componentes de produção, foi utilizado a metodologia de colheita recomendada por Oliveira et al. (2015), foram coletadas as vagens secas de cada parcela e avaliadas as seguintes variáveis: número de vagens por planta (NVP); comprimento médio de vagem (CMV), realizado em cm através de cinco vagens tiradas ao acaso de cada parcela; número de grãos por vagem (NGV), de acordo com a contagem obtida da média de cinco vagens tiradas ao acaso; produção de grãos (PROG), determinada pela produção total de grãos em cada planta, em g por planta; e o índice de grãos (IG) que foi determinado a partir da relação entre a massa seca de grãos e de vagens, conforme a Equação 12; utilizando da amostragem de cinco vagens por planta. Sendo utilizadas as mesmas vagens para o CMV, NGV e para o IG.

$$IG = \left( \frac{MG}{MV} \right) \times 100 \quad (12)$$

Onde:

MG - massa de grãos coletados em cinco vagens (g); e

MV - massa total de cinco vagens (g).

#### 4.10.4 Eficiência do uso da água

A eficiência do uso da água ( $\text{g m}^{-3}$ ) foi determinada pela relação entre a produção total por planta (g por planta) e o consumo hídrico ( $\text{m}^3$ ) por planta, conforme metodologia proposta por Guan et al. (2015), de acordo com a Equação 13.

$$EUA = \left( \frac{PGP}{CH} \right) \quad (13)$$

Onde:

EUA - eficiência do uso da água ( $\text{g m}^{-3}$ );

PGP - produção de grão por planta (g); e

CH - consumo hídrico durante o ciclo por planta ( $\text{m}^3$ ).

#### 4.10.5 Tolerância

As plantas foram classificadas de acordo com o grau de tolerância a água de alta salinidade ( $\text{CEa} = 4,0 \text{ dS m}^{-1}$ ), adotando o critério de redução na produção relativa de

acordo com Fageria e Gheyi (1997), com quatro níveis de classificação: T (tolerante; diminuição < 20%), MT (moderadamente tolerante; diminuição entre > 20% e < 40%), MS (moderadamente sensível; diminuição entre > 40% e < 60%) e S (Sensível; diminuição > 60%). O percentual de perda foi baseado na produção total por planta determinada sob o maior nível de CEa (4,0 dS m<sup>-1</sup>) em comparação com a menor CEa (0,6 dS m<sup>-1</sup>).

#### **4.10.6 Acúmulo de fitomassa**

Aos 60 DAS realizou-se a retirada das folhas, caules e raízes de todas as plantas devidamente identificadas para a obtenção da fitomassa seca da folha (FSF); do caule (FSC); da parte aérea (FSPA), determinada pela soma da fitomassa seca de folhas e do caule; fitomassa seca da raiz (FSR) e relação raiz parte aérea (R/PA), determinada pela razão entre a fitomassa seca da raiz e a fitomassa seca da parte aérea. Foi realizada a secagem em estufa com circulação forçada de ar a 70 °C até atingir o peso constante, expresso em gramas (g).

#### **4.11 Análise estatística**

Os dados obtidos foram submetidos ao teste de normalidade e homogeneidade (teste de Shapiro-Wilk e teste de Bartlett) ao nível de 0,05 de probabilidade e posteriormente realizado análise de variância pelo teste 'F' (teste F até 0,05 de probabilidade) e, as variáveis que apresentaram resposta significativa para salinidade foram realizados o teste de comparação de médias (teste F) já para as concentrações de quitosana e a interação entre os dois fatores (contuidade elétrica da água de irrigação e concentrações de quitosana) foram analisadas estatisticamente por meio de análise de regressão polinomial (linear e quadrática), utilizando-se do software computacional SISVAR 5.6 (Ferreira, 2019).

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

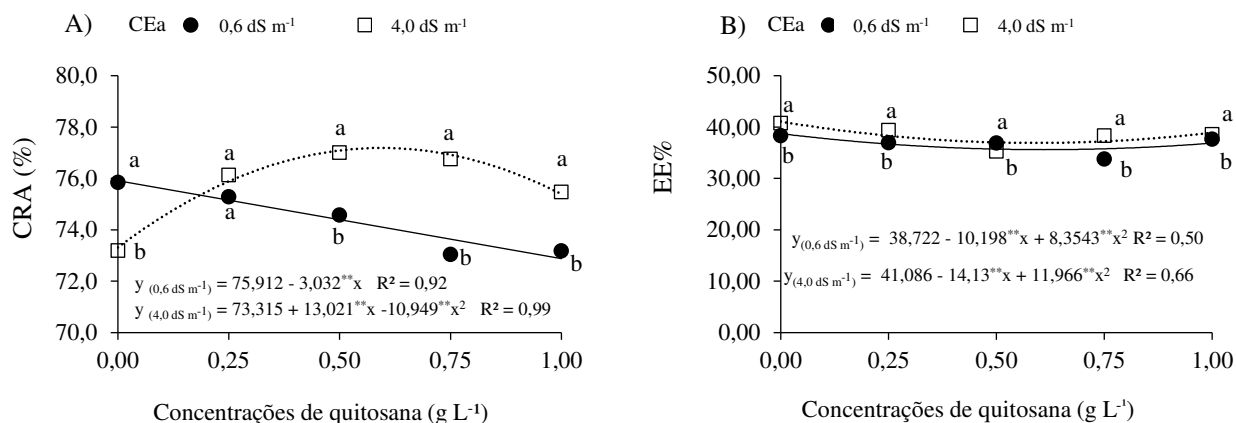
Houve efeito significativo ( $p \leq 0,01$ ) da interação entre a condutividade elétrica da água de irrigação (CEa) e as concentrações de quitosana (CQ) sobre o conteúdo relativo de água foliar (CRA) e o extravasamento de eletrólitos (EE%), aos 45 dias após a semeadura (Tabela 4).

**Tabela 4.** Resumo da análise de variância referente ao conteúdo relativo de água (CRA) na folha e extravasamento de eletrólitos (EE%) no limbo foliar das plantas de feijão-caupi, irrigadas com água de diferentes níveis de condutividade elétrica e aplicação foliar de quitosana, aos 45 dias após a semeadura.

Fonte de variação	GL	Quadrados médios	
		CRA	EE%
Condutividade elétrica da água de irrigação (CEa)	1	52,66**	92,06**
Concentrações de quitosana (CQ)	4	10,89 <sup>ns</sup>	54,61**
Regressão linear	1	3,45 <sup>ns</sup>	60,18**
Regressão quadrática	1	34,73**	135,53**
Interação (CEa × CQ)	4	35,90**	31,19**
Resíduo	107	3,25	0,15
CV (%)		2,40	1,04

<sup>ns, \*\*</sup> respectivamente não significativo, significativo a  $p \leq 0,01$ . CV: Coeficiente de variação, GL: Grau de liberdade.

O aumento da salinidade sem aplicação de quitosana reduziu o CRA em 2,59%, observa-se ainda que, as concentrações de quitosana reduziram o CRA das plantas de feijão-caupi quando irrigadas com CEa de 0,6 dS m<sup>-1</sup>, com decréscimo de 4% por incremento unitário da concentração de quitosana (Figura 3A). Por outro lado, verifica-se que as plantas irrigadas com CEa de 4,0 dS m<sup>-1</sup> e pulverizadas com a concentração de quitosana até 0,59 g L<sup>-1</sup> obtiveram aumento no CRA foliar, registrando o maior valor de CRA (77,19%), resultando em um aumento de 3,87% em relação as plantas irrigadas com o mesmo nível de CEa e sem aplicação de quitosana (0 g L<sup>-1</sup>). Constata-se ainda que, não houve diferença significativa entre as plantas irrigadas com CEa de 0,6 e 4,0 dS m<sup>-1</sup> quando submetidas a concentração de 0,25 g L<sup>-1</sup> e, sob CEa de 4,0 dS m<sup>-1</sup> e aplicações de quitosana de 0,25, 0,50, 0,75 e 1,00 g L<sup>-1</sup> CRA foi maior que as plantas irrigadas com água de 0,6 dS m<sup>-1</sup>, demonstrando desta forma o efeito benéfico da quitosana quando aplicada em concentrações adequadas.



\*\* significativo a  $p \leq 0,01$ . Para mesma concentração de quitosana, as médias seguidas por letras diferentes indicam diferenças significativas entre os níveis de salinidade de água (CEa).

**Figura 3.** Conteúdo relativo de água - CRA na folha (A) e extravasamento de eletrólitos - EE% (B) das plantas de feijão-caupi em função da interação entre a condutividade elétrica da água de irrigação (CEa) e aplicações foliares de quitosana, aos 45 dias após a semeadura.

Geng et al. (2020) também relataram que as plantas de grama rasteira (*Agrostis stolonidera*) tratadas com quitosana (100, 200, 500, 1000 e 2000 mg L<sup>-1</sup>) tiveram um aumento de 15,65% no CRA foliar e na eficiência do uso da água sob estresse salino aos 24 dias de estresse (solução de NaCl 100 mmol L<sup>-1</sup> por 4 dias, solução de NaCl 150 mmol L<sup>-1</sup> por mais 4 dias e NaCl 200 mmol L<sup>-1</sup> por 16 dias), o que contribui para manter um melhor estado hídrico em plantas expostas ao estresse salino.

O efeito benéfico da quitosana sobre o CRA das plantas de feijão-caupi sob estresse salino, observado no presente estudo, podem estar relacionados ao fato da quitosana atuar como um composto promotor do crescimento que ajuda a aumentar a disponibilidade de água e nutrientes essenciais no solo, por meio do ajuste osmótico celular (Guan et al., 2009). A aplicação da quitosana pode formar um filme semipermeável que pode modificar a atmosfera interna e diminuir a perda transpiratória das folhas (Olivas e Barbosa-Cánovas, 2005). Além disso, descobriu-se que, a quitosana exibe potente atividade antioxidante e antimicrobiana (Ramírez et al., 2010; El-Hack et al., 2020).

O aumento da salinidade da água de irrigação resultou em acréscimo de 2,36% no EE% das plantas de feijão-caupi que não receberam aplicação de quitosana (Figura 3B). Por outro lado, a pulverização foliar de quitosana até a concentração de 0,61 g L<sup>-1</sup> sob nível de CEa de 0,6 dS m<sup>-1</sup> proporcionou redução no EE%, sendo o menor valor observado de 35,61%, correspondendo a uma redução de 3,11% quando comparadas



com as testemunhas ( $0 \text{ g L}^{-1}$ ) (Figura 3B). Já para a CEa de  $4,0 \text{ dS m}^{-1}$ , até a concentração de  $0,51 \text{ g L}^{-1}$ , houve redução no EE%, com menor valor de 36,91%. Observa-se ainda que, quando comparada com as testemunhas ( $0 \text{ g L}^{-1}$ ), ocorreu redução de 4,18%.

Constatou-se ainda que, houve diferença significativa entre os dois níveis de CEa para todas as concentrações de quitosana estudadas, sendo o maior nível de salinidade de água a proporcionar maiores valores de EE%.

Em pesquisa realizada por Zhang et al. (2021), avaliando o efeito da aplicação foliar de quitosana ( $100 \text{ mg L}^{-1}$ ) em alface (*Lactuca Sativa* L.) sob estresse salino ( $100 \text{ mM}$  de NaCl), constataram uma redução na porcentagem do extravasamento de eletrólitos de 8,9%, ao comparar com as plantas sob estresse salino e sem aplicação de quitosana (42%), indicando que a quitosana pode mitigar o dano oxidativo e regula a estabilidade do sistema de membrana celular sob condições de salinidade.

Ressalta-se ainda que, o extravasamento de eletrólitos observado neste estudo, tanto em condições de estresse salino ou sem estresse, não causou lesões aos tecidos foliares, pois, segundo Sullivan (1971), a célula é considerada lesionada quando o percentual de dano ultrapassa 50%.

A interação entre os níveis de condutividade elétrica da água de irrigação e as concentrações de quitosana influenciou de forma significativa ( $p \leq 0,01$ ) as variáveis de pigmentos fotossintéticos do feijão-caupi, aos 45 dias após o semeio (Tabela 5).

**Tabela 5.** Resumo da análise de variância referente aos teores de clorofila *a* (Chl *a*), clorofila *b* (Chl *b*), clorofila *total* (Chl *t*) e carotenoides (Car) das plantas de feijão-caupi irrigadas irrigadas com água de diferentes níveis de condutividade elétrica e aplicação foliar de quitosana, aos 45 dias após a semeadura.

Fonte de variação	GL	Quadrados médios			
		Chl <i>a</i>	Chl <i>b</i>	Chl <i>t</i>	Car
Condutividade elétrica da água de irrigação (CEa)	1	11211101**	224306**	14606970**	108500**
Concentrações de quitosana (CQ)	4	1262286**	397858**	2168061**	9958,22**
Regressão linear	1	175187 <sup>ns</sup>	1031889**	2057429**	1148,31 <sup>ns</sup>
Regressão quadrático	1	273560*	184243**	906811**	1973,80 <sup>ns</sup>
Interação (CEa × CQ)	4	1757618**	665847**	40094557**	5657,07**
Resíduo	107	48108	13033	66824	1074,42
CV (%)		17,55	15,83	13,11	17,49

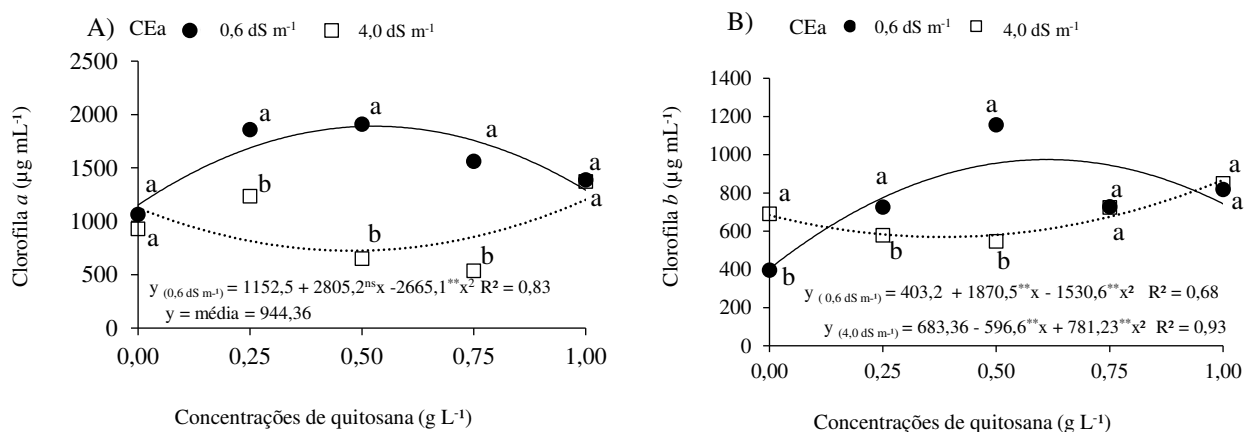
<sup>ns</sup>, \*, \*\* respectivamente não significativo, significativo a  $p \leq 0,05$  e  $p \leq 0,01$ . CV: Coeficiente de variação, GL: Grau de liberdade.

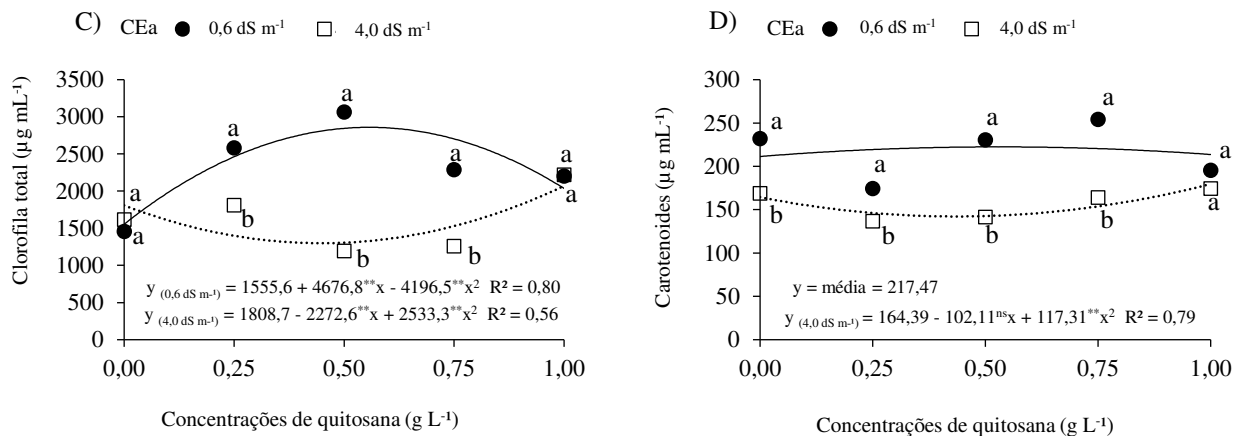
A clorofila *a* das plantas de feijão-caupi (Figura 4A) irrigadas com água de 0,6 dS m<sup>-1</sup> e concentração de 0,53 g L<sup>-1</sup> se sobressaíram com maior valor (1890,63 µg mL<sup>-1</sup>), correspondendo a aumento de 64,05% (738,13 µg mL<sup>-1</sup>) em relação as plantas irrigadas com o mesmo nível de CEa e sem aplicação de quitosana (0 g L<sup>-1</sup>), constata-se também que, não houve diferença significativa entre as plantas irrigadas com CEa de 0,6 e 4,0 dS m<sup>-1</sup> quando submetidas a concentração de 0 e 1,00 g L<sup>-1</sup> de quitosana.

Da mesma forma, Zhang et al. (2021) ao avaliar a cultura da alface (*Lactuca Sativa* L.) sob estresse salino (100 mM de NaCl) observaram que, a aplicação foliar de quitosana de 100 mg L<sup>-1</sup> resultou em aumento no teor de Chl *a* de 10,09% (0,75 µg mL<sup>-1</sup>) quando comparadas com as plantas sem aplicação de quitosana.

Sabendo que a quitosana é um aminopolissacarídeo natural, em estudo realizado por Zou et al. (2018) foi descoberto que os polissacarídeos exógenos são capazes de aumentar o teor de Chl *a* nas folhas de mudas do trigo sob estresse salino, sendo este resultado observado na Chl *a* das plantas de feijão-caupi.

Farouk e Amany (2012) mencionaram que existem diferentes maneiras de melhorar o conteúdo de pigmentos fotossintéticos, por exemplo, aumentando os níveis endógenos de citocininas, que estimulam a síntese de clorofila ou previnem o declínio nos complexos proteicos de pigmentos captadores de luz (clorofila *a* ou *b*). Essa ação protege o aparelho fotossintético e os danos oxidativos dos lipídios, pigmentos e proteínas do cloroplasto (Lai et al., 2007). Além disso, é possível que o aumento do fornecimento de magnésio (íon crucial no centro do pigmento fotossintético) possa melhorar a síntese de clorofila (Ramadam et al., 2020). Sendo sugerido que a quitosana exógena poderia aliviar o estresse abiótico pelo aumento da concentração de clorofila, diminuindo a transpiração estomática e não estomática, bem como melhorando a eficiência do uso da água.





\*, \*\* e <sup>ns</sup> significativo a  $p \leq 0,05$ ,  $p \leq 0,01$  e não significativo respectivamente. Para mesma concentração de quitosana, as médias seguidas por letras diferentes indicam diferenças significativas entre os níveis de salinidade de água (CEa).

**Figura 4.** Clorofila *a* - Chl *a* (A), clorofila *b* - Chl *b* (B), clorofila *total* - Chl *t* (C) e carotenoides - Car (D) das plantas de feijão-caupi, em função da interação entre a condutividade elétrica da água de irrigação (CEa) e aplicações foliares de quitosana, aos 45 dias após a semadura.

A quitosana até a concentração de  $0,61 \text{ g L}^{-1}$  promoveu aumento na Chl *b* ( $974,67 \mu\text{g mL}^{-1}$ ) quando irrigadas com CEa de  $0,6 \text{ dS m}^{-1}$  (Figura 4B), no entanto, para o nível de CEa de  $4,0 \text{ dS m}^{-1}$  o maior valor observado foi na concentração de  $1,00 \text{ g L}^{-1}$  ( $867,99 \mu\text{g mL}^{-1}$ ). Constatou-se ainda que, não houve diferença significativa entre as plantas irrigadas com CEa de  $0,6$  e  $4,0 \text{ dS m}^{-1}$  quando submetidas a concentração de  $0,75$  e  $1,00 \text{ g L}^{-1}$ .

Para a Chl *t* (Figura 4C), o maior valor observado na CEa de  $0,6 \text{ dS m}^{-1}$  foi na concentração de  $0,56 \text{ g L}^{-1}$  ( $2858,6 \mu\text{g mL}^{-1}$ ), já para a CEa de  $4,0 \text{ dS m}^{-1}$ , o maior valor foi na concentração de  $1,00 \text{ g L}^{-1}$ , verificou-se também que, a concentração de  $1,00 \text{ g L}^{-1}$  de quitosana não diferiu significativamente entre os dois níveis de condutividade elétrica da água de irrigação. Constatou-se ainda que, sem a aplicação de quitosana, não ocorreu diferença entre os dois níveis de CEa.

A pulverização foliar de quitosana com a concentração de  $1,00 \text{ g L}^{-1}$  e com CEa de  $4,0 \text{ dS m}^{-1}$  resultou no maior valor do teor de Car (Figura 4D), sendo de  $179,59 \mu\text{g mL}^{-1}$ , representando aumento de  $9,25\%$  ( $15,2 \mu\text{g mL}^{-1}$ ), quando comparadas com a testemunha sem aplicação de quitosana ( $164,39 \mu\text{g mL}^{-1}$ ). Observou-se ainda que, não houve diferença significativa entre os níveis de condutividade elétrica da água de irrigação

quando submetidas a concentração de  $1,00 \text{ g L}^{-1}$ , demonstrando desta forma o efeito benéfico da quitosana quando aplicada em concentrações adequadas.

Behboudi et al. (2019) ao avaliarem a cultura do trigo sob estresse hídrico obtiveram como resultado aumento de 9,21% ( $0,07 \text{ mg g}^{-1}$ ) na clorofila ao utilizar da quitosana via foliar ( $90 \text{ mg L}^{-1}$ ), quando comparadas com o tratamento sob estresse hídrico e sem aplicação de quitosana ( $0,76 \text{ mg g}^{-1}$ ), demonstrando que, o uso da quitosana poderia aumentar o conteúdo de pigmentos fotossintéticos e, por sua vez, promover a fotossíntese líquida em plantas, além disso, o papel da quitosana no aumento do teor de clorofila pode ser devido ao teor de N da quitosana, que desempenha um papel importante no anel tetrapirrol da clorofila.

A degradação da clorofila sob estresse salino está geralmente relacionada ao acúmulo das espécies reativas de oxigênio (EROs), que causa peroxidação lipídica das membranas do cloroplasto (ZOU et al., 2018), sendo observado por Oliveira et al. (2018), em que a medida que os níveis de CEa aumentam o conteúdo de clorofila *a*, *b* e *total* na cultura do feijão-caupi decresceram linearmente, contatando no tratamento mais severo de  $12,5 \text{ dS m}^{-1}$  uma redução de 31, 20 e 25 % em relação aos seus tratamentos controles, respectivamente para clorofila *a*, *b* e *total*.

A aplicação foliar de quitosana na concentração de  $1,00 \text{ g L}^{-1}$  não diferiu significativamente sob os níveis de CEa no teor de Chl *a*, *b*, *total* e de Car sob condições de estresse salino, possivelmente a quitosana protegeu as folhas do feijão-caupi de possíveis degradação proporcionado pelo estresse salino, levando a alta eficiência na fotossíntese, o que pode ser causado pelo aumento da absorção de nutrientes pelas plantas, conforme demonstrado por Van Nguyen et al. (2013).

Sendo assim, o efeito positivo da quitosana no conteúdo de pigmentos fotossintéticos sob estresse salino pode estar relacionado ao seu papel significativo na inibição da absorção de  $\text{Na}^+$ , melhorando a absorção de elementos essenciais (por exemplo, nitrogênio e potássio) e aumentando a biossíntese de cloroplasto e clorofila (Gohari et al., 2023). Além disso, a aplicação de quitosana proporciona aumento críticos na citocinina, que subsequentemente aumenta a biossíntese da clorofila sob salinidade (Bakhom et al., 2020).

A interação entre os níveis de condutividade elétrica da água de irrigação e as concentrações de quitosana afetou de forma significativa ( $p \leq 0,01$ ) a fluorescência inicial ( $F_0$ ) e a eficiência quântica do fotossistema II ( $F_v/F_m$ ) das plantas de feijão-caupi (Tabela 6). Da mesma forma, as concentrações de quitosana, isoladamente, exibiram efeito

significativo para a  $F_0$  e  $F_v/F_m$ . Já os níveis de CEa de forma isolada, afetaram significativamente ( $p \leq 0,01$ ) todas as variáveis de fluorescência da clorofila estudadas.

**Tabela 6.** Resumo da análise de variância referente a fluorescência inicial ( $F_0$ ), fluorescência máxima ( $F_m$ ), fluorescência variável ( $F_v$ ) e eficiência quântica máxima do fotossistema II ( $F_v/F_m$ ) das plantas de feijão-caupi irrigadas irrigadas com água de diferentes níveis de condutividade elétrica e aplicação foliar de quitosana, aos 45 dias após a semeadura.

Fonte de variação	GL	Quadrados médios			
		$F_0$	$F_m$	$F_v$	$F_v/F_m$
Condutividade elétrica da água de irrigação (CEa)	1	113,74**	32698,06**	36564,04**	0,09**
Concentrações de quitosana (CQ)	4	72,23**	1651,84 <sup>ns</sup>	2113,25 <sup>ns</sup>	0,002**
Regressão linear	1	45,79**	1222,89 <sup>ns</sup>	755,87 <sup>ns</sup>	0,00009 <sup>ns</sup>
Regressão quadrático	1	239,99**	4036,93*	6427,92**	0,009**
Interação (CEa × CQ)	4	120,08**	1126,29 <sup>ns</sup>	1682,94 <sup>ns</sup>	0,002**
Resíduo	107	6,5	929,02	933,42	0,0003
CV (%)		2,89	6,26	7,66	2,33

<sup>ns</sup>, \*\* e \* respectivamente não significativo, significativo a  $p \leq 0,01$  e significativo a  $p \leq 0,05$ . CV: Coeficiente de variação,

GL: Grau de liberdade.

O aumento das concentrações de quitosana proporcionou um efeito linear decrescente na fluorescência inicial ( $F_0$ ) de 3,17% por incremento unitário (Figura 5A), para as plantas irrigadas com CEa de 0,6 dS  $m^{-1}$ . Já para as plantas irrigadas com CEa de 4,0 dS  $m^{-1}$ , a concentração de 1,00 g  $L^{-1}$  de quitosana destacou-se com o maior valor de  $F_0$  (93,15 elétrons  $quantum^{-1}$ ), constata-se ainda, aumento de 7,71% (6,67 elétrons  $quantum^{-1}$ ) ao comparar as plantas submetidas aos níveis de CEa (0,6 e 4,0 dS  $m^{-1}$ ) sob mesma concentração de quitosana (1,00 g  $L^{-1}$ ). Verifica-se ainda que, as plantas pulverizadas com 0,25 e 0,75 g  $L^{-1}$  não diferiram de forma significativa, independentemente dos níveis de CEa (0,6 e 4,0 dS  $m^{-1}$ ), demonstrando o efeito benéfico da quitosana sob concentrações adequadas.

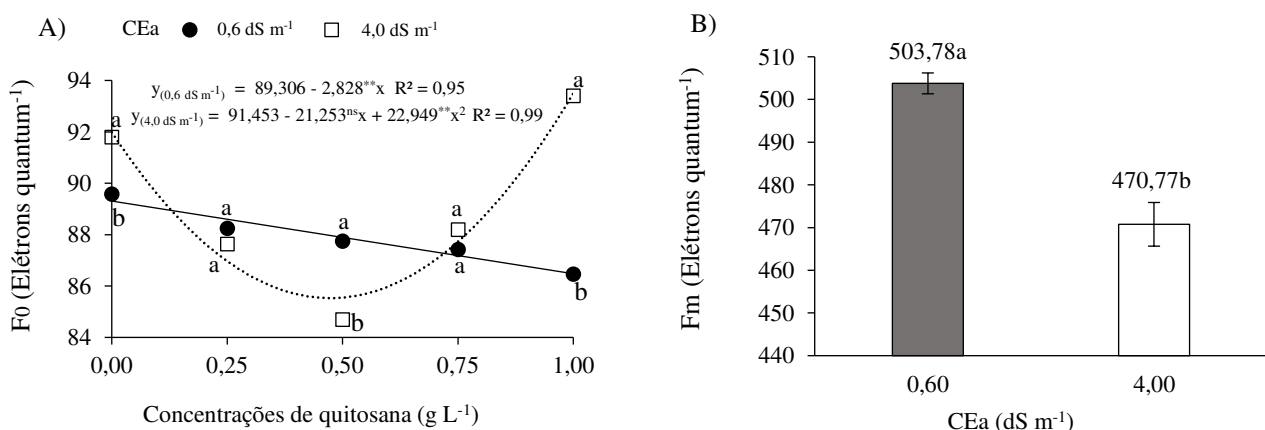
A razão provável para o aumento dos parâmetros de fluorescência da clorofila sob condições de salinidade pode estar relacionada ao efeito da quitosana na prevenção da transferência de  $Na^+$  das raízes para as folhas e, em seguida, na diminuição dos efeitos tóxicos do  $Na^+$  no sistema fotossintético, o que subsequentemente melhora a  $F_0$  (Gohari et al., 2023).

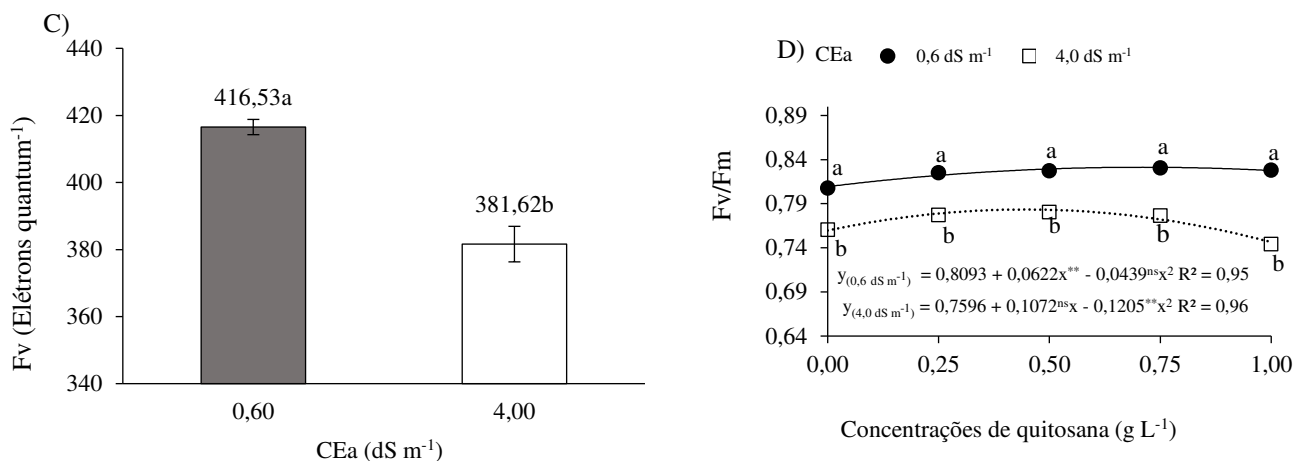
No entanto, para a  $F_m$  (Figura 5B), verifica-se que ocorreu uma redução de 6,55% (33,01 elétrons  $quantum^{-1}$ ) à medida que o nível de CEa aumentou. Sendo constatado que,

o estresse salino limitou a absorção da energia nos centros de reação luminoso, notadamente pelo acúmulo excessivo de íons específicos, resultando em um desequilíbrio na atividade metabólica da planta, levando a formação de espécies reativas de oxigênio, que por sua vez limitam a atividade energética dos pigmentos fotossintéticos (Saddiq et al., 2021).

Efeito semelhante foi observado também por Fernandes et al. (2022), em que ocorreu uma redução de 14,59% na Fm das plantas de pinheira irrigadas com CEa de 4,0 dS m<sup>-1</sup> em comparação com as irrigadas com CEa de 1,3 dS m<sup>-1</sup>. De acordo com estes autores tal redução na Fm pode ser explicada pela ação do excesso de sais na fotorredução da quinona e nas membranas dos tilacóides como consequência da entrada de elétrons no fotossistema.

Da mesma forma, o aumento do nível de CEa resultou na redução de 8,38% (34,91 elétrons quantum<sup>-1</sup>) da fluorescência variável (Fv) (Figura 5C). Por se tratar de energia potencial ativa no fotossistema, essa redução indica uma limitação na ativação da cadeia transportadora de elétrons, que é responsável pela geração de energia na forma de ATP e NADPH para o ciclo de Calvin, resultando na diminuição da capacidade fotossintética da planta (Silva et al., 2018; Lotfi et al., 2020). Resultados semelhantes foram observados por Silva et al. (2022b) ao analisar a eficiência fotoquímica de plantas de gravioleira (*Annona muricata* L.) cv. Morada Nova irrigadas com águas salobras, constatando-se uma redução de 17,41% na Fv das plantas cultivadas sob CEa de 4,0 dS m<sup>-1</sup> em comparação com aquelas que receberam 0,8 dS m<sup>-1</sup>.





\*\* e <sup>ns</sup> significativo a  $p \leq 0,01$  e não significativo, respectivamente. Para mesma concentração de quitosana, as médias seguidas por letras diferentes indicam diferenças significativas entre os níveis de salinidade de água (CEa).

**Figura 5.** Fluorescência inicial - F0 (A) e eficiência quântica do fotossistema II - Fv/Fm (D) das plantas de feijão-caupi em função da interação entre a condutividade elétrica da água (CEa) de irrigação e concentrações de quitosana, fluorescência máxima - Fm (B) e fluorescência variável - Fv (C) das plantas de feijão-caupi em função da condutividade elétrica da água de irrigação aos 45 dias após a semeadura

Para a eficiência quântica do fotossistema II (Fv/Fm) (Figura 5D), o aumento das concentrações de quitosana até 0,71 g L<sup>-1</sup> sob nível de CEa de 0,6 dS m<sup>-1</sup> se destacou com o maior valor (0,83), sendo observado aumento de 2,68% (0,02) ao comparar com as plantas testemunhas (sem aplicação). Já para a CEa de 4,0 dS m<sup>-1</sup>, o maior valor observado foi nas plantas pulverizadas com 0,45 g L<sup>-1</sup> de quitosana (0,78). Em todos os níveis de quitosana, sob CEa de 4,0 dS m<sup>-1</sup> observa-se os valores de Fv/Fm significativamente menor que os obtidos sob CEa de 0,6 dS m<sup>-1</sup>.

Vários autores consideram valores da Fv/Fm entre 0,75 e 0,85 como normais em plantas não estressadas (Silva et al., 2021b; Larbi et al., 2020), desta forma, no presente estudo, não ocorreu dano no aparato fotossintético das plantas de feijão-caupi com o aumento da salinidade da água utilizada na irrigação.

Segundo Oliveira et al. (2018), a salinidade pode influenciar diretamente o fotossistema II, promovendo a inibição da quebra da molécula de água para obtenção dos elétrons essenciais na fase fotoquímica da fotossíntese, bem como diminuindo a concentração de pigmentos fotossintéticos, como a clorofila.

Estudo realizado por Geng et al. (2020), relataram que, as mudanças na eficiência fotoquímica (Fv/Fm) em folhas de grama rasteira (*Agrostis stolonidera*), avaliadas sob estresse salino e concentrações de quitosana (100, 200, 500, 1000 e 2000 mg L<sup>-1</sup>), proporcionou um declínio significativo na Fv/Fm quando a grama rasteira foi submetida apenas ao estresse salino. No entanto, houve um aumento significativo da Fv/Fm sob tratamento com quitosana, sugerindo que, a grama rasteira é sensível ao estresse salino, mas a aplicação de quitosana sob estresse melhora a tolerância da cultura.

Houve interação significativa ( $p \leq 0,01$ ) entre os níveis de condutividade elétrica da água de irrigação e as concentrações de quitosana para diâmetro de haste (DH), número de folhas (NF) e área foliar (AF) aos 30 dias após a semeadura (DAS) e para comprimento de haste (CH), DH, NF e AF aos 45 DAS (Tabela 7). Verifica-se ainda efeito significativo dos fatores (CEa e CQ) analisados de forma isolada para a AP aos 30 DAS.

**Tabela 7.** Resumo da análise de variância referente ao comprimento de haste (CH), diâmetro de haste (DH), número de folhas (NF) e área foliar (AF) das plantas de feijão-caupi, irrigadas com água de diferentes níveis de condutividade elétrica da água de irrigação e concentrações de quitosana, aos 30 e 45 dias após a semeadura (DAS).

Fonte de variação	GL	Quadrados médios			
		CH		DH	
		30 DAS	45 DAS	30 DAS	45 DAS
Condutividade elétrica da água de irrigação (CEa)	1	452,41**	1595,12**	0,88**	85,68**
Concentrações de quitosana (CQ)	4	38,77*	27,36**	3,11**	0,98**
Regressão linear	1	137,26*	9,35**	10,48**	0,94*
Regressão quadrático	1	1,64 <sup>ns</sup>	82,83**	1,56**	2,73**
Interação (CEa × CQ)	4	32,82 <sup>ns</sup>	2,86**	0,38**	0,410*
Resíduo	107	15,19	2,72	5,29	0,15
CV (%)		25,49	4,61	4,48	6,17

Fonte de variação	GL	Quadrados médios			
		NF		AF	
		30 DAS	45 DAS	30 DAS	45 DAS
Condutividade elétrica da água de irrigação (CEa)		17,63**	1050,2**	943,77 <sup>ns</sup>	9104052**
Concentrações de quitosana (CQ)		5,07**	57,61**	149434**	310502**
Regressão linear		5,40**	192,60**	166273**	1106854**
Regressão quadrático		4,76**	14,17*	304961**	62611,46**
Interação (CEa × CQ)		52,72**	49,65**	113127**	78051**
Resíduo		0,40	1,59	1046,98	300,72
CV (%)		4,98	5,88	6,78	1,52

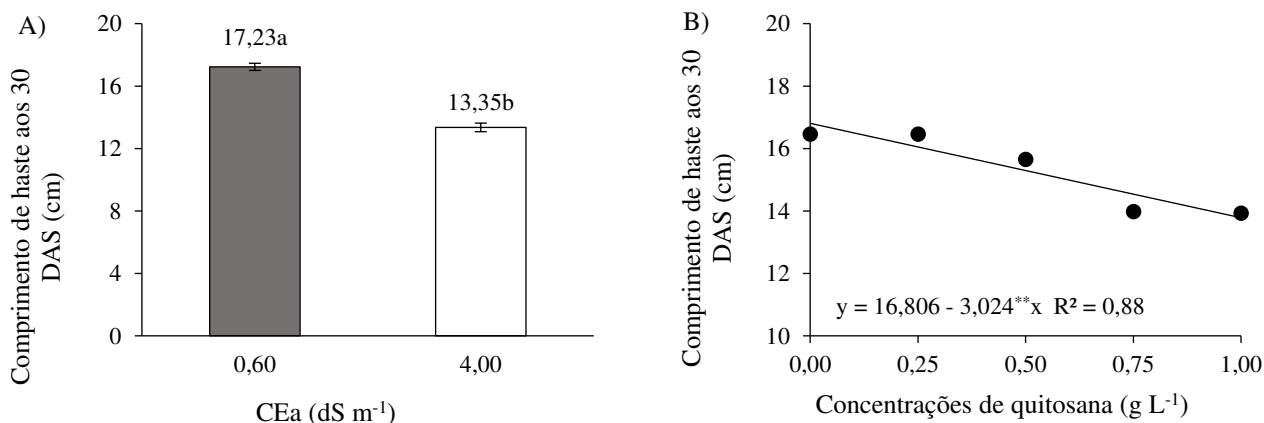
<sup>ns</sup>, \*, \*\* respectivamente não significativo, significativo a  $p \leq 0,05$  e  $p \leq 0,01$ . CV: Coeficiente de variação, GL: Grau de liberdade.

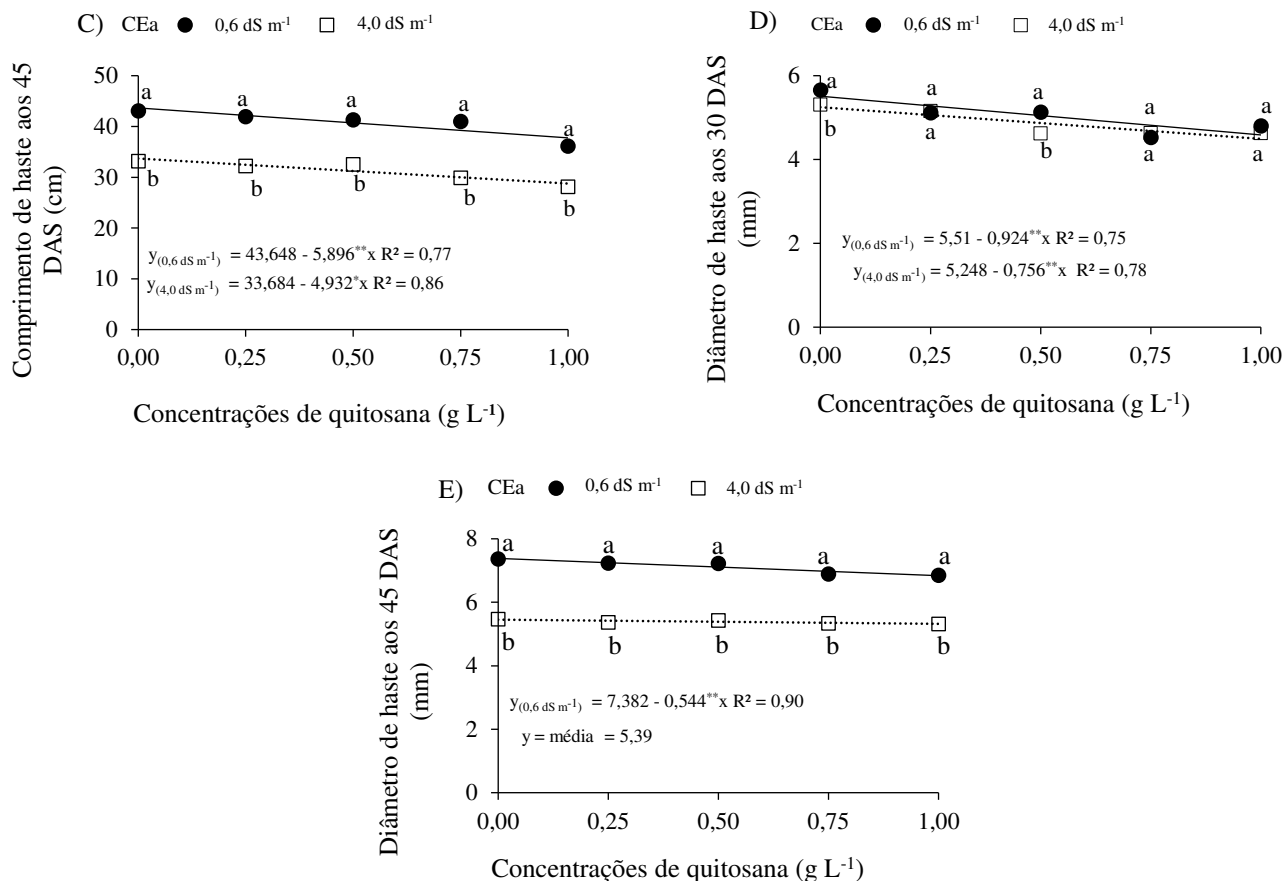


Ao submeter as plantas de feijão-caupi aos níveis de CEa (Figura 6A), verifica-se redução de 22,51% (3,88 cm) no CH aos 30 DAS ao comparar as plantas irrigadas com CEa de  $0,6 \text{ dS m}^{-1}$  (17,23 cm) com as de  $4,0 \text{ dS m}^{-1}$  (13,35 cm). Constata-se ainda que, as concentrações de quitosana tiveram redução média de 17,99% por incremento unitário (Figura 6B).

Os níveis de salinidade reduziram significativamente o CH, o que pode ser devido a capacidade da salinidade em reduzir o crescimento das raízes, afeta sua morfologia e fisiologia que, por sua vez, altera a absorção de água e íons, o que levou à diminuição do crescimento das plantas (Tejera et al., 2006) ou reduzindo a absorção de água e a atividade dos processos metabólicos (Mohamed et al., 2018a). Mohamed et al. (2018b) relataram que as plantas de trigo foram afetadas negativamente pelo estresse salino pela redução no crescimento. Além disso, Akladious e Mohamed (2018) relataram que, sob estresse salino, os critérios morfológicos foram significativamente suprimidos em plantas de pimenta.

O aumento das concentrações de quitosana sob os níveis salinos de  $0,6$  e  $4,0 \text{ dS m}^{-1}$ , proporcionaram reduções no CH aos 45 DAS de 13,51 e 14,64% por incremento unitário (Figura 6C), respectivamente.





\*, \*\* e ns significativo a  $p \leq 0,05$ ,  $p \leq 0,01$  e não significativo, respectivamente. Para mesma concentração de quitosana, as médias seguidas por letras diferentes indicam diferenças significativas entre os níveis de salinidade de água (CEa).

**Figura 6.** Comprimento de haste de plantas de feijão-caupi em função dos níveis de condutividade elétrica da água de irrigação (A) e em função das concentrações de quitosana (B) aos 30 dias após o semeio; comprimento de haste (C) e diâmetro de haste (E) aos 45 dias após o semeio e diâmetro de haste (D) aos 30 dias após a semeadura, das plantas de feijão-caupi em função da interação entre a condutividade elétrica da água de irrigação (CEa) e aplicações foliares de quitosana.

Para a variável DH, aos 30 DAS (Figura 6D), também ocorreu efeito semelhante, ou seja, redução em função do incremento unitário das concentrações de quitosana, ao comparar as plantas pulverizadas com a concentração de 1 g L<sup>-1</sup> com as plantas testemunha (0 g L<sup>-1</sup>), constata-se reduções de 16,77 e 14,41% para as plantas irrigadas com CEa de 0,6 e 4,0 dS m<sup>-1</sup>, respectivamente. Verifica-se ainda que, não houve diferença significativa entre os níveis de CEa ao utilizar as concentrações de quitosana de 0,25, 0,50 e 1,00 g L<sup>-1</sup>.

Para o DH aos 45 DAS (Figura 6E) ocorreu o mesmo efeito, sendo uma redução de 7,37% em função do incremento unitário das concentrações de quitosana para as plantas irrigadas com CEa de 0,6 dS m<sup>-1</sup>, enquanto sob CEa de 4,0 dS m<sup>-1</sup> não se observou diminuição. As plantas irrigadas com CEa de 0,6 e 4,0 dS m<sup>-1</sup> foram influenciadas de forma significativa em todos os níveis de quitosana.

Comportamento linear decrescente no CH e DH também foi observado por Sá et al. (2018c), ao avaliar o crescimento das plantas de feijão-caupi sob estresse salino e adubação fosfatada em que, para cada aumento de 1,0 dS m<sup>-1</sup> na salinidade da água de irrigação proporcionou redução de 0,7 cm (7,35%) e 0,15 mm (3,11%) na altura de planta e diâmetro de caule, respectivamente, considerando que a salinidade influencia o crescimento das plantas de feijão-caupi, causado pelos sais de cloreto de sódio que afeta a disponibilidade, absorção, transporte, assimilação e distribuição de nutrientes pela planta.

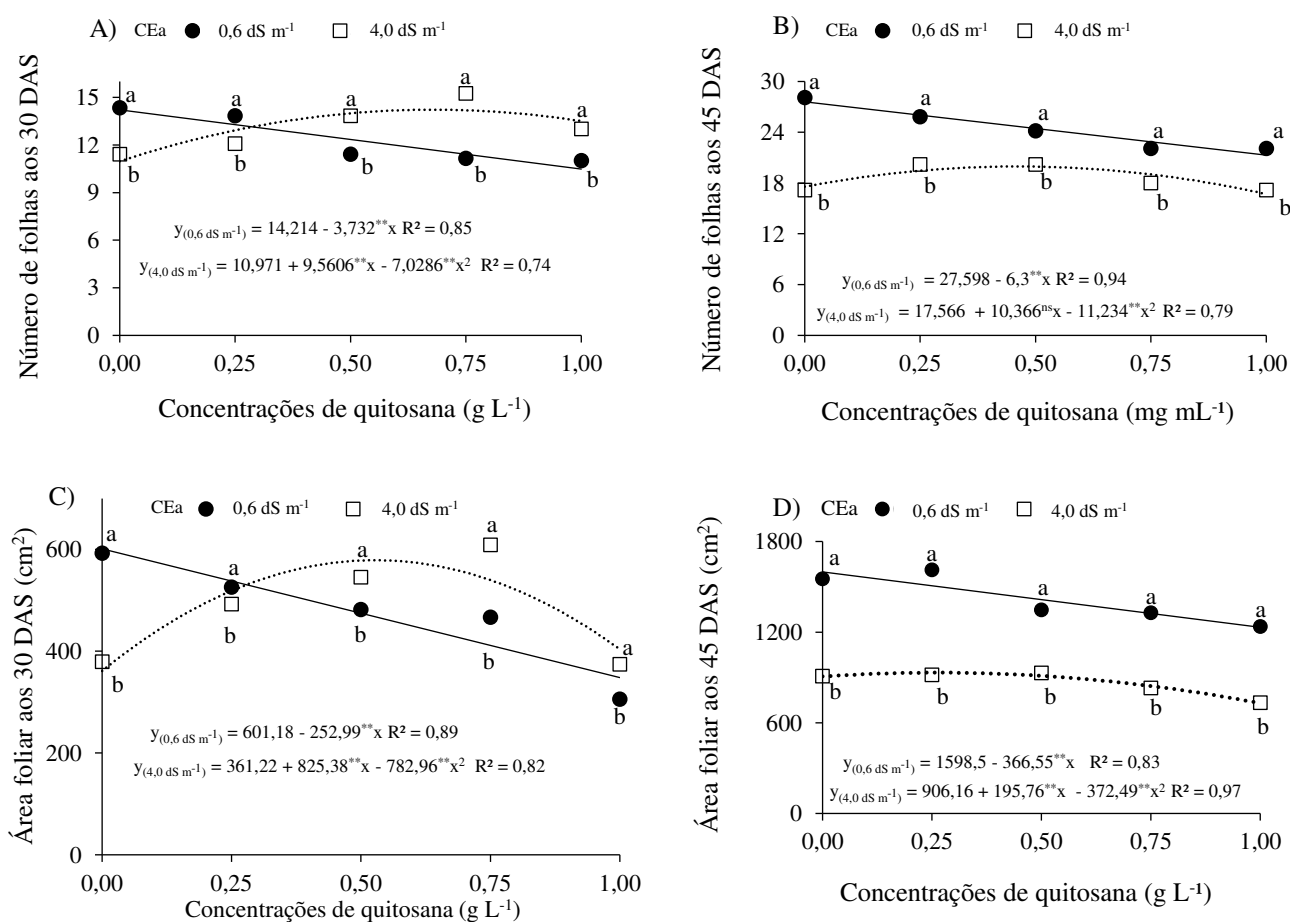
De forma contrária ao que foi observado nas plantas de feijão-caupi, Ullah et al. (2020), ao avaliarem o efeito da aplicação exógena de quitosana na concentração de 150 mg L<sup>-1</sup> em tomateiro cultivar Rio Grande sob estresse salino de NaCl a 150 mM obtiveram aumento de 14,35 e 0,22% para CH e DH, respectivamente, quando compararam com as plantas sob estresse salino e sem aplicação de quitosana.

Apesar da quitosana conter o grupo amino, responsável por aumentar a área fotossintética das plantas de pepino, maximizando a fotossíntese (Sofy et al. 2020) e que, aumenta o crescimento e desenvolvimento das plantas, levando ao aumento da espessura do caule (Ibraheim; Mohsen, 2015), não foi observado tal aumento no CH e DH nas plantas de feijão-caupi no presente estudo.

Ao aumentar as concentrações de quitosana nas plantas irrigadas com CEa de 0,6 dS m<sup>-1</sup> houve uma redução do NF aos 30 e 45 DAS, de 26,25 e 22,83% por incremento unitário (Figura 7A e 7B), respectivamente. Entretanto, nas plantas irrigadas com CEa de 4,0 dS m<sup>-1</sup>, constata-se aumento no NF aos 30 e 45 DAS ao utilizar das concentrações de quitosana até 0,68 e 0,46 g L<sup>-1</sup>, sendo o valor de 14,22 e 19,96, respectivamente, correspondendo a aumento de 29,61% (3,25) aos 30 DAS e 13,63% (2,39) aos 45 DAS em relação a testemunha (0 g L<sup>-1</sup>). Verifica-se também que, ocorreu aumento de 23,05% (2,53) no NF aos 30 DAS ao comparar as concentrações de 0 (10,97) e 1 g L<sup>-1</sup> (13,50) sob irrigação de 4,0 dS m<sup>-1</sup>. Contrariamente, aos 45 DAS constatou-se redução de 4,94% (0,88) ao comparar as concentrações de 0 (17,57) e 1 g L<sup>-1</sup> (16,69) sob CEa de 4,0 dS m<sup>-1</sup>.

Silva (2021a) ao avaliar a erva cidreira (*Lippia alba* Mill.), cultivada *in vitro* utilizando a quitosana como elicitadora, obteve como resultado aumento de 50 e 15% no número de folhas ao utilizar 600 mg L<sup>-1</sup> de quitosana por 5 dias e 200 mg L<sup>-1</sup> por 10 dias, respectivamente, comparadas ao tratamento controle (sem a aplicação e elicitador).

Sabe-se que, a salinidade reduz o crescimento das plantas através da diminuição da expansão celular devido ao baixo nível de absorção de água, seguida pela toxidez do Na<sup>+</sup> que concentra íons no protoplasma, promovendo um efeito tóxico que compromete a produção de biomassa do caule, influenciando no número de folhas e na altura da planta (Figueredo et al., 2018). No entanto, sob condições de estresse salino, a quitosana aumentou significativamente o número de folhas, o que pode ser devido a sua capacidade em aumentar o nível de fósforo e potássio nas plantas, o que, em última análise, aumenta o número de células, o tamanho das células, o desenvolvimento de cloroplastos e a síntese de clorofila (Latif; Mohamed, 2016).



\*\* e <sup>ns</sup> significativo a  $p \leq 0,01$  e não significativo, respectivamente. Para mesma concentração de quitosana, as médias seguidas por letras diferentes indicam diferenças significativas entre os níveis de salinidade de água (CEa).

**Figura 7.** Número de folhas (A, B) e área foliar (C, D) das plantas de feijão-caupi em função da interação entre a condutividade elétrica da água de irrigação (CEa) e aplicações foliares de quitosana, aos 30 (A, C) e 45 (B, D) dias após a semeadura.

Para a AF aos 30 e 45 DAS (Figura 7C e 7D), o aumento das concentrações de quitosana proporcionaram redução, com incremento unitário de 42,08 e 22,93%, respectivamente, quando irrigadas com a CEa de 0,6 dS m<sup>-1</sup>.

Ao submeter as plantas de feijão-caupi a irrigação de 4,0 dS m<sup>-1</sup> até a concentração de 0,53 g L<sup>-1</sup>, ocorreu aumento na AF aos 30 DAS (Figura 7C), sendo observado maior valor de 578,74 cm<sup>2</sup>, verifica-se também que, o maior valor de AF aos 45 DAS para a CEa de 4,0 dS m<sup>-1</sup> foi 931,88 cm<sup>2</sup> (Figura 7D), quando as plantas de feijão-caupi foram submetidas as concentrações de quitosana até 0,26 g L<sup>-1</sup>. Constata-se ainda que houve aumento de 60,22% (217,52 cm<sup>2</sup>) e 2,84% (25,72 cm<sup>2</sup>) na AF aos 30 e 45 DAS, respectivamente, quando comparadas com a testemunha (0 g L<sup>-1</sup>).

Almeida (2018), analisando o efeito da aplicação foliar de quitosana (140 mg L<sup>-1</sup>) em diferentes híbridos de milho (DKB 390 tolerante e BRS 1010 sensível) no pré florescimento sob déficit hídrico, obteve como resultado aumento na área foliar de 24,49 e 21,74% para os híbridos DKB 390 (4772,6 cm<sup>2</sup>) e BRS 1010 (4308,8 cm<sup>2</sup>), respectivamente, quando comparados com o tratamento sob estresse hídrico e sem aplicação de quitosana (3833,6 e 3539,2 cm<sup>2</sup>). Tal resultado pode estar relacionado a capacidade da quitosana em induzir importantes atividades fisiológicas de plantas em células e tecidos por meio da regulação de processos bioquímicos no nível molecular para melhorar o crescimento e desenvolvimento das plantas (Bakhoun et al., 2020).

Sob condições de salinidade, verifica-se que a área foliar foi significativamente aumentada ao utilizar a quitosana, o que pode ser devido a um aumento na disponibilidade e consumo de água e nutrientes essenciais, resultando num aumento nas principais atividades das enzimas do metabolismo do nitrogênio e na melhoria do transporte de nitrogênio, o que aumentou a taxa de fotossíntese, crescimento e desenvolvimento das plantas (Guan et al. 2009).

As reduções nas variáveis de crescimento das plantas de feijão-caupi, como as observadas sob estresse salino, resultam, segundo Dias e Blanco (2010), dos efeitos indiretos causados pela salinidade, como dificuldade de absorção da água, toxicidade de íons específicos e interferência nos processos fisiológicos das plantas, assim como íons

decorrentes do acúmulo excessivo de sais da água que são fixados nos extratos superficiais do solo, sob baixa lixiviação.

Verifica-se, de acordo com o resumo da análise de variância (Tabela 8), efeito significativo ( $p \leq 0,01$ ) da interação entre a condutividade elétrica da água de irrigação (CEa) e as concentrações de quitosana (CQ) sobre a taxa de crescimento relativo do diâmetro de haste ( $TCR_{DH}$ ) e da área foliar ( $TCR_{AF}$ ) para intervalo de 30 e 45 dias após o semeio enquanto para a taxa de crescimento relativo de comprimento de haste ( $TCR_{CH}$ ) não foi verificado quaisquer (isolado ou interativo) efeito dos fatores estudados.

**Tabela 8.** Resumo da análise de variância referente a taxa de crescimento relativo do comprimento de haste ( $TCR_{CH}$ ), diâmetro de haste ( $TCR_{DH}$ ) e área foliar ( $TCR_{AF}$ ) e taxa de crescimento absoluto do comprimento de haste ( $TCA_{CH}$ ), diâmetro de haste ( $TCA_{DH}$ ) e área foliar ( $TCA_{AF}$ ) das plantas de feijão-caupi, irrigadas com água de diferentes níveis de condutividade elétrica da água de irrigação e concentrações de quitosana, no período de 30 a 45 dias após a semeadura.

Fonte de variação	GL	Quadrados médios		
		$TCR_{CH}$	$TCR_{DH}$	$TCR_{AF}$
Condutividade elétrica da água de irrigação (CEa)	1	0,0002 <sup>ns</sup>	0,007 <sup>**</sup>	0,03 <sup>**</sup>
Concentrações de quitosana (CQ)	4	0,0002 <sup>ns</sup>	0,0003 <sup>**</sup>	0,002 <sup>**</sup>
Regressão linear	1	0,0003 <sup>ns</sup>	0,0007 <sup>**</sup>	0,00002 <sup>ns</sup>
Regressão quadrático	1	0,0001 <sup>ns</sup>	0,0004 <sup>**</sup>	0,005 <sup>**</sup>
Interação (CEa × CQ)	4	0,0005 <sup>ns</sup>	0,00005 <sup>**</sup>	0,002 <sup>**</sup>
Resíduo	107	0,0003	0,000008	0,00002
CV (%)		32,32	18,09	8,39

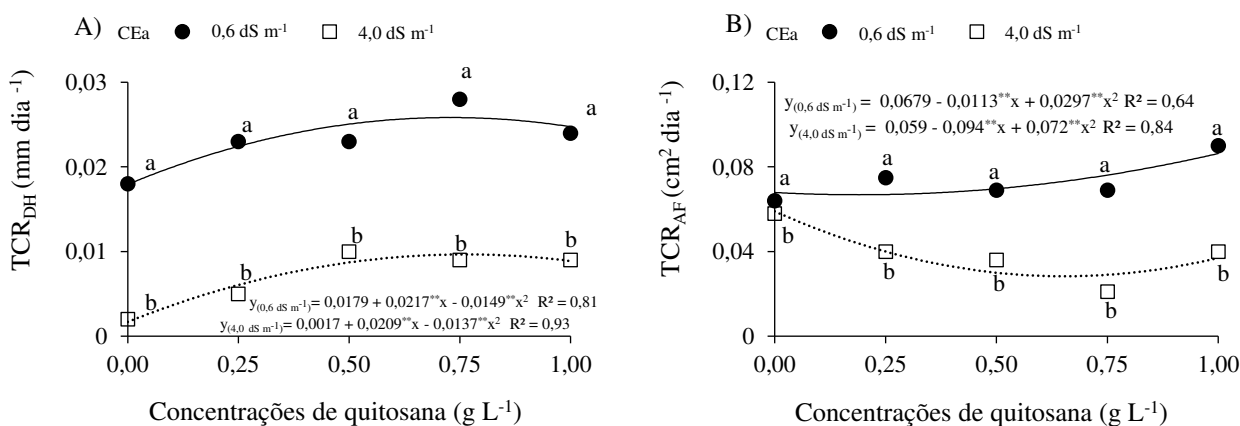
Fonte de variação	GL	Quadrados médios		
		$TCA_{CH}$	$TCA_{DH}$	$TCA_{AF}$
Condutividade elétrica da água de irrigação (CEa)	1	5,34 <sup>**</sup>	0,295 <sup>**</sup>	41290,69 <sup>**</sup>
Concentrações de quitosana (CQ)	4	0,27 <sup>**</sup>	0,06 <sup>**</sup>	848,56 <sup>**</sup>
Regressão linear	1	0,54 <sup>**</sup>	0,01 <sup>**</sup>	1845,02 <sup>**</sup>
Regressão quadrático	1	0,46 <sup>**</sup>	0,01 <sup>**</sup>	405,39 <sup>**</sup>
Interação (CEa × CQ)	4	0,09 <sup>**</sup>	0,001 <sup>**</sup>	265,34 <sup>**</sup>
Resíduo	107	0,01	0,00	5,07
CV (%)		8,67	15,47	5,10

<sup>ns, \*\*</sup> respectivamente não significativo, significativo a  $p \leq 0,01$ . CV: Coeficiente de variação, GL: Grau de liberdade.

O aumento das concentrações de quitosana até 0,73 g L<sup>-1</sup> proporcionou o maior valor de  $TCR_{DH}$  (0,0258 mm dia<sup>-1</sup>) quando as plantas de feijão-caupi foram irrigadas com CEa de 0,6 dS m<sup>-1</sup> (Figura 8A), verifica-se também aumento de 44,13% (0,0079 mm dia<sup>-1</sup>) ao comparar com as plantas testemunhas (0 g L<sup>-1</sup>) (0,0179 mm dia<sup>-1</sup>). Já para a CEa de 4,0 dS m<sup>-1</sup>, o maior valor constatado foi na concentração de 0,76 g L<sup>-1</sup> de quitosana (0,0097 mm dia<sup>-1</sup>). Nota-se ainda que, houve um aumento de 423,53% (0,0072 mm dia<sup>-1</sup>)

ao comparar as plantas testemunhas ( $0,0017 \text{ mm dia}^{-1}$ ) com as submetidas a concentração de  $1,00 \text{ g L}^{-1}$  ( $0,0089 \text{ mm dia}^{-1}$ ), sob condição de CEa de  $4,0 \text{ dS m}^{-1}$ . No entanto, ao comparar os valores de  $\text{TCR}_{\text{DH}}$  dos diferentes níveis de CEa ( $0,6$  e  $4,0 \text{ dS m}^{-1}$ ), constata-se redução de  $90,50\%$  ( $0,0162 \text{ mm dia}^{-1}$ ) quando as plantas foram submetidas a CEa de  $4,0 \text{ dS m}^{-1}$  ( $0,0017 \text{ mm dia}^{-1}$ ). Observa-se ainda que, houve diferença significativa dos níveis de CEa em todas as concentrações de quitosana.

O aumento da taxa de crescimento relativo do diâmetro de haste, verificado nas plantas submetidas às concentrações de até  $0,73 \text{ g L}^{-1}$  reflete a capacidade da quitosana em proporcionar aumentos na citocinina e auxina, o que motiva a divisão celular e com isso, o crescimento de plantas (Bakhoun et al., 2020).



\*\* significativo a  $p \leq 0,01$ . Médias seguidas por letras diferentes indicam diferenças significativas entre os tratamentos pelo teste de regressão polinomial linear e quadrática.

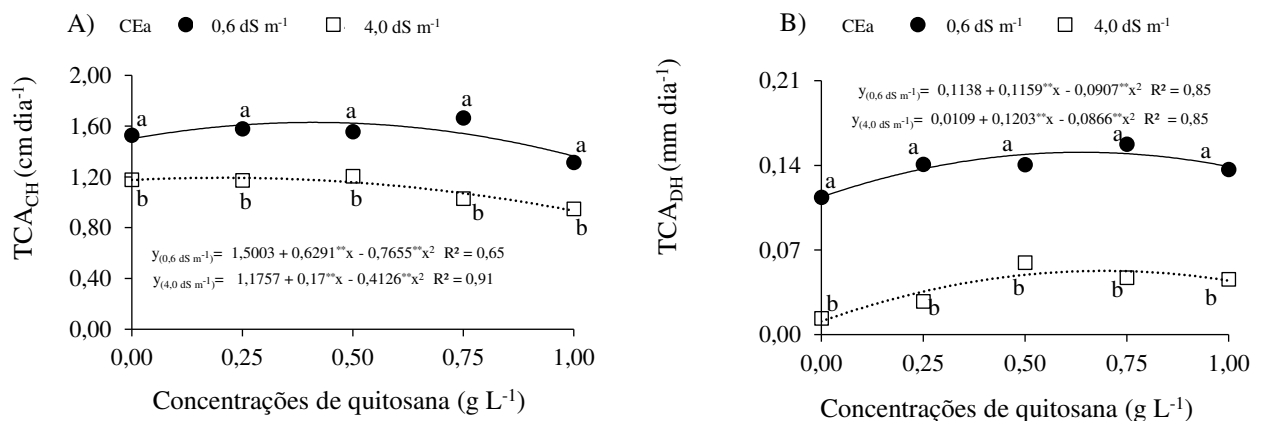
**Figura 8.** Taxa de crescimento relativo em diâmetro de haste - ( $\text{TCR}_{\text{DH}}$ ) (A) e em área foliar - ( $\text{TCR}_{\text{AF}}$ ) (B) das plantas de feijão-caupi em função da interação entre a condutividade elétrica da água de irrigação (CEa) e aplicações foliares de quitosana, no período entre 30 a 45 dias após a semeadura

Para a  $\text{TCR}_{\text{AF}}$  sob nível de CEa de  $0,6 \text{ dS m}^{-1}$  (Figura 8B), o maior valor obtido foi na concentração de  $1,00 \text{ g L}^{-1}$  de quitosana ( $0,086 \text{ cm}^2 \text{ dia}^{-1}$ ). Por outro lado, para a CEa de  $4,0 \text{ dS m}^{-1}$ , ocorreu uma redução de  $37,29\%$  ( $0,022 \text{ cm}^2 \text{ dia}^{-1}$ ) ao comparar as plantas testemunhas ( $0,059 \text{ cm}^2 \text{ dia}^{-1}$ ) com as submetidas a concentração de  $1,00 \text{ g L}^{-1}$  ( $0,037 \text{ cm}^2 \text{ dia}^{-1}$ ), sendo constatado o maior valor para a  $\text{TCR}_{\text{AF}}$  sob CEa de  $4,0 \text{ dS m}^{-1}$  na

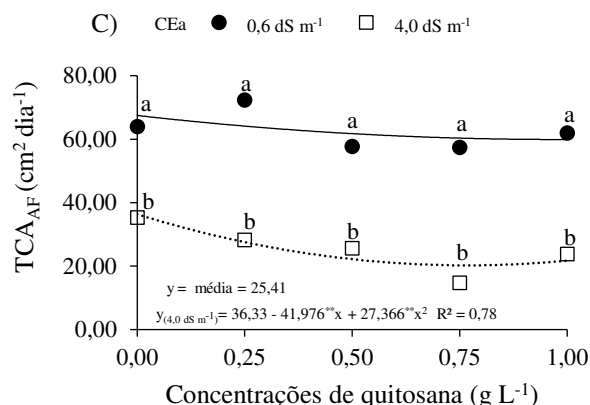
concentração de  $0 \text{ g L}^{-1}$  ( $0,059 \text{ cm}^2 \text{ dia}^{-1}$ ). Observa-se ainda que, houve diferença significativa dos níveis de CEa em todas as concentrações de quitosana.

Sabe-se que o estresse salino pode inibir o crescimento das plantas devido às restrições na absorção de água e nutrientes. Além disso, os efeitos osmóticos e iônicos resultam no fechamento parcial dos estômatos, causando alterações na taxa fotossintética e no metabolismo das plantas. Isso leva à redução da pressão de turgescência, do alongamento celular e da elasticidade da parede celular, inibindo, assim, o crescimento das plantas (Rodrigues et al., 2018; Charfeddine et al., 2019).

O aumento da salinidade sem aplicações de quitosana resultou em redução de  $0,3246 \text{ cm dia}^{-1}$  na  $\text{TCA}_{\text{CH}}$  (Figura 9A). No entanto, o aumento das concentrações de quitosana até  $0,41 \text{ g L}^{-1}$  proporcionou o maior valor de  $\text{TCA}_{\text{CH}}$  ( $1,6295 \text{ cm dia}^{-1}$ ) quando as plantas de feijão-caupi foram irrigadas com CEa de  $0,6 \text{ dS m}^{-1}$ , verifica-se também aumento de  $8,61\%$  ( $0,1292 \text{ cm dia}^{-1}$ ) ao comparar com as plantas testemunhas ( $0 \text{ g L}^{-1}$ ). Já para a CEa de  $4,0 \text{ dS m}^{-1}$ , o maior valor constatado foi na concentração de  $0,21 \text{ g L}^{-1}$  de quitosana ( $1,1932 \text{ cm dia}^{-1}$ ), sendo constatado aumento de  $1,49\%$  ( $0,0175 \text{ cm dia}^{-1}$ ). Verifica-se ainda que, houve diferença significativa entre os níveis de CEa para todas as concentrações de quitosana.







\*\* significativo a  $p \leq 0,01$ . Para mesma concentração de quitosana, as médias seguidas por letras diferentes indicam diferenças significativas entre os níveis de salinidade de água (CEa).

**Figura 9.** Taxa de crescimento absoluto em comprimento de haste - (TCA<sub>CH</sub>) (A), diâmetro de haste - (TCA<sub>DH</sub>) (B) e área foliar - (TCA<sub>AF</sub>) (C) das plantas de feijão-caupi em função da interação entre a condutividade elétrica da água de irrigação (CEa) e aplicações foliares de quitosana, no período entre 30 a 45 dias após a semeadura.

Para a TCA<sub>DH</sub> sob nível de CEa de 0,6 dS m<sup>-1</sup> (Figura 9B), o maior valor obtido foi na concentração de 0,64 g L<sup>-1</sup> de quitosana (0,1508 mm dia<sup>-1</sup>). Já para a CEa de 4,0 dS m<sup>-1</sup>, o maior valor verificado foi na concentração de 0,70 g L<sup>-1</sup> (0,0527 mm dia<sup>-1</sup>), constata-se aumento de 383,30% (0,04 mm dia<sup>-1</sup>) ao comparar com as plantas testemunhas (0,0109 mm dia<sup>-1</sup>). Observa-se ainda que, houve diferença significativa dos níveis de CEa em todas as concentrações de quitosana.

Já para a TCA<sub>AF</sub>, sob nível de CEa de 4,0 dS m<sup>-1</sup> (Figura 9C) ocorreu redução até a concentração de 0,75 g L<sup>-1</sup> de quitosana, verifica-se ainda que, o maior valor observado (36,33 cm<sup>2</sup> dia<sup>-1</sup>) foi na concentração de 0 g L<sup>-1</sup> de quitosana.

De acordo com a análise de variância (Tabela 9), a interação entre os níveis de condutividade elétrica da água de irrigação e as concentrações de quitosana influenciou significativamente ( $p \leq 0,01$ ) as variáveis de número de vagens por planta (NVP), comprimento médio de vagens (CMV), número de grãos por vagens (NGV), produção total de grãos por planta (PROG) e o índice de grãos (IG) ( $p \leq 0,05$ ) das plantas de feijão-caupi, aos 60 dias após o semeio.

**Tabela 9.** Resumo da análise de variância referente ao número de vagens por planta (NVP), comprimento médio de vagens (CMV), número de grãos por vagens (NGV), produção total de grãos por planta (PROG) e índice de grãos (IG) das plantas de feijão-caupi irrigadas com água de diferentes níveis de condutividade elétrica da água de irrigação e concentrações de quitosana, aos 60 dias após a semadura.

Fonte de variação	GL	Quadrados médios				
		NVP	CMV	NGV	PROG	IG
Condutividade elétrica da água de irrigação (CEa)	1	691,20**	281,92**	576,10**	8054,21**	8,32 <sup>ns</sup>
Concentrações de quitosana (CQ)	4	4,76**	30,06**	3,61**	38,51**	52,88**
Regressão linear	1	3,80**	112,05**	6,45**	45,35**	39,23**
Regressão quadrática	1	0,24 <sup>ns</sup>	3,79**	3,99**	74,02**	117,75**
Interação (CEa × CQ)	4	3,8**	2,21**	5,56**	8,64**	5,50*
Resíduo	107	0,39	0,12	0,14	0,26	1,43
CV (%)		8,42	1,76	3,42	2,97	1,55

<sup>ns</sup>, \*, \*\* respectivamente, não significativo, significativo a  $p \leq 0,05$  e  $p \leq 0,01$ . CV: Coeficiente de variação, GL: Grau de liberdade.

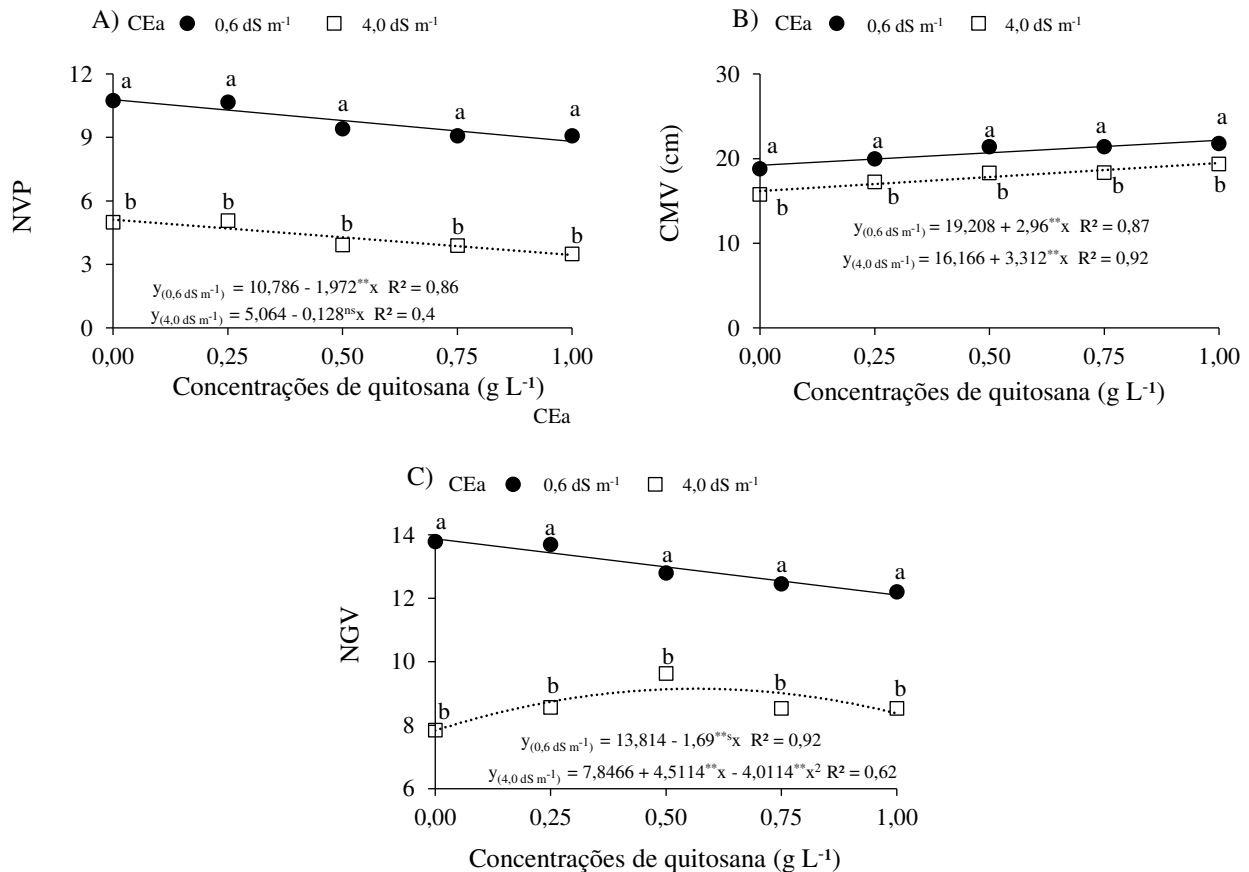
O aumento das concentrações de quitosana proporcionou um efeito linear decrescente no número de vagens por planta (NVP), de 18,28% por incremento unitário (Figura 10A), quando irrigadas com CEa de 0,6 dS m<sup>-1</sup>. Já para a CEa de 4,0 dS m<sup>-1</sup>, o aumento das concentrações de quitosana resultaram no efeito linear decrescente no NVP, de 2,53% por incremento unitário.

Verifica-se ainda redução de 53,06% (5,72) no NVP para as plantas irrigadas com CEa de 4,0 dS m<sup>-1</sup> ao comparar com as plantas submetidas ao nível de CEa de 0,6 dS m<sup>-1</sup> e sem aplicação de quitosana, tal redução pode estar relacionada ao excesso de sais que inibe a expansão foliar, causando redução do turgor foliar, consequentemente reduzindo a assimilação líquida de carbono, afetando negativamente o rendimento da cultura (TAIZ et al., 2017; LIMA et al., 2022). As diferenças entre as águas utilizadas na irrigação foram significativas para todos os níveis de quitosana.

El-Hefny (2010) e Bashandy e El-Shaieny (2016), estudando a cultura do feijão-caupi, observaram que o número de vagens por planta diminui com o aumento do nível de salinidade. De acordo com esses autores, essa redução pode ser devido ao alto acúmulo de sal em nível celular, o que, consequentemente, afeta muitos processos bioquímicos nas plantas, como a fotossíntese e a translocação de assimilados para a regeneração de órgãos.

Ao contrário dos resultados no presente estudo com o feijão-caupi, Tabassum et al. (2024), ao estudarem dois acessos de ervilha (*Pisum sativum* L.) (acesso 200-03 e 200-06) sob estresse salino (0, 60 e 120 mM) e aplicação foliar de quitosana (0 e 120 mg L<sup>-1</sup>), verificaram que a quitosana proporcionou melhora no efeito do estresse com NaCl e

aumentou o número de vagens por planta, para o acesso 200-03 esse aumento foi de 57 e 14% nas plantas sob estresse salino de 60 e 120 mM, respectivamente, quando comparadas com as plantas sob estresse salino e sem aplicação de quitosana, já para o acesso 200-06, este aumento foi de 33 e 17% nas plantas sob estresse salino de 60 e 120 mM, respectivamente, ao comparar com as plantas sob estresse salino e sem aplicação de quitosana.



\*\* e <sup>ns</sup> significativo a  $p \leq 0,01$  e não significativo respectivamente. Para mesma concentração de quitosana, as médias seguidas por letras diferentes indicam diferenças significativas entre os níveis de salinidade de água (CEa).

**Figura 10.** Número de vagens por planta - NVP (A), comprimento médio de vagens - CMV (B) e número de grãos por vagens - NGV (C) das plantas de feijão-caupi em função da interação entre a condutividade elétrica da água de irrigação (CEa) e aplicações foliares de quitosana, aos 60 dias após a semeadura.

Para o comprimento de vagem (CMV) (Figura 10B), o aumento das concentrações de quitosana proporcionaram efeito linear crescente, independentemente dos níveis de CEa, constatando-se aumento de 15,41 e 20,49%, por incremento unitário das

concentrações de quitosana para a CEa de 0,6 e 4,0 dS m<sup>-1</sup>, respectivamente. Nota-se ainda que, as plantas irrigadas com CEa de 0,6 e 4,0 dS m<sup>-1</sup> sob concentrações de 1 g L<sup>-1</sup> de quitosana apresentaram maior valor, sendo de 22,17 e 19,48 cm, respectivamente, para o CMV.

Salienta-se que o estresse salino pode causar baixos potenciais osmóticos, diminuir o teor relativo de água e retardar aspectos produtivos (LIMA et al., 2020). Tendência obtida por Lima et al. (2014), ao concluírem que a irrigação com água salina afetou negativamente o comprimento do racemo da mamoneira.

No entanto, tais resultados obtidos indicam um efeito benéfico da quitosana no CMV, que pode estar relacionada a capacidade da quitosana em influenciar a produção de fitormônios, como auxinas e citocininas, que desempenham papéis importantes no crescimento e desenvolvimento das plantas (BALUSAMY et al., 2022).

O aumento das concentrações de quitosana na CEa de 0,6 dS m<sup>-1</sup> proporcionou a redução linear do número de grãos por vagem (NGV), de 12,25% por incremento unitário (Figura 10C). Já para CEa de 4,0 dS m<sup>-1</sup>, o maior valor destacado no NGV foi na concentração de 0,56 g L<sup>-1</sup> de quitosana (9,12), verifica-se aumento de 16,24% (1,27) quando comparadas com as plantas submetidas a concentração de 0 g L<sup>-1</sup>. Consta-se ainda que, houve aumento de 6,37% (0,5) ao comparar as plantas submetidas a concentração de 1 g L<sup>-1</sup> com as testemunhas (0 g L<sup>-1</sup>), irrigadas com CEa de 4,0 dS m<sup>-1</sup>.

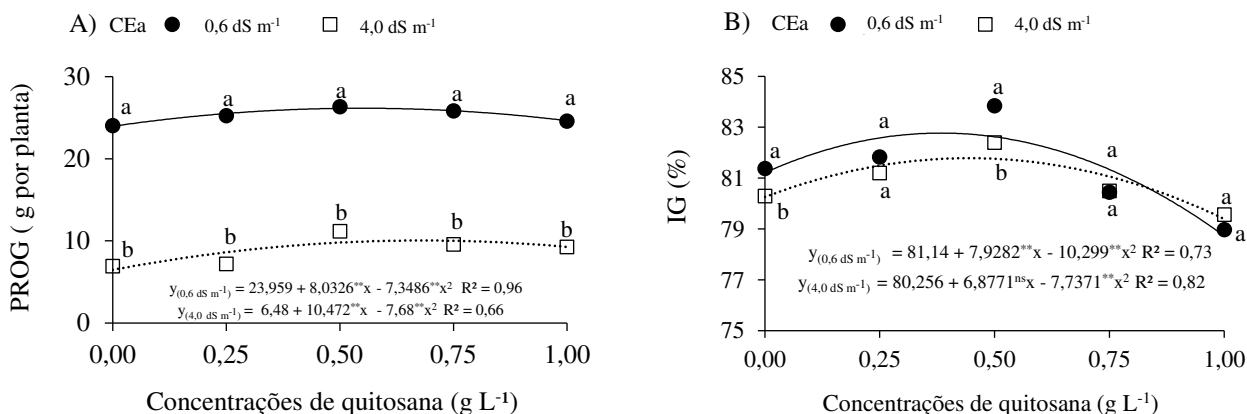
Cavalcante (2021) ao avaliar genótipos de feijão-caupi sob diferentes regimes hídricos (50 e 100% de reposição hídrica) e aplicações de ácido salicílico (0, 2 e 4 mM) verificaram que, o NGV da cultivar BRS Tapaihum sob estresse hídrico e sem aplicação do tratamento foi reduzido ao comparar com as plantas submetidas à 100% de reposição hídrica.

Efeito semelhante constatado no presente estudo, considerando que, ocorreu uma redução de 43,20% (5,97) ao comparar os valores dos NGV quando as plantas foram submetidas aos níveis de CEa (0,6 dS e 4,0 dS m<sup>-1</sup>) e sem aplicação de quitosana. Tal fato pode estar relacionado a restrição do processo fotossintético, devido a disponibilidade de água, quando as plantas de feijão-caupi foram submetidas ao estresse salino, que afetou a produção de fotoassimilados necessários para a produção dos grãos, promovendo a redução de NGV (Martins et al., 2017).

Para a produção de grãos (PROG), ao utilizar a CEa de 0,6 dS m<sup>-1</sup>, o maior valor obtido (26,15 g por planta) foi na concentração de 0,55 g L<sup>-1</sup> de quitosana (Figura 11A), constata-se que, ocorreu aumento de 9,14% (2,19 g por planta) ao comparar com as

plantas submetidas a concentração de  $0 \text{ g L}^{-1}$ . Para a CEa de  $4,0 \text{ dS m}^{-1}$ , a concentração de  $0,68 \text{ g L}^{-1}$  de quitosana resultou no maior valor de PROG ( $10,05 \text{ g por planta}$ ), verifica-se ainda que, ocorreu aumento de  $43,06\%$  ( $2,79 \text{ g por planta}$ ) ao comparar as plantas submetidas a concentração de  $1 \text{ g L}^{-1}$  com as plantas testemunhas ( $0 \text{ g L}^{-1}$ ), irrigadas com CEa de  $4,0 \text{ dS m}^{-1}$ . No entanto, ao comparar os níveis de CEa ( $0,6$  e  $4,0 \text{ dS m}^{-1}$ ), ressalta-se redução de  $72,95\%$  ( $17,48 \text{ g por planta}$ ) ao submeter as plantas a CEa de  $4,0 \text{ dS m}^{-1}$ .

Conforme mencionado por Dourado Neto et al. (2014), a melhoria nos indicadores de rendimento de grãos atribuída aos tratamentos pode ser explicada pela influência positiva de reguladores vegetais na composição dos bioestimulantes, em que essa influência pode ser associada à presença de auxina no sistema radicular das plantas, desta forma, plantas com um sistema radicular mais desenvolvido apresentam uma maior capacidade de absorver água e sais minerais disponíveis no solo, resultando em uma alocação mais eficiente de substâncias para os drenos preferenciais da planta, como os grãos.



\*\* e <sup>ns</sup> significativo a  $p \leq 0,01$  e não significativo respectivamente. Para mesma concentração de quitosana, as médias seguidas por letras diferentes indicam diferenças significativas entre os níveis de salinidade de água (CEa).

**Figura 11.** Produção total de grãos por planta - PROG (A) e índice de grãos - IG (B) das plantas de feijão-caupi em função da interação entre a condutividade elétrica da água de irrigação (CEa) e aplicações foliares de quitosana, aos 60 dias após a semeadura.

Na variável de índice de grãos (IG) (Figura 11B), para a CEa de  $0,6 \text{ dS m}^{-1}$ , o maior valor verificado foi na concentração de quitosana de  $0,38 \text{ g L}^{-1}$  ( $82,66\%$ ), constata-se ainda que, ocorreu aumento de  $1,52\%$  ao comparar com as plantas submetidas ao mesmo nível de CEa e sem aplicação ( $0 \text{ g L}^{-1}$ ) de quitosana ( $81,14\%$ ). As plantas de feijão-caupi irrigadas com CEa de  $4,0 \text{ dS m}^{-1}$  e concentração de  $0,44 \text{ g L}^{-1}$  se sobressaíram com maior

valor (81,78%), correspondendo a aumento de 1,52% em relação as plantas irrigadas com a mesma CEa e sem aplicação de (0 g L<sup>-1</sup>) quitosana (80,256%). Constata-se ainda que, a concentração de quitosana de 0,25; 0,75 e 1,00 g L<sup>-1</sup> não diferiram significativamente sob os níveis de CEa.

Considerando que o Índice de Grãos (IG) reflete a distribuição de fotoassimilados na vagem, observa-se que, independentemente da concentração utilizada, o uso da quitosana promoveu aumento no enchimento dos grãos. Isso é evidenciado pelo fato de que mais de 77% dos fotoassimilados foram direcionados para o produto comercial, ou seja, os grãos (Oliveira et al., 2015).

O aumento na produção do feijão-caupi devido à aplicação de quitosana pode ser devido aos seus efeitos na estimulação de processos fisiológicos, melhorando o crescimento vegetativo, seguido pela translocação ativa de fotoassimilados dos tecidos fonte para dreno, aumentando a espessura da lâmina foliar, bem como as dimensões dos feixes vasculares (Farouk et al., 2012).

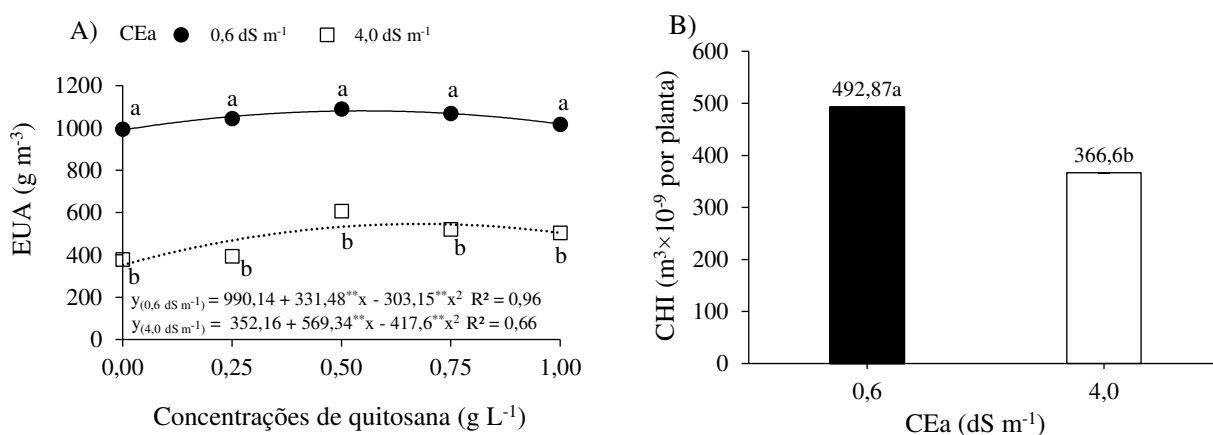
De acordo com a análise de variância (Tabela 10), a interação entre os níveis de condutividade elétrica da água de irrigação e as concentrações de quitosana influenciou significativamente ( $p \leq 0,01$ ) a eficiência do uso da água e, os níveis de CEa afetaram significativamente ( $p \leq 0,01$ ) o consumo hídrico das plantas de feijão-caupi cultivar BRS Tapaihum.

**Tabela 10.** Resumo da análise de variância referente a eficiência do uso da água (EUA) e do consumo hídrico (CHI) das plantas de feijão-caupi irrigadas com água de diferentes níveis de condutividade elétrica da água de irrigação e concentrações de quitosana.

Fonte de variação	GL	Quadrados médios
		EUA
Condutividade elétrica da água de irrigação (CEa)	1	9474558,19**
Concentrações de quitosana (CQ)	4	94892,08**
Regressão linear	1	121597,85**
Regressão quadrática	1	170453,00**
Interação (CEa × CQ)	4	29801,90**
Resíduo	107	493,34
CV (%)		2,92
Fonte de variação	GL	Quadrados médios
		CHI
Condutividade elétrica da água de irrigação (CEa)	1	159441,13**
Resíduo	107	9,09
CV (%)		0,00

\*\* e ns, respectivamente, significativo a  $p \leq 0,01$  e não significativo. CV: Coeficiente de variação, GL: Grau de liberdade.

As plantas de feijão-caupi irrigadas com CEa de  $0,6 \text{ dS m}^{-1}$  e submetidas a concentração de quitosana até  $0,55 \text{ g L}^{-1}$  resultaram no maior valor ( $1080,61 \text{ g m}^{-3}$ ) da eficiência do uso da água (Figura 12A). Já para a CEa de  $4,0 \text{ dS m}^{-1}$ , o maior valor verificado ( $546,21 \text{ g m}^{-3}$ ) foi até a concentração de quitosana de  $0,68 \text{ g L}^{-1}$ , destacando aumento de  $55,10\%$  ( $194,05 \text{ g m}^{-3}$ ) ao comparar com as testemunhas ( $352,16 \text{ g m}^{-3}$ ), ressalta-se ainda aumento de  $43,09\%$  ( $151,74 \text{ g m}^{-3}$ ) ao comparar as plantas testemunhas com as submetidas a concentração de  $1,00 \text{ g L}^{-1}$  ( $503,9 \text{ g m}^{-3}$ ). Entretanto, constata-se redução de  $64,03\%$  ( $633,98 \text{ g m}^{-3}$ ) na eficiência do uso da água das plantas de feijão-caupi cultivar BRS Tapaihum quando irrigadas sob diferentes CEa ( $0,6$  e  $4,0 \text{ dS m}^{-1}$ ).



\*\* significativo a  $p \leq 0,01$ . Para mesma concentração de quitosana, as médias seguidas por letras diferentes indicam diferenças significativas entre os níveis de salinidade de água (CEa).

**Figura 12.** Eficiência do uso da água (EUA) - (A) das plantas de feijão-caupi em função da interação entre a condutividade elétrica da água de irrigação (CEa) e aplicações foliares de quitosana e consumo hídrico (CHI) - (B) em função da CEa das plantas de feijão-caupi.

Para o consumo hídrico das plantas de feijão-caupi (Figura 12B), verifica-se que ocorreu redução de  $25,62\%$  ( $126,27 \text{ m}^3 \times 10^{-9}$  por planta) à medida que o nível de CEa aumentou. Tal efeito está relacionado ao acúmulo de sais no solo devido ao uso das águas com concentrações de sais na sua composição, o que diminui o potencial osmótico do solo, impedindo ou dificultando a absorção de água por parte da planta e ainda origina alterações na absorção seletiva de nutrientes (Lima et al., 2017).

Segundo os critérios de graus de tolerância baseados na produção relativa, citados por Fageria e Gheyi (1997), considerando o percentual de perda de produção obtido na CEa de  $4,0 \text{ dS m}^{-1}$  em comparação com plantas irrigadas com CEa de  $0,6 \text{ dS m}^{-1}$ , o feijão-caupi é classificado como sensível à salinidade da água de irrigação de CEa de  $4,0 \text{ dS m}^{-1}$ , com redução de  $72,95\%$ .

Verifica-se que, de acordo com o resumo da análise de variância (Tabela 11), houve efeito significativo ( $p \leq 0,01$ ) da interação entre os níveis da condutividade elétrica da água de irrigação e as concentrações de quitosana sobre todas as variáveis referente ao acúmulo de fitomassa das plantas de feijão-caupi, aos 60 dias após o semeio.

**Tabela 11.** Resumo da análise de variância referente ao acúmulo de fitomassa seca da folha (FSF), do caule (FSC), da parte aérea (FSPA), da raiz (FSR) e relação raiz parte aérea (R/PA) das plantas de feijão-caupi irrigadas com diferentes níveis de condutividade elétrica da água de irrigação e concentrações de quitosana, aos 60 dias após a semeadura.

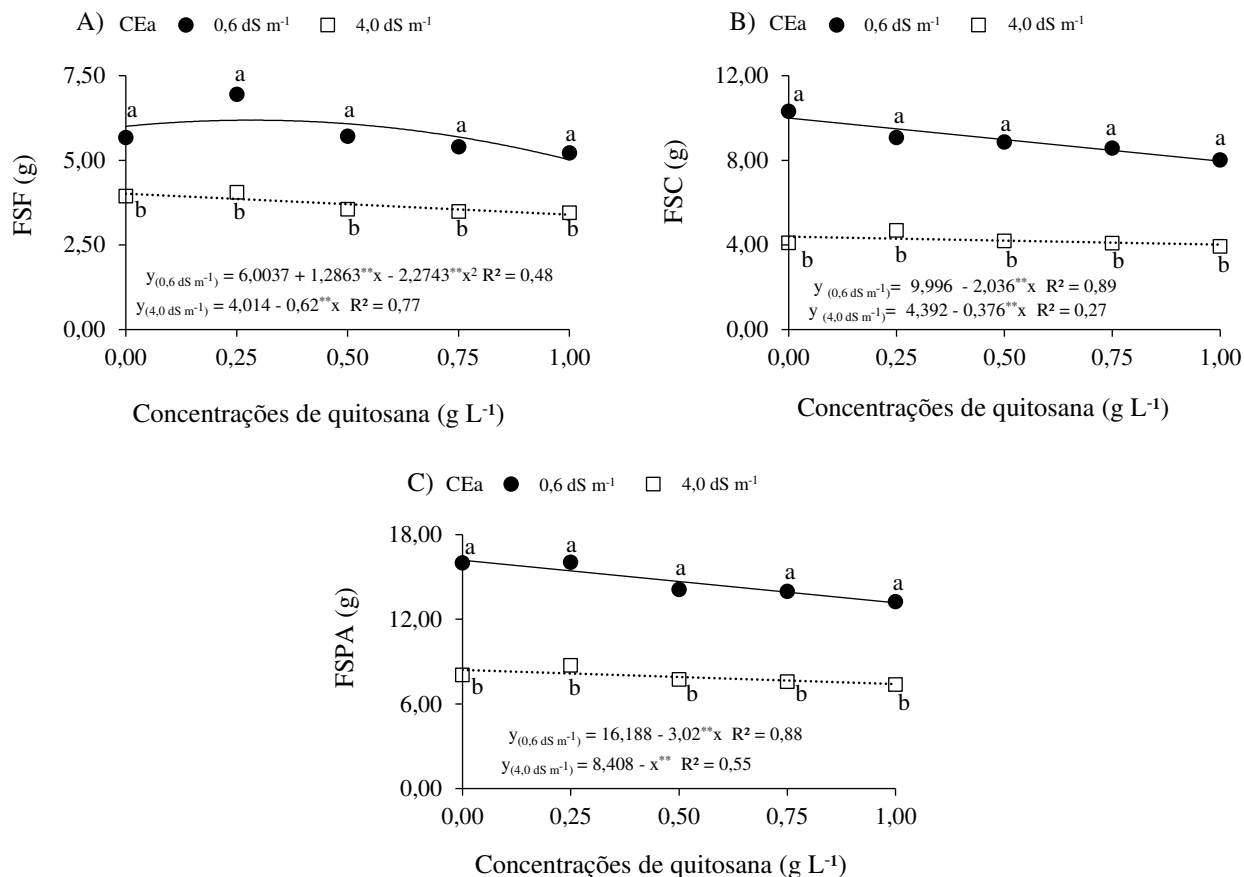
Fonte de variação	GL	Quadrados médios				
		FSF	FSC	FSPA	FSR	R/PA
Condutividade elétrica da água de irrigação (CEa)	1	119,04**	684,69**	1374,72**	114,15**	0,12**
Concentrações de quitosana (CQ)	4	5,72**	5,49**	18,56**	1,61**	0,01**
Regressão linear	1	9,69**	21,83**	60,62**	5,88**	0,00 <sup>ns</sup>
Regressão quadrática	1	0,31*	0,01 <sup>ns</sup>	0,19 <sup>ns</sup>	0,56 <sup>ns</sup>	0,02**
Interação (CEa × CQ)	4	1,56**	4,14**	4,19**	8,21**	0,05**
Resíduo	107	0,06	0,16	0,22	0,28	0,00
CV (%)		5,18	6,09	4,11	25,71	23,58

<sup>ns</sup>, \*, \*\* respectivamente não significativo, significativo a  $p \leq 0,05$  e  $p \leq 0,01$ . CV: Coeficiente de variação, GL: Grau de liberdade.

A pulverização foliar de quitosana até a concentração de  $0,28 \text{ g L}^{-1}$  e irrigadas com CEa de  $0,6 \text{ dS m}^{-1}$  (Figura 13A) resultou no maior valor de fitomassa seca das folhas (FSF) (6,18 g), com aumento de 2,94% (0,18 g) em relação as plantas irrigadas com o mesmo nível de CEa e sem aplicação de quitosana. Para a CEa de  $4,0 \text{ dS m}^{-1}$ , o aumento das concentrações de quitosana proporcionaram a redução da FSF, de 15,44% por incremento unitário, tal efeito pode ser explicado pela ocorrência de maior queda de folhas no tratamento sob salinidade que, embora não foi quantificada, no entanto, foi observada.

A pulverização foliar de quitosana nas plantas de feijão-caupi irrigadas com CEa de  $0,6$  e  $4,0 \text{ dS m}^{-1}$ , proporcionaram redução linear de 20,37 e 8,56%, respectivamente, por incremento unitário na fitomassa seca do caule (FSC) (Figura 13B). A fitomassa seca da parte aérea (FSPA) foi reduzida ao aumentar as concentrações de quitosana, independentemente da CEa, verifica-se redução de 18,66 e 11,89% por incremento unitário para as CEa de  $0,6$  e  $4,0 \text{ dS m}^{-1}$ , respectivamente (Figura 13C).



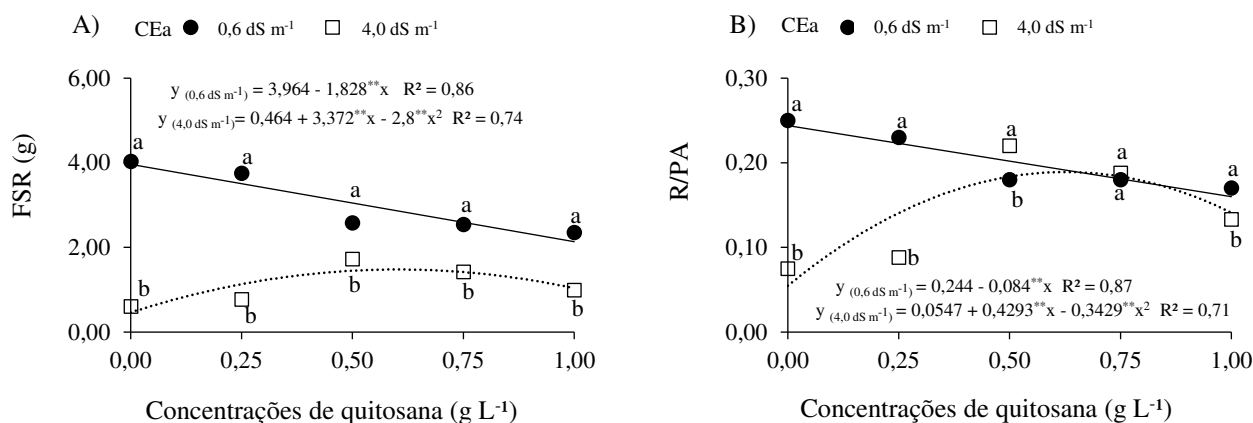


\*\* significativo a  $p \leq 0,01$ . Para mesma concentração de quitosana, as médias seguidas por letras diferentes indicam diferenças significativas entre os níveis de salinidade de água (CEa).

**Figura 13.** Fitomassa seca da folha - FSF (A), do caule - FSC (B) e da parte aérea - FSPA (C) das plantas de feijão-caupi em função da interação entre a condutividade elétrica da água de irrigação (CEa) e aplicações foliares de quitosana, aos 60 dias após a semeadura.

Ao contrário do resultado verificado no feijão-caupi, Abdel-Mola e Ayyat (2020) ao estudarem a planta calêndula (*Calendula officinalis* L.) sob estresse salino (1.000, 2.000, 3.000, 4.000 e 5.000 ppm de NaCl) e aplicação foliar de quitosana (100, 200 e 400 mg L<sup>-1</sup>) em dois períodos experimentais (2018/2019 e 2019/2020), constataram aumento no peso seco da erva/planta de 18,72% (9,1 g) e 20,78% (9,6 g) em relação ao controle (48,6 e 46,2 g, respectivamente) em ambos períodos experimentais, respectivamente, ao utilizar a concentração de 400 mg L<sup>-1</sup> sob salinidade de 5,000 ppm de NaCl. Tais efeitos benéficos verificados podem ser explicados devido a capacidade da quitosana em diminuir os efeitos da toxicidade do íon Na<sup>+</sup>, que reduz o crescimento e rendimento da cultura (Zayed et al., 2017). No entanto, o mesmo não foi refletido na cultura do feijão-caupi.

A pulverização foliar de quitosana nas plantas de feijão-caupi irrigadas com CEa de  $0,6 \text{ dS m}^{-1}$ , proporcionou redução linear 46,11% por incremento unitário na fitomassa seca da raiz (FSR) (Figura 14A). Já para a CEa de  $4,0 \text{ dS m}^{-1}$ , a concentração de  $0,60 \text{ g L}^{-1}$  se sobressaiu com maior valor (1,48 g) correspondendo a aumento de 218,96% (1,02 g) em relação as plantas irrigadas com o mesmo nível de CEa e sem aplicação de quitosana (0,464 g). Destaca-se ainda aumento de 123,27% (0,572 g) em plantas submetidas a concentração de  $1 \text{ g L}^{-1}$  (1,036 g) ao serem comparadas com as testemunhas.



\*\* significativo a  $p \leq 0,01$ . Para mesma concentração de quitosana, as médias seguidas por letras diferentes indicam diferenças significativas entre os níveis de salinidade de água (CEa).

**Figura 14.** Fitomassa seca da raiz - FSR (A) e relação raiz parte aérea - R/PA (B) das plantas de feijão-caupi, em função da interação entre a condutividade elétrica da água de irrigação (CEa) e aplicações foliares de quitosana, aos 60 dias após a semeadura.

O aumento das concentrações de quitosana reduziram de forma linear a relação raiz parte aérea (R/PA) por incremento unitário de 34,42%, quando irrigadas com CEa de  $0,6 \text{ dS m}^{-1}$  (Figura 14B). Já para a CEa de  $4,0 \text{ dS m}^{-1}$ , a concentração de  $0,63 \text{ g L}^{-1}$  se sobressaiu com maior valor de R/PA (0,19), correspondendo a aumento de 247,3% (0,13) em relação as plantas irrigadas com o mesmo nível de CEa e sem aplicação de quitosana (0,0547). Constatou-se ainda que, não houve diferença significativa entre as plantas irrigadas com CEa de 0,6 e  $4,0 \text{ dS m}^{-1}$  quando submetidas a concentração de  $0,75 \text{ g L}^{-1}$ .

O uso da quitosana até  $0,60$  e  $0,63 \text{ g L}^{-1}$  proporcionou aumento na FSR e R/PA sob estresse salino, isto pode ser devido a sua capacidade de conseguir ajustar a morfologia da raiz para fortalecer sua capacidade de absorver água, aumentando o comprimento da raiz, embora o mecanismo exato de ação da quitosana no crescimento não é claro. Segundo Balusamy et al. (2022), a quitosana pode induzir hormônios vegetais como as

giberelinas, aumentar o crescimento e o processo de desenvolvimento ativando a sinalização ligada à biossíntese de auxinas. O aumento na fitomassa seca da raiz pode ter influenciado em uma maior absorção de água e nutrientes pelas plantas, promovendo dessa forma, aumento no NGV (Figura 10C), PROG (Figura 11A), IG (Figura 11B) e EUA (Figura 12A), conforme observado no presente estudo.

Nota-se que a FSR conseguiu sobressair a FSPA, evidenciando que a parte aérea é mais sensível à salinidade do que as raízes, sendo assim, a diminuição da área foliar pode ser atribuída ao efeito adverso dos sais na fotossíntese, resultando na redução do crescimento das folhas e das plantas (Khodarahmpour et al. 2014).

## 6 CONCLUSÕES

A irrigação com água de condutividade elétrica de  $4,0 \text{ dS m}^{-1}$  afetou negativamente o crescimento, conteúdo relativo de água, extravasamento de eletrólitos, a síntese de pigmentos fotossintéticos, fluorescência da clorofila *a*, a produção de grãos e o acúmulo de fitomassa das plantas de feijão-caupi cultivar Tapaihum.

As aplicações de quitosana sob irrigação com água de condutividade elétrica de  $0,6 \text{ dS m}^{-1}$  afetou negativamente o comprimento de haste, o diâmetro de haste, número de folhas, a área foliar, o número de vagens por planta, número de grãos por vagens, a fitomassa seca do caule, da parte aérea, da raiz e a relação raiz parte aérea.

Entretanto, a aplicações foliares de quitosana entre as concentrações de  $0,46$  e  $0,71 \text{ g L}^{-1}$  amenizaram os efeitos deletérios da salinidade, reduzindo a porcentagem do extravasamento de eletrólitos e aumentando o conteúdo relativo de água, a síntese de pigmentos fotossintéticos, eficiência fotoquímica, número de folhas, área foliar, taxa de crescimento relativo em diâmetro de haste, taxa de crescimento absoluto em comprimento de haste, diâmetro de haste e área foliar, a produção de grãos por planta, o índice de grãos e a relação raiz parte aérea.

Considerando o percentual de perda de produção das plantas de feijão caupi obtido na CEa de  $4,0 \text{ dS m}^{-1}$  em comparação com plantas irrigadas com CEa de  $0,6 \text{ dS m}^{-1}$ , o feijão-caupi é classificado como sensível à salinidade da água de irrigação de  $4,0 \text{ dS m}^{-1}$ , com redução de  $72,95\%$ .

Os resultados obtidos confirmam a hipótese de que a quitosana, quando aplicada em concentrações adequadas, pode reduzir os efeitos do estresse salino no feijão-caupi cultivar BRS Tapaihum. No entanto, mais estudos são necessários para entender como a quitosana atua na sinalização do estresse salino, além de validar os resultados em pesquisas de campo.

## 7 REFERÊNCIAS

- ABDEL-MOLA, M. A. M.; AYYAT, A. M. Interactive effects of water salinity stress and chitosan foliar-spray application on vegetative and flowering growth aspects and chemical constituents of pot marigold (*Calendula officinalis* L.) plant. **Scientific Journal of Agricultural Sciences**, v. 2, p. 80-89, 2020.
- AHMED, A. M. A.; ABD-RABBU, H. S.; WAHBA, H. E.; KHALID, K. A. Chitosan and salty irrigation water affect morphological and physiological characteristics of Rosemary herb. **Agricultural Water Management**, v. 286, e108381, 2023.
- AKLADIOUS, S. A.; MOHAMED, H. I. Ameliorative effects of calcium nitrate and humic acid on the growth, yield component and biochemical attribute of pepper (*Capsicum annuum*) plants grown under salt stress. **Scientia Horticulturae**, v. 236, p. 244-250, 2018.
- ALFONSO, E. T.; RODRÍGUEZ, A. F.; PADRÓN, J. R.; SOSA, Y. C.; MORALES, H. M. Repuesta agronómica del cultivo de tomate al bioproducto QuitoMax®. **Cultivos Tropicales**, v. 38, p. 147-154, 2017.
- ALMEIDA, L. G. **Aplicação foliar de quitosana apresenta potencial para induzir tolerância ao déficit hídrico em plantas de milho**. 2018. 70 f. Tese (Doutorado em Fisiologia Vegetal) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, Minas Gerais 2018.
- ALMEIDA, L. R. C.; OLIVEIRA, G. M.; ROCHA, D. F.; SILVA, B. A.; PEREIRA, A. V. A.; OLIVEIRA, W. A. Desempenho produtivo do feijão-caupi “verde” cultivado sob diferentes espaçamentos, em Juazeiro, BA. **Revista da Sociedade Brasileira de Agrometeorologia**, v. 27, p. 429-434, 2019.
- ALVARENGA, C. F. S.; SILVA, E. M.; NOBRE, R. G.; GHEYI, H. R.; LIMA, G. S.; SILVA, L. A. Morfofisiologia de aceroleira irrigada com águas salinas sob combinações de doses de nitrogênio e potássio. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 42, p. 194-205, 2019.
- ANDRADE, J. R.; MEDEIROS, A. S.; MAIA JÚNIOR, S. O.; REZENDE, L. P.; ARAÚJO NETO, J. C. Germination and morphophysiology of passion fruit seedlings under salt water irrigation. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.48, p.229-236, 2018.
- ARAÚJO, E. D.; MELO, A. S.; ROCHA, M. S.; SILVA, P. C. C.; FERRAZ, R. L. S.; MELO, Y. L.; ALENCAR, R. S.; SÁ, F. V. S.; LACERDA, C. S. Improvement of

- silicon-induced tolerance to water stress is dependent on genotype sensitivity and phenological stage. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 23, p. 1-13, 2023.
- ARNON, D. I. Copper enzymes in isolates chloroplasts. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. **Plant Physiology**, v. 24, p. 1-15, 1949.
- ASHRAF, M.; HARRIS, P. J. C. Potential biochemical indicators of salinity tolerance in plants. **Plant Science**, v. 166, p. 3-16, 2004.
- AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **A qualidade da água na agricultura**. Campina Grande: UFPB, 1999. 218p.
- AZEVEDO, V. V. C.; CHAVES, S. A.; BEZERRA, D. C.; FOOK, M. V. L.; COSTA, A. C. F. M. Quitina e quitosana: aplicações como biomateriais. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, v. 2, p. 27-34, 2007.
- BAKHOUM, G. S.; SADAK, M. S.; BADR, E. A. E. M. Mitigation of adverse effects of salinity stress on sunflower plant (*Helianthus annuus* L.) by exogenous application of chitosan. **Bulletin of the National Research Centre**, v. 44, p. 1-11, 2020.
- BALUSAMY, S. R.; RAHIMI, S.; SUKWEENADHI, J.; SUNDERRAJ, S.; SHANMUGAM, R.; THANGAVELU, L.; MIJAKOVIC, I.; PERUMALSAMY, H. Chitosan, chitosan nanoparticles and modified chitosan biomaterials, a potential tool to combat salinity stress in plants. **Carbohydrate Polymers**, v. 284, e.119189, 2022.
- BARBOSA, I. J.; SOUSA, H. C.; SCHNEIDER, F.; SOUSA, G. G.; LESSA, C. I.; SANÓ, L. Cobertura morta com bagaço de cana e palha de bambu atenua o estresse salino no cultivo do feijão-caupi. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.25, p.485-491, 2021.
- BASHANDY, T.; EL-SHAIENY, A. A. Screening of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp) genotypes for salinity tolerance using field evaluation molecular analysis. **Journal of Agricultural Chemistry and Biotechnology**, v. 7, p. 249-255, 2016.
- BEHBOUDI, F.; TAHMASEBI-SARVESTANI, Z.; KASSAE, M. Z.; MODARRES-SANAVY, S. A. M.; SOROOSHZADEH, A.; MOKHTASSI-BIGDOLI, A. Evaluation of chitosan nanoparticles effects with two application methods on wheat under drought stress. **Journal of Plant Nutrition**, v. 42, p. 1439-1451, 2019.

- BENINCASA, M. M. P. **Análise de crescimento de plantas, noções básicas**. 2.ed. Jaboticabal: FUNEP, 2003. 41p.
- BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8.ed., Viçosa: UFV, 2006. 625p.
- BORBOREMA, L. D. A.; FERRAZ, R. L. S.; COSTA, P. S.; GONZAGA, G. B. M.; MEDEIROS, A. S. Demanda hídrica e crescimento de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) sob doses de esterco ovino. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 17, p. 72-76, 2022.
- CAMPOS, F. L.; FREIRE FILHO, F. R.; LOPES, A. C. A.; RIBEIRO, V. Q.; SILVA, R. Q. B.; ROCHA, M. Ciclo fenológico em caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp): uma proposta de escala de desenvolvimento. **Científica Rural**, v. 5, p. 110-116, 2000.
- CARVALHO, L. L. S.; LACERDA, C. F.; LOPES, F. B.; ANDRADE, E. M.; CARVALHO, C. M.; SILVA, S. L. Caracterização dos usos das águas subterrâneas no perímetro irrigado do baixo Acaraú - CE. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 13, p. 601-620, 2020.
- CAVALCANTE, I. E. **Ácido salicílico atenua os efeitos da restrição hídrica em cultivares de feijão-caupi [*Vigna unguiculata* (L.) Walp] em condições de campo**. 2021. 88 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) – Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande 2021.
- CHARFEDDINE, S.; CHARFEDDINE, M.; HANANA, M.; GARGOURI-BOUZID, R. Ectopic expression of a grape vine vacuolar NHX antiporter enhances transgenic potato plant tolerance to salinity. **Journal of Plant Biochemistry and Biotechnology**, v. 28 p. 50-62, 2019.
- CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira de grãos Safra 2021/22. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safra/>. Acesso em: nov. 2023.
- COSTA, A. F.; SOUZA, M. C. M.; SILVA, K. R. G. Feijão-caupi: do plantio ao armazenamento. **Cadernos das Semiáridas Riquezas & Oportunidades**, v. 17, p. 27-30, 2020.

- CRAUFURD, P. Q.; ELLIS, R. H.; SUMMERFIELD, R. J.; MENIN, L. Development in cowpea (*Vigna unguiculata*) I. The influence of temperature on seed germination and seedling emergence. **Experimental Agriculture**, v. 32, p. 1-12, 1996.
- DE PASCALE, S.; ORSINI, F.; PARDOSSI, A. **Irrigation water quality for greenhouse horticulture**. In: Good agricultural practices for greenhouse vegetable crops. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2013. p.169-204.
- DESRAVINES, R. P. **Produção otimizada de feijão-caupi imaturo sob adubação orgânica em ambiente semiárido**. 2022. 61 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Rio Grande do Norte, Mossoró 2022.
- DIAS, A. S.; LIMA, G. S.; SÁ, F. V. S.; GHEYI, H. R.; SOARES, L. A. A.; FERNANDES, P. D. Gas exchanges and photochemical efficiency of West Indian cherry cultivated with saline water and potassium fertilization. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 22, p. 628-633, 2018.
- DIAS, N. da S.; BLANCO, F. F. Efeito dos sais no solo e nas plantas. In: Gheyi, H. R.; Dias, N. da S.; Lacerda, C. F. (eds.). **Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados**. Fortaleza, INCTSal, 2010. p.151-161.
- DIAS, N. da S.; DUARTE, S. N.; GHEYI, H. R.; MEDEIROS, J. F.; SOARES, T. M. Manejo da fertirrigação e controle da salinidade do solo sob ambiente protegido, utilizando-se extratores de solução do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 4, p. 146-151, 2005.
- DIAS-BARBOSA, C. Z. M. C.; OLIVEIRA, D. S. V.; OLIVEIRA, K. J. D.; ARAÚJO, R. S. R. M.; ROCHA, M. M. Selection of cowpea elite lines for iron and zinc biofortification. **Current Nutrition & Food Science**, v. 17, p. 48-58, 2021.
- DOURADO NETO, D.; DÁRIO, G. J. A.; BARBIERI, A. P. P.; MARTIN, T. N. Ação de bioestimulante no desempenho agrônômico de milho e feijão. **Bioscience Journal**, v.30, p.371-379, 2014.
- EL-HACK, M. E. A.; EL-SAADONY, M. T.; SHAFI, M. E.; ZABERMAWI, N. M.; ARIF, M.; BATIHA, G. E.; KHAFAGA, A.; EL-HAKIM, Y. M. A.; AL-SAGHEER, A. A. Antimicrobial and antioxidant properties of chitosan and its derivatives and their



- applications: A review. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 1, p. 2726-2744, 2020.
- EL-HEFNY, E. M. Effect of saline irrigation water and humic acid application on growth and productivity of two cultivars of cowpea (*vigna unguiculata* L. Walp). **Australian Journal of Basic and Applied Sciences**, v. 4, p. 6154-6168, 2010.
- FAGERIA, N. K.; GHEYI, H. R. Melhoramento genético das culturas e seleção de cultivares. In: **Manejo e controle da salinidade na agricultura**. Campina Grande: UFPB/SBEA, 1997. p. 363-383.
- FAROUK, S.; AMANY, A. R. Improving growth and yield of cowpea by foliar application of chitosan under water stress. **Egyptian Journal of Biology**, v. 14, p. 14-26, 2012.
- FELIPE, L. O.; RABELLO, L. A.; OLIVEIRA JÚNIOR, E. N.; SANTOS, I. J. Quitosana: da química básica à bioengenharia. **Química e Sociedade**, v. 39, p. 312-320, 2017.
- FERNANDES, E. A.; SOARES, L. A. DOS A.; LIMA, G. S. de; GHEYI H. R.; NOBRE, R. G.; FERNANDES, P. D. Photosynthetic pigments, photochemical efficiency and growth of custard-apple under salt stress and potassium fertilization. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 26, p. 365-373, 2022.
- FERREIRA, D. F. SISVAR: A computer analysis system to fixed effects split-plot type designs. **Revista Brasileira de Biometria**, v. 37, p. 529-535, 2019.
- FIGUEREDO, L. F.; MAIA JÚNIOR, S. O.; FERRAZ, R. L. S.; DUTRA, A. F.; BEZERRA, J. D.; MELO, A. S. Crescimento e partição de massa seca em mudas de mamoeiro sob estresse salino. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 12, p. 2984-2990, 2018.
- FIGUERÊDO, S. F. **Manejo da irrigação para a cultura do feijão**. Brasília: Embrapa Cerrados, n. 57, 2000.
- FURTADO, G. F.; SOUSA JÚNIOR, J. R.; XAVIER, D. A.; ANDRADE, E. M. G.; SOUSA, J. R. M. Pigmentos fotossintéticos e produção de feijão *Vigna unguiculata* L. Walp. sob salinidade e adubação nitrogenada. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 9, p. 291-299, 2014.

- GARUDE, N. R.; VEMULA, A. N.; SAGALGILE, R. M. Seed priming with chitosan for enhanced plant growth under salt stress. **International Journal of Pharmacy and Biological Sciences**, v. 9, p. 06-11, 2019.
- GENG, W.; LI, Z.; HASSAN, M. J.; PENG, Y. Chitosan regulates metabolic balance, polyamine accumulation, and Na<sup>+</sup> transport contributing to salt tolerance in creeping bentgrass. **BMC Plant Biology**, v. 20, e506, 2020.
- GENTY, B.; BRIANTAIS, J. M.; BAKER, N. R. The relationship between the quantum yield of photosynthetic electron transport and quenching of chlorophyll fluorescence. **Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - General Subjects**, v. 990, p. 87-92, 1989.
- GERAMI, M.; MAJIDIAN, P.; GHORBANPOUR, A.; ALIPOUR, Z. *Stevia rebaudiana* Bertoni responses to salt stress and chitosan elicitor. **Physiology and Molecular Biology of Plants**, v. 26, p. 965-974, 2020.
- GHATAK, A.; CHATURVEDI, P.; WECKWERTH, W. Metabolomics in plant stress physiology. **Plant Genetics and Molecular Biology**, v. 50, p. 187-236, 2018.
- GOES, G. F.; SOUSA, G. G.; FREIRE, M. H. C.; CANJÁ, J. F.; MARCOLINO, F. C. Salt water irrigation in different cultivars of lima bean. **Revista Ciência Agronômica**, v. 52, e20196945, 2021.
- GOHARI, G.; FARHADI, H.; PANAHIRAD, S.; ZAREEI, E.; LABIB, P.; JAFARI, H.; MAHDAVINIA, G.; HASSANPOURAGHDAM, M. B.; LOANNOU, A.; KULAK, M.; FOTOPOULOS, V. Mitigation of salinity impact in spearmint plants through the application of engineered chitosan-melatonin nanoparticles. **Journal Internacional de Macromoléculas Biológicas**, v. 224, p. 893-907, 2023.
- GOLKAR, P.; TAGHIZADEH, M.; YOUSEFIAN, Z. The effects of chitosan and salicylic acid on elicitation of secondary metabolites and antioxidant activity of safflower under in vitro salinity stress. **Plant Cell, Tissue and Organ Culture**, v. 137, p. 575-585, 2019.
- GONDWE, T. M.; ALAMU, E. O.; MDZINISO, P.; MAZIYA-DIXON, B. Cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) for food security: an evaluation of end-user traits of improved varieties in Swaziland. **Scientific Reports**, v. 9, e15991, 2019.

- GUAN, D., ZHANG, Y.; AL-KAISI, M. M.; WANG, Q.; ZHANG, M.; LI, Z. Tillage practices effect on root distribution and water use efficiency of winter wheat under rain-fed condition in the North China Plain. **Soil & Tillage Research**, v. 146, p. 286-295, 2015.
- GUAN, Y.; HU, J.; WANG, X.; SHAO, C. Seed priming with chitosan improves maize germination and seedling growth in relation to physiological changes under low temperature stress. **Journal of Zhejiang University SCIENCE B**, v. 10, p. 427-433, 2009.
- GUILHERME, J. M. S.; SOUSA, G. G.; SANTOS, S. O.; GOMES, K. R.; VIANA, T. V. A. Água salina e adubação fosfatada na cultura do amendoim. **Irriga**, v. 1, p. 704-713, 2021.
- GUPTA, R. K.; ARYA, M.; KUMAR, A.; KUMARI, P.; PRAMILA, K. Study on genetic variability in cowpea [*Vigna unguiculata* (L.) Walp]. **Current Journal of Applied Science and Technology**, v. 2, p. 1-8, 2019.
- HAMED, I.; OZOGUL, F.; REGENSTEIN, J. M. Industrial applications of crustacean by-products (chitin, chitosan, and chitooligosaccharides): A review. **Trends in Food Science & Technology**, v. 48, p. 40-50, 2016.
- HASSAN, F. A. S.; ALI, E.; GABER, A.; FETOUH, M. I.; MAZROU, R. Chitosan nanoparticles effectively combat salinity stress by enhancing antioxidant activity and alkaloid biosynthesis in *Catharanthus roseus* (L.) G. Don. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 162, p. 291-300, 2021.
- HERNÁNDEZ, H., H.; MALDONADO, A. J.; MENDOZA, A. B.; ORTIZ, H. O.; PLIEGO, G. C.; ASPEYTIA, D. S.; MORALES, S. G. Chitosan-PVA and copper nanoparticles improve growth and overexpress the SOD and JA genes in tomato plants under salt stress. **Agronomy**, v. 8, e175, 2018.
- IBRAFE - Instituto Brasileiro de Feijão e Pulseis. **Cenário brasileiro do Feijão-caupi**, 2022. Disponível em: [https://www.ibrafe.org/artigo/cenario-brasileiro-do-feijao-caupi#:~:text=A%20m%C3%A9dia%20de%20produtividade%20do,na%20BA%20\(%2D2%25\)](https://www.ibrafe.org/artigo/cenario-brasileiro-do-feijao-caupi#:~:text=A%20m%C3%A9dia%20de%20produtividade%20do,na%20BA%20(%2D2%25).). Acesso em: 01 ago. 2023.

- IBRAHEIM, S. K. A.; MOHSEN, A. A. M. Effect of chitosan and nitrogen rates on growth and productivity of summer squash plants. **Middle East Journal of Agriculture**, v. 4, p. 673-681, 2015.
- JABEEN, N.; AHMAD, R. The activity of antioxidante enzymes in response to salt stress in safflower (*Carthamus tinctorius* L.) and sunflower (*Helianthus annuus* L.) seedlings raised from seed treated with chitosan. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 93, p. 1699-705, 2013.
- JAYATHILAKE, C.; VISVANATHAN, R.; DEEN, A.; BANGAMUWAGE, R.; JAYAWARDANA, B. C.; NAMMI, S.; LIYANAGE, R. Cowpea: an overview on its nutritional facts and health benefits. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 98, p. 4793-4806, 2018.
- JUNEDI, M. A.; MUKHOPADHYAY, R.; MANJARI, K. S. Alleviating salinity stress in crop plants using new engineered nanoparticles (ENPs). **Plant Stress**, v. 9, e100184.
- KARACA, C.; ASLAN, G. E.; BUYUKTAS, D.; KURUNC, A.; BASTUG, R.; NAVARRO, A. Effects of salinity stress on drip-irrigated tomatoes grown under Mediterranean-type greenhouse conditions. **Agronomy**, v. 13, e36, 2023.
- KHODARAHMPOUR, Z.; IFAR, M.; MOTAMEDI, M. Effects of NaCl salinity on maize (*Zea mays* L.) at germination and early seedling stage. **African Journal of Biotechnology**, v. 11, p. 298-304, 2014.
- LAI, Q. X.; BAO, Z. Y.; ZHU, Z. J.; QIAN, Q. Q.; MAO, B. Z. Effects of osmotic stress on antioxidant enzymes activities in leaf discs of P<sub>SAG12</sub>-IPT modified gerbera. **Journal fo Zhejiang University Science B**, v. 8, p. 458-464, 2007.
- LARBI, A.; BACCAR, R.; BOULAL, H. Response of olive tree to ammonium nitrate fertilization under saline conditions. **Journal of Plant Nutrition**, v. 44, p. 1432-1445, 2020.
- LATIF, H. H.; MOHAMED, H. I. Exogenous applications of moringa leaf extract effect on retrotransposon, ultrastructural and biochemical contents of common bean plants under environmental stresses. **South African Journal of Botany**, v. 106, p. 221-231, 2016.

- LI, D.; WAN, S.; LI, X.; KANG, Y.; HAN, X. Effect of water-salt regulation drip irrigation with saline water on tomato quality in an arid region. **Agricultural Water Management**, v. 261, e107347, 2022.
- LIMA, C. J. S. de; OLIVEIRA, F. A.; MEDEIROS, J. F.; OLIVEIRA, M. K. T.; OLIVEIRA FILHO, A. F. Modelos matemáticos para estimativa de área foliar de feijão caupi. **Revista Caatinga**, v. 21, p. 120-127, 2008.
- LIMA, G. S. de; PINHEIRO, F. W. A.; GHEYI, H. R.; SOARES, L. A. A.; SOUSA, P. F. N.; FERNANDES, P. D. Saline water irrigation strategies and potassium fertilization on physiology and fruit production of yellow passion fruit. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 26, p. 180-189, 2022.
- LIMA, G. S. de; GHEYI, H. R.; NOBRE, R. G.; SOARES, L. A. A.; FERNANDES, P. D.; FREITAS, G. F. Trocas gasosas, pigmentos cloroplastídicos e dano celular na mamoneira sob diferentes composições catiônica da água. **Irriga**, v. 22, p. 757-774, 2017.
- LIMA, G. S. de; LACERDA, C. N.; SOARES, L. A. A.; GHEYI, H. R.; ARAÚJO, R. H. C. R. Production characteristics of sesame genotypes under different strategies of saline water application. **Revista Caatinga**, v. 33, p. 490-499, 2020.
- LIMA, G. S. de; NOBRE, R. G.; GHEYI, H. R.; SOARES, L. A. A.; SILVA, A. O. Growth and components of production of castor bean under saline stress and nitrogen fertilization. **Engenharia Agrícola**, v. 34, p. 854-866, 2014.
- LIMA, G. S. de; PINHEIRO, F. W. A.; DIAS, A. S.; GHEYI, H. R.; SOARES, L. A. A.; SILVA, S. S. Growth and production components of West Indian cherry cultivated with saline waters and potassium fertilization. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 23, p. 250-256, 2019.
- LITALIEN, A.; ZEEB, B. Curing the earth: A review of anthropogenic soil salinization and plant-based strategies for sustainable mitigation. **Science of the Total Environment**, v. 698, p. 1-15, 2020.
- LOTFI, R.; GHASSEMI-GOLEZANI, K.; PESSARAKLI, M. Salicylic acid regulates photosynthetic electron transfer and stomatal conductance of mung bean (*Vigna radiata* L.) under salinity stress. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v. 26, e101635, 2020.

- MAGALHÃES, I. D.; MELO, A. S.; FERNANDES, P. D.; QUEIROZ, M. F.; ARRIEL, N. H. C.; FERRAZ, R. L. S.; SUASSUNA, J. F.; MAIA JÚNIOR, S. O.; MEDEIROS, A. S.; VIEGAS, P. R. A.; COSTA, F. S.; COSTA, P. S. Gas exchange, photochemical efficiency, and yield of *Jatropha curcas* irrigated with saline water. **Australian Journal of crop Science**, v. 14, p. 802-809, 2020.
- MALERBA, M.; CERANA, R. Recent advances of chitosan applications in plants. **Polymers**, v. 10, p. 118-128, 2018.
- MARTINS, C. A. S. D.; REIS, E. F. D., GARCIA, G. O. D.; TOMAZ, M. A. Efeito do déficit hídrico na fase de enchimento de grãos do feijoeiro comum. **Nativa**, v. 5, p. 386-395, 2017.
- MARTINS, J. B.; SANTOS JÚNIOR, J. A.; BARTUSCH, V. P.; GHEYI, H. R.; BEZERRA NETO, E.; SILVA, M. M. D. Water relations in parsley plants cultivated in brackish nutrient solutions of different cationic natures. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 23, p. 662-668, 2019.
- MEDEIROS, J. F. **Qualidade de água de irrigação e evolução da salinidade nas propriedades assistidas pelo GAT nos Estados de RN, PB e CE**. 1992. 196f. (Dissertação de Mestrado em Engenharia Agrícola), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba - Campus II Campina Grande - Brasil, 1992.
- MESA, S. A. P.; PEDROSO, A. T. R.; ARREBATO, M. R. A. Efecto de diferentes concentraciones de quitosana sobre la germinación y crecimiento de plátulas de arroz (*Oryza sativa*, L.). **Avances**, v. 17, p. 380-386, 2015.
- MOHAMED, H. I.; AKLADIOUS, S. A.; ASHRY, N. A. Evaluation of water stress tolerance of soybean using physiological parameters and retrotransposon-based markers. **Gesunde Pflanzen**, v. 70, p. 205-215, 2018a.
- MOHAMED, H. I.; AKLADIOUS, S. A.; EL-BELTAGI, H. Mitigation the harmful effect of salt stress on physiological, biochemical and anatomical traits by foliar spray with trehalose on wheat cultivars. **Fresenius Environmental Bulletin**, v. 27, p. 7054-7076, 2018b.
- MORAIS, M. A. S.; JARDIM, A. M. R. F.; OLIVEIRA, E. N.; OLIVEIRA, F. R.; MATOS, N. A.; SIMÕES, A. N. O NaCl inibe a germinação e a atividade da amilase

- em duas espécies de feijão. **Revista Nordestina de Ciências Biológicas**, v.1, p.50-56, 2018.
- MOURA, J. Z.; PADUA, L. E. M.; MOURA, S. G.; TORRES, J. S.; SILVA, P. R. R. Escala de desenvolvimento fenológico e exigência térmica associada a graus-dia do feijão-caupi. **Revista Caatinga**, v. 25, p. 66-71, 2012.
- MULAUDZI, T.; NKUNA, M.; SIAS, G.; DOUMBIA, I. Z.; NJOMO, N.; IWOUHA, E. Antioxidant capacity of chitosan on sorghum plants under salinity stress. **Agriculture**, v. 12, e.1544, 2022.
- MUNNS, R.; TESTER, M. Mechanisms of salinity tolerance. **Annual Reviews of Plant Biology**, v. 59, p. 651-681, 2008.
- NOVAIS, R.F.; NEVES, J. C. L.; BARROS, N. F. Ensaio em ambiente controlado. In: OLIVEIRA, A. J.; GARRIDO, W. E.; ARAÚJO, J. D.; LOURENÇO, S. (eds.). **Métodos de pesquisa em fertilidade do solo**. Brasília, Embrapa-SEA, 1991. p. 189-254.
- OLIVAS, G. L.; BARBOSA-CÁNOVAS, G. V. Edible coatings for fresh-cut fruits. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 45, p. 657-670, 2005.
- OLIVEIRA, A. P.; ARAÚJO, J. S.; ALVES, E. U.; NORONHA, M. A. S.; CASSIMIRO, C. M.; MENDONÇA, F. G. Rendimento de feijão-caupi cultivado com esterco bovino e adubo mineral. **Horticultura Brasileira**, v. 19, p. 81-84, 2001.
- OLIVEIRA, A. P. S.; MELO, Y. L.; ALENCAR, R. S.; VIÉGAS, P. R. A.; DIAS, G. F.; FERRAZ, R. L. S.; SÁ, F. V. S.; DANTAS NETO, J.; MAGALHÃES, I. D.; GHEYI, H. R.; LACERDA, C. F.; MELO, A. S. Osmoregulatory and antioxidants modulation by salicylic acid and methionine in cowpea plants under the water restriction. **Plants**, v. 12, p. 1341 2023.
- OLIVEIRA, F. A.; MEDEIROS, J. F.; ALVES, R. C.; LIMA, L. A.; SANTOS, S. T.; RÉGIS, L. R. Produção de feijão caupi em função da salinidade e regulador de crescimento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, p. 1049-1056, 2015.
- OLIVEIRA, G. S.; LEITE, A. S.; SANTOS, J. C. S.; MENDONÇA, T. H. C.; OLIVEIRA, O. F. S. Caracterização morfoagronômica de variedades crioulas de

- feijão-caupi em diferentes sistemas de cultivo. **Congresso Internacional de Ciências Agrárias**, V. p. 1-14, 2020.
- OLIVEIRA, W. J.; SOUZA, E. R.; SANTOS, H. R. B.; SILVA, E. F. F. E; DUARTE, H. H. F.; MELO, D. V. M. Fluorescência da clorofila como indicador de estresse salino em feijão caupi. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 12, p. 2592-2603, 2018.
- PEDROSO, A. T. R.; PÉREZ, J. J. R.; MARTÍNEZ, Y. M.; ARREBATO, M. A. R.; RODRÍGUEZ, A. F.; FERNÁNDEZ, Y. V.; MONTIEL, L. G. H. Efecto del Quitomax® en el rendimiento del cultivo de arroz (*Oryza sativa*, L.) var. J-104. **Revista de la Facultad de Agronomía de La Universidad del Zulia**, v. 36, p. 98-110, 2019.
- PEREIRA JUNIOR, E. B. **Adubação nitrogenada e fosfatada na cultura do feijão caupi no município de Sousa-PB**. 2012. 69p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, Rio Grande do Norte 2012.
- PIERO, R. M. D.; GARDA, M. V. Quitosana reduz a severidade da antracnose e aumenta a atividade de glucanase em feijoeiro-comum. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, p. 1121-1128, 2008.
- RAMADAN, A. A. E. M.; EL-BASSIOUNY H. M. S.; BAKRY, B. A.; ABDALLAH, M. M. S.; EL-ENANY, M. A. M. Growth, yield and biochemical changes of soybean plant in response to iron and magnesium oxide nanoparticles. **Pakistan Journal of Biological Sciences**, v. 23, p. 406-417, 2020.
- RAMÍREZ, M. A.; RODRIGUEZ, A. T.; ALFONSO, L.; PENICHE, C. Chitin and its derivatives as biopolymers with potential agricultural applications. **Biotecnología Aplicada**, v. 27, p. 270-276, 2010.
- REIS, C. O.; MAGALHÃES, P. C.; AVILA, R. G.; ALMEIDA, L. G.; RABELO, V. M.; CARVALHO, D. T.; CABRAL, D. F.; KARAM, D.; SOUZA, T. C. Action of *N*-succinyl and *N,O*-dicarboxymethyl chitosan derivatives on chlorophyll photosynthesis and fluorescence in drought-sensitive maize. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 38, p. 619-630, 2019.
- RIBEIRO, R. M. R.; SOUSA, G. G.; BARBOSA, A. S.; LACERDA, C. F.; FREIRA, M. H. C.; MORAES, J. G. L. Irrigation strategies with saline water and phosphate



fertilization in cowpea culture. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 17, e2572, 2022.

RICHARDS, L. A. **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils**. Washington: U. S. Department of Agriculture, 1954. 160p.

RODRIGUES, A. J. O.; NUNES, R. L. R.; NUNES, A. M. C.; UCHÔA, K. S. A. Efeito da adubação silicatada no cultivo de tomateiro sob estresse salino. **Agropecuária Científica no Semiárido**, v. 14, p. 141-148, 2018.

ROLIM, A. E. H.; CARVALHO, F. A.; COSTA, R. C. C.; ROSA, F. P. Arcabouços de quitosana – Propriedades físico-químicas e biológicas para o reparo ósseo. **Revista Virtual de Química**, v. 10, p. 211-228, 2018.

SÁ, F. V. S.; FERREIRA NETO, M.; LIMA, Y. B.; PAIVA, E. P.; PRATA, R. C.; LACERDA, C. F.; BRITO, M. E. B. Growth, gas exchange and photochemical efficiency of the cowpea bean under salt stress and phosphorus fertilization. **Comunicata Scientiae**, v. 9, p. 668-679, 2018c.

SÁ, F. V. S.; GHEYI, H. R.; LIMA, G. S.; PAIVA, E. P.; LACERDA, C. F.; FERNANDES, P. D. Saline water, nitrogen and phosphorus on water relations and physiological aspects of West Indian cherry. **Comunicata Scientiae**, v. 9, p. 430-437, 2018a.

SÁ, F. V. S.; GHEYI, H. R.; LIMA, G. S.; PAIVA, E. P.; MOREIRA, R. C. L.; SILVA, L.A. Water salinity, nitrogen and phosphorus on photochemical efficiency and growth of West Indian cherry. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 22, p. 158-163, 2018b.

SADDIQ, M. S.; IQBAL, S.; HAFEEZ, M. B.; IBRAHIM, A. M.; RAZA, A.; FATIMA, E. M.; CIARMIELLO, L. F. Effect of salinity stress on physiological changes in winter and spring wheat. **Agronomy**, v.11, p. 1193, 2021.

SAFIKHAN, S.; KHOSHBAKHT, K.; CHAICHI, R. M.; AMINI, A.; MOTESHAREZADEH, B. Role of chitosan on the growth, physiological parameters and enzymatic activity of milk thistle (*Silybum marianum* (L.) Gaertn.) in a pot experiment. **Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants**, v. 10, p. 49-58, 2018.

- SANTOS, C. A. F. BRS Tapaihum, BRS Carijó e BRS Acauã: novas cultivares de feijão caupi para o vale do São Francisco. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE OLERICULTURA**, 51. Viçosa: ABH. 2011. p. 3086-3094.
- SCOTTI-CAMPOS, P.; PHAM-THI, ANH-THU; SEMEDO, J. N.; PAIS, I. P.; RAMALHO, J. C.; MATOS, M. C. Physiological responses and membrane integrity in three *Vigna* genotypes with contrasting drought tolerance. **Emirates Journal of Food and Agriculture**, v. 25, p. 1002-1013, 2013.
- SEN, S.; MANDAL, P. Solid matrix priming with chitosan enhances seed germination and seedling invigoration in mung bean under salinity stress. **Journal Central European of Agriculture**, v. 17, p. 749-765, 2016.
- SILVA, A. A. R. da; LIMA, G. S.; AZEVEDO, C. A. V.; GHEYI, H. R.; SOARES L. A. A; VELOSO L. L. S. A. Salicylic acid improves physiological indicators of soursop irrigated with saline water. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 26, p. 412-419, 2022b.
- SILVA, A. A. R.; LIMA, G. S.; AZEVEDO, C. A. V.; GHEYI, H. R.; SOUZA, A. R.; FERNANDES, P.D. Salicylic acid relieves the effect of saline stress on soursop morphology. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 45, e007021, 2021b.
- SILVA, A. A. R.; LIMA, G. S. de; AZEVEDO, C. A. V.; VELOSO, L. L. S.; GHEYI, H. R. Salicylic acid as na attenuator of salt stress in soursop. **Revista Caatinga**, v. 33, p. 1092-1101, 2020.
- SILVA, A. F.; SOUSA, F. DE O.; SANTOS, G. L. DOS; ARAÚJO JÚNIOR, E. S.; SILVA, S. L. F. da; MACEDO, C. E. C. de; MELO, A. S. de; MAIA, J. M. Antioxidant protection of photosynthesis in two cashew progenies under salt stress. **Journal of Agricultural Science**, v. 10, p. 388-404, 2018.
- SILVA, E. B.; VIANA, T. V. A.; SOUSA, G. G.; SOUSA, J. T. M.; SANTOS, M. F.; AZEVEDO, B. M. Growth and nutrition of peanut crop subjected to saline stress and organomineral fertilization. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 26, p. 495-501, 2022a.
- SILVA, E. J. M. **Avaliação da produtividade de cultivares de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) walp) submetidas à privação hídrica durante a fase vegetativa.**

2023. 37 f. Trabalho de conclusão de curso (Bacharel em Agronomia) - Universidade Federal do Amazonas, Humaitá, Amazonas 2023.

SILVA, P. T. S. **Efeito de elicitores bióticos na morfofisiologia e na produção de metabólitos secundários de *Lippia alba* (Mill.) cultivadas *in vitro***. 2021. 63 f. Dissertação (Mestrado em Botânica) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Pernambuco, Recife 2021a.

SINDHU, M.; KUMAR, A.; YADAV, H.; CHAUDHARY, D.; JAIWAL, R.; JAIWAL, P. K. Current advances and future directions in genetic enhancement of a climate resilient food legume crop, cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.). **Plant Cell, Tissue and Organ Culture**, v. 139, p. 429-453, 2019.

SOFY, A. R.; DAWOUD, R. A.; SOFY, M. R.; MOHAMED, H. I.; HMED, A. A.; EL-DOUGDOUG, N. K. Improving regulation of enzymatic and non-enzymatic antioxidants and stress-related gene stimulation in cucumber mosaic cucumovirus-infected cucumber plants treated with glycine betaine, chitosan and combination. **Molecules**, v. 25, p. 2341, 2020.

SOUSA, J. T. M.; SOUSA, G. G.; SILVA, E. B.; SILVA JUNIOR, F. B.; VIANA, T. V. A. Physiological responses of peanut crops to irrigation with brackish waters and application of organo-mineral fertilizers. **Revista Caatinga**, v. 34, p. 682-691, 2021.

SOUZA, L. P.; NOBRE, R. G.; SILVA, E. M.; LIMA, G. S.; PINHEIRO, F. W. A.; ALMEIDA, L. L. S. Formation of 'Crioul' guava rootstock under saline water irrigation and nitrogen doses. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, p. 739-745, 2016.

SULLIVAN, C. Y. Mechanisms of heat drought resistance in grain sorghum and methods of measurement. In: RAO, N. G. P.; HOUSE, L. R. (eds.). **Sorghum in Seventies**. New Delhi: Oxford and IBH Publication, 1971, 247p.

TABASSUM, M.; NOREEN, Z.; ASLAM, M.; SHOAH, A. N.; USMAN, S.; WAGAS, A.; ALSHERIF, E. A.; KPRANY, S. M.; NAZIM, M. Chitosan modulated antioxidant activity, inorganic ions homeostasis and endogenous melatonin to improve yield of *Pisum sativum* L. accessions under salt stress. **Scientia Horticulturae**, v. 323, e112509, 2024.

- TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MØLLER, I. M.; MURPHY, A. **Plant physiology and development**. 7.ed. New York: Sinauer Associates, 2017. 751p.
- TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de métodos de análise de solo**. 3.ed. Brasília: Embrapa Solos, 2017. 573 p.
- TEJERA, N. A.; SOUSSI, M.; LIUCH, C. Physiological and nutritional indicators of tolerance to salinity in chickpea plants growing under symbiotic conditions. **Environmental and Experimental Botany**, v. 58, p.17-24, 2006.
- TIMKO, M. P.; SINGH, B. Cowpea, a multifunctional legume. In: MOORE, P. H.; MING, R.; DELMER, D. (eds.). **Genomics of tropical crop plants (Plant genetics and genomics: Crops and models)**, vol. 1. New York: Springer, 2008. p. 227-258.
- TURK, H. Chitosan-induced enhanced expression and activation of alternative oxidase confer tolerance to salt stress in maize seedlings. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 141, p. 415-422, 2019.
- ULLAH, N.; BASIT, A.; AHMAD, I.; ULLAH, I.; SHAH, S. T.; MOHAMED, H. I.; JAVED, S. Mitigation the adverse effect of salinity stress on the performance of the tomato crop by exogenous application of chitosan. **Bulletin of the National Research Centre**, v. 44, p. 1-11, 2020.
- VAN NGUYEN, S.; MINH, H. D.; ANH, D. N. Study on chitosan nanoparticles on biophysical characteristics and growth of Robusta coffee in green house. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v. 2, p. 189-194, 2013.
- WANG, H.; FENG, D.; ZHANG, A.; ZHENG, C.; LI, K.; NING, S.; ZHANG, J.; SUN, C. Effects of saline water mulched drip irrigation on cotton yield and soil quality in the North China Plain. **Agricultural Water Management**, v. 262, e107405, 2022.
- WANG, Y. H.; ZANG, G.; CHEN, Y.; GAO, J.; SUN, Y. R.; CHEN, J. P. Exogenous application of gibberellic acid and ascorbic acid improved tolerance of okra seedlings to NaCl stress. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 41, 2019.
- WANI, A. S.; AHMAD, A.; HAYAT, S.; TAHIR, I. Epibrassinolide and proline alleviate the photosynthetic and yield inhibition under salt stress by acting on antioxidant system in mustard. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 135, p. 385-394, 2019.

- WEATHERLEY, P E. Studies in the water relations of the cotton plant. I. The field measurement of water deficits in leaves. **New Phytologist**, v. 49, p. 81-97, 1950.
- YUAN, C.; FENG, S.; HUO, Z.; JI, Q. Effects of deficit irrigation with saline water on soil water-salt distribution and water use efficiency of maize for seed production in arid Northwest China. **Agricultural Water Management**, v. 212, p. 424-432, 2019.
- ZAYED, M. M.; DAWOUD, S.; SAYED, H. E.; ZEDAN, A. Effect of nano chitosan on growth, physiological and biochemical parameters of *Phaseolus vulgaris* under salt stress. **International Journal of Plant Production**, v. 8, p. 577-585, 2017.
- ZHANG, A.; ZHENG, C.; LI, K.; DANG, H. Responses of soil water-salt variation and cotton growth to drip irrigation with saline water in the low plain near the Bohai sea. **Irrigation and Drainage**, v. 69, p. 448-459, 2020.
- ZHANG, G.; WANG, Y.; WU, K.; ZHANG, Q.; FENG, Y.; MIAO, Y.; YAN, Z. Exogenous application of chitosan alleviate salinity stress in lettuce (*Lactuca sativa* L.). **Horticulturae**, v. 7, e342, 2021.
- ZOU, P.; LU, X.; JING, C.; YUAN, Y.; LU, Y.; ZHANG, C.; MENG, L.; ZHAO, H.; LI, Y. Low-molecular-weight polysaccharides from *Pyropia yezoensis* enhance tolerance of wheat seedlings (*Triticum aestivum* L.) to salt stress. **Frontier in Plant Science**, v. 9, e427, 2018.