


ORIGINAL PAPER

**Morfofisiologia de feijão-caupi sob estresse salino e aplicação de quitosana em área semiárida**

Lucyelly Dâmela Araújo Borborema<sup>1\*</sup>, André Alisson Rodrigues da Silva<sup>1</sup>, Hans Raj Gheyi<sup>1</sup>, Geovani Soares de Lima<sup>2</sup>, Wesley Bruno Belo de Souza<sup>1</sup>, Allysson Jonhny Torres Mendonça<sup>1</sup>, Larissa Fernanda Sousa Santos<sup>1</sup> & Franciele Simões do Nascimento<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, Paraíba, Brasil

<sup>2</sup>Universidade Federal de Campina Grande, Pombal, Paraíba, Brasil

**Resumo:** Na região do Nordeste brasileiro, as águas com altas concentrações de sais solúveis se destacam como um dos principais fatores de estresse abiótico, impactando negativamente o crescimento e a produtividade das plantas. Assim, é necessário o uso de alternativas capazes de mitigar os efeitos do estresse salino nas culturas de grande importância para a região, como o feijão-caupi. Neste contexto, objetivou-se com o presente estudo avaliar os efeitos das concentrações de quitosana na morfofisiologia de feijão-caupi sob estresse salino. O experimento foi conduzido em casa de vegetação, utilizando-se o delineamento inteiramente casualizados 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. A irrigação com CEa de 4,0  $\text{dS m}^{-1}$  diminuiu o conteúdo relativo de água e o acúmulo de fitomassa e elevou o extravasamento de eletrólitos das plantas de feijão-caupi. Aplicações de quitosana em plantas sob CEa de 0,6  $\text{dS m}^{-1}$  inibiu o crescimento. Aplicações de quitosana entre as concentrações de 0,46 e 0,71  $\text{g L}^{-1}$  amenizaram os efeitos da salinidade da água, reduzindo o extravasamento de eletrólitos e aumentando o conteúdo relativo de água, número de folhas, área foliar, e a taxa de crescimento relativo em diâmetro de haste e a relação raiz/parte aérea. A aplicação foliar de quitosana no cultivo do feijão deve ser realizada sob condições de elevada salinidade da água.

**Palavras-chave:** BRS Tapaihum, elicitor, salinidade.

**Morphophysiology of cowpea under salt stress and chitosan application in a semi-arid area**

**Abstract:** In the Northeast region of Brazil, waters with high concentrations of soluble salts stand out as one of the main abiotic stress factors, significantly impacting plant growth and productivity. Therefore, it is necessary to use alternatives capable of mitigating the effects of salt stress on crops of great importance to the region, such as cowpea. In this context, the

\* Autor correspondente: E-mail: [lucyellyd@gmail.com](mailto:lucyellyd@gmail.com)

Editores: Mairton Gomes da Silva & Petterson Costa Conceição Silva

Recebido em: 15 de agosto de 2024

Aceito em: 31 de janeiro de 2025

objective of present study was to evaluate the effects of chitosan concentrations on the morphophysiology of cowpea under saline stress. The experiment was conducted in a greenhouse, adopting a randomized design, in a  $2 \times 5$  factorial scheme, with two levels of electrical conductivity of the irrigation water – EC<sub>w</sub> (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 replications. Irrigation with EC<sub>w</sub> of 4.0 dS m<sup>-1</sup> decreased the relative water content and phytomass accumulation and increased electrolyte leakage in the leaf blade of cowpea plants. Chitosan applications on plants under EC<sub>w</sub> of 0.6 dS m<sup>-1</sup> inhibited the growth. Chitosan applications between concentrations of 0.46 and 0.71 g L<sup>-1</sup> mitigated the harmful effects of water salinity by reducing electrolyte leakage and increasing the relative water content, number of leaves, leaf area, and relative growth rate of stem diameter, and root/shoot ratio. Foliar application of chitosan in cowpea cultivation should only be carried out under conditions of high-water salinity.

**Keywords:** BRS Tapaihum, elicitor, salinity.

### Introdução

O Nordeste brasileiro é caracterizado por sua variação nas condições climáticas, possuindo restrições hídricas e fontes de águas que apresentam altas concentrações de sais solúveis, capazes de induzir alterações em vários processos fisiológicos das plantas, devido os efeitos osmóticos e iônicos, que podem causar desequilíbrio nutricional, dano oxidativo, distúrbios metabólicos e fotoinibição (Zhang et al., 2021; Borborema et al., 2022).

Com as características edafoclimáticas da região do Nordeste brasileiro e a crescente demanda por alimentos, a aplicação de elicitores é fundamental a busca por alternativas capazes de amenizar os efeitos do estresse salino, dentre as estratégias destaca-se à aplicação foliar de quitosana (Tabassum et al., 2024). A quitosana é um polissacarídeo obtido através da desacetilação da quitina, atóxica e biofuncional do exoesqueleto de crustáceos (Zhao et al., 2019).

A função da quitosana na mitigação do estresse se dá através da desintoxicação de espécies reativas de oxigênio contribuindo na redução do estresse oxidativo e aumento na eficiência do uso da água, absorção de nutrientes, na síntese de clorofila e atividade fotossintética (Zhao et al., 2019). A aplicação foliar de quitosana induz a tolerância das plantas a diversas formas de estresse, em que, vários estudos comprovaram seu papel na melhoria do

crescimento das plantas de tomate (Ullah et al., 2020), alface (Zhang et al., 2021) e sorgo (Mulaudzi et al., 2022) no aumento da tolerância ao estresse salino. Entretanto, os mecanismos pelos quais a quitosana afeta as plantas não estão totalmente elucidados, mas a intensidade dos efeitos depende de sua composição química e da taxa de aplicação (Malerba e Cerana, 2016) e do ambiente o qual está inserido.

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp) é uma leguminosa de significativa importância socioeconômica e nutricional, o segundo feijão mais cultivado no Brasil, contabilizando 17 estados com produção expressiva, sendo as regiões Norte e Nordeste responsáveis por mais de 75% da produção nacional (IBRAFE, 2022). O feijão-caupi é uma espécie de grande importância para alimentação humana, em que contém de 20 a 29% de proteínas, 56 a 74% de amido e uma alta concentração de vitaminas, minerais e fibras alimentares, além de possuir uma quantidade reduzida de lipídios, em torno de 2% (Gondwe et al., 2019). No entanto, esta cultura destaca-se entre outras cujo desenvolvimento e processos fisiológicos são impactados pela salinidade (Oliveira et al., 2024).

O uso das águas salobras na cultura do feijão-caupi ocasiona retardamento da floração, abortamento de flores e, nas fases fenológicas, o estresse salino contínuo afeta negativamente a altura da planta, fotossíntese, transpiração, condutância

estomática e a temperatura foliar da cultura (Ribeiro et al., 2022). No entanto, embora os efeitos deletérios do estresse salino nesta cultura já tenham sido estudados (Oliveira et al., 2024), ainda são incipientes informações sobre os efeitos da quitosana na morfofisiologia do feijão-caupi em condições de estresse salino em áreas semiáridas do Nordeste brasileiro. Nesse contexto, objetivou-se com o presente estudo avaliar os efeitos das concentrações de quitosana na morfofisiologia de feijão-caupi sob estresse salino.

### Material e Métodos

O experimento foi conduzido no período de março a maio de 2023 em 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). Foram coletados dados médios de temperatura (máxima = 29,36°C, média = 24,19°C e mínima = 21,26°C) e umidade média relativa do ar (85,96%) da área interna da casa de vegetação durante o período 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 casualizados (DIC), em arranjo fatorial 2 × 5, com quatro repetições e três plantas por parcela. Os níveis salinos foram adaptados a partir de estudos realizados por Barbosa et al. (2021) em que trabalharam com a cultura do feijão-caupi e as concentrações de quitosana foram estabelecidas de acordo com o estudo desenvolvido por Mulaudzi et al. (2022) com a cultura do sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench). As soluções de quitosana foram

aplicadas através de pulverização foliar, sendo realizadas três aplicações com valor médio de calda de 35,62 mL planta<sup>-1</sup>, de acordo com cada tratamento.

Foram utilizados vasos com capacidade de 10 L adaptados como lisímetros de drenagem (altura de 21 cm e diâmetro de 25 cm), perfurados em sua base para permitir a drenagem, acoplando-se dreno transparente (diâmetro de 1 cm). Para facilitar a drenagem, foi colocado um tecido geotêxtil e uma camada de 0,3 kg de brita (n° 0) para evitar a obstrução pelo material de solo. Em cada dreno, colocou-se uma garrafa plástica (capacidade de 2 L) para a coleta de água drenada visando estimativa do consumo de água pela planta.

O solo utilizado no preenchimento dos recipientes foi classificado como *Entisol* (USDA, 2014), sendo 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 e altitude média de 634 m. Os atributos químicos e físicos do solo (Tabela 1) foram determinados de acordo com a metodologia de Teixeira et al. (2017).

Para a semeadura, foi utilizado quatro sementes de feijão-caupi BRS Tapaihum por vaso distribuídas de forma equidistante, em profundidade padrão de aproximadamente 3 cm. Aos 15 dias após a emergência, foi realizado o desbaste (deixando-se uma planta por vaso).

A adubação com nitrogênio, fósforo e potássio foi realizada conforme recomendação de Novais et al. (1991), aplicando-se 100, 300 e 150 mg kg<sup>-1</sup> no solo de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O, respectivamente. Os fertilizantes usados foram a ureia (45% N), fosfato monoamônico (12% N; 61% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) e KCl (60% K<sub>2</sub>O), com aplicações quinzenalmente via fertirrigação. Foram realizadas três aplicações ao longo do ciclo (aos 13, 38 e 43 dias após semeadura – DAS), com 1,5; 4,5 e 2,25 g de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O, respectivamente.

Como fonte de micronutrientes, foi aplicado via foliar a cada 15 dias Dripsol Micro<sup>®</sup> na concentração de 1,0 g L<sup>-1</sup>

(seguindo a recomendação do fabricante), 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%). Em cada

aplicação, em média, utilizaram-se 100 mL da solução por planta.

Tabela 1: Atributos químicos e físicos-hídricos do solo utilizado no experimento

pH (H <sub>2</sub> O)	M.O.	P	Atributos químicas					
			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>	.....cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> .....					
5,40	17,62	2,92	0,28	0,04	1,87	1,70	0,20	2,85
Atributos químicos			Atributos físicos					
CEes	CTC	RASes	PST	Fração granulométrica (g kg <sup>-1</sup> )			Umidade (dag kg <sup>-1</sup> )	
dS m <sup>-1</sup>	cmol <sub>c</sub> kg	(mmol L <sup>-1</sup> ) <sup>0,5</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> – cálcio e magnésio extraídos com KCl 1 M pH 7,0; Na<sup>+</sup> e K<sup>+</sup> – sódio e potássio 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 do solo; CTC – capacidade de troca catiônica; RASes – relação de adsorção de sódio do extrato de saturação; PST – percentagem de sódio trocável; <sup>1</sup> e <sup>2</sup> – umidade de solo na capacidade de campo e ponto de murchamento permanente, respectivamente.

A água salobra foi preparada 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 (CEa de 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.

$$Q = 10 \times CEa \quad (1)$$

Em que:

Q – quantidade de sais (mmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup>); CEa – condutividade elétrica da água de irrigação (dS m<sup>-1</sup>).

Após o preparo da água salobra, o valor de condutividade elétrica foi conferido mediante o uso de condutímetro de bancada (MB11, MS Techonopon<sup>®</sup>). Para o manejo de irrigação foi utilizado a água de abastecimento local (CEa de 0,6 dS m<sup>-1</sup>) até os 17 dias após a semeadura (DAS), após esse período iniciou-se o uso da água salobra.

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 a Equação 2.

$$VI = \frac{Va - Vd}{1 - FL} \quad (2)$$

Em que:

VI – volume de água a ser aplicada (mL); Va – volume de água aplicado no evento de irrigação anterior (mL); Vd – volume de água drenado após evento de irrigação anterior (mL); FL – fração de lixiviação (0,10) aplicada a cada 15 dias, com o propósito de evitar o acúmulo excessivo de sais na zona radicular.

Utilizou-se a quitosana em pó fabricada pela empresa Originalis<sup>®</sup> Biotech, com 1,31% de cinzas totais e 86,12 de grau de desacetilação. A solução 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 (Centaur<sup>®</sup>) 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>. Para o tratamento testemunha (0 g L<sup>-1</sup>), não se realizou a aplicação foliar. As aplicações foliares tiveram início às 17:00 h, sendo realizada aos 15, 30 e 45 DAS, através de pulverizações da parte adaxial e abaxial das folhas com o auxílio de um pulverizador manual para garrafa pet (Fertak<sup>®</sup>), sendo utilizado um volume

médio de 35,62 mL por planta, aplicado de acordo com cada concentração.

Aos 45 DAS foram determinados o conteúdo relativo de água foliar (CRA) e extravasamento de eletrólitos (EE%) no limbo foliar. Aos 30 e 45 DAS foi mensurado o crescimento (comprimento de haste, diâmetro de haste, número de folhas e a área foliar). De posse desses dados, foi determinada a taxa de crescimento relativo do comprimento de haste, diâmetro de haste e área foliar. Já o acúmulo de fitomassa das plantas de feijão-caupi cultivar BRS Tapaihum foi determinada aos 60 DAS.

Para determinação do CRA, foram retiradas do terço intermediário dos ramos, cinco discos (diâmetro 12 mm) foliares de cada planta. Imediatamente após a coleta, os discos foram pesados evitando perdas de umidade, obtendo os valores de massa fresca (MF), em seguida, essas amostras foram colocadas em Beckers®, imersas em 50 mL de água destilada e acondicionadas por 24 h. 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 de  $65 \pm 3^\circ\text{C}$ ) para obtenção da massa seca (MS) das amostras. A determinação do CRA foi obtida de acordo com metodologia de Weatherley (1950) utilizando-se a 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); MS – massa seca (g).

O extravasamento de eletrólitos no limbo foliar 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® com 50 mL de água destilada e hermeticamente fechados com papel alumínio. Os Beckers foram

mantidos em temperatura de 25°C por 24 h, sendo aferida a condutividade elétrica inicial (C<sub>i</sub>), usando condutivímetro de bancada (MB11, MS Techonopon®). Logo após, os Beckers® foram mantidos em estufa com ventilação forçada de ar (SL100/336, SOLAB®) com temperatura constante de 80°C durante 120 min. 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.

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

Em que:

EE – extravasamento de eletrólitos (%); C<sub>i</sub> – condutividade elétrica inicial a 25°C (dS m<sup>-1</sup>); C<sub>f</sub> – condutividade elétrica final 25°C (dS m<sup>-1</sup>).

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 5; diâmetro de haste (DH, mm) utilizando-se de um paquímetro digital e o número de folhas contadas manualmente, sendo consideradas aquelas que possuíam pelo menos 20% de área verde (coloração característica da espécie).

$$\text{AF} = \Sigma(0,9915(C \times L)^{0,9134}) \quad (5)$$

Em que:

AF – área foliar (cm<sup>2</sup>); C – comprimento (cm); 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>, cm cm<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup>), do DH (TCR<sub>DH</sub>, mm mm<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup>) e da AF (TCR<sub>AF</sub>, cm<sup>2</sup> cm<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>), variáveis que verificam o crescimento das plantas quando comparadas com o seu tamanho inicial,

determinadas de acordo com metodologia descrita por Benincasa (2003), conforme a Equação 6.

$$TCR = \frac{(\ln A_2 - \ln A_1)}{(T_2 - T_1)} \quad (6)$$

Em que:

TCR – taxa de crescimento relativo;  $A_1$  – variável no tempo 1;  $A_2$  – variável no tempo 2;  $T_1$  – tempo 1 em dias;  $T_2$  – tempo 2 em dias; Ln – logaritmo natural.

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 g.

Os dados obtidos foram submetidos ao teste de normalidade (teste de Shapiro-Wilk) e homogeneidade (teste de Bartlett). Posteriormente, foi realizada a análise de variância pelo teste 'F' em nível de  $p \leq 0,05$  de probabilidade. As concentrações de quitosana e a interação entre os dois fatores (condutividade elétrica da água de irrigação e concentrações de quitosana) foram analisadas por meio de análise de regressão polinomial (linear e quadrática), utilizando-se do software computacional SISVAR 5.6 (Ferreira, 2019).

### 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%) no limbo foliar, aos 45 dias após a semeadura (Tabela 2).

Tabela 2: 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 dois níveis de condutividade elétrica da água de irrigação e aplicação foliar de quitosana em diferentes concentrações, 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	28	3,25	0,15
CV (%)		2,40	1,04

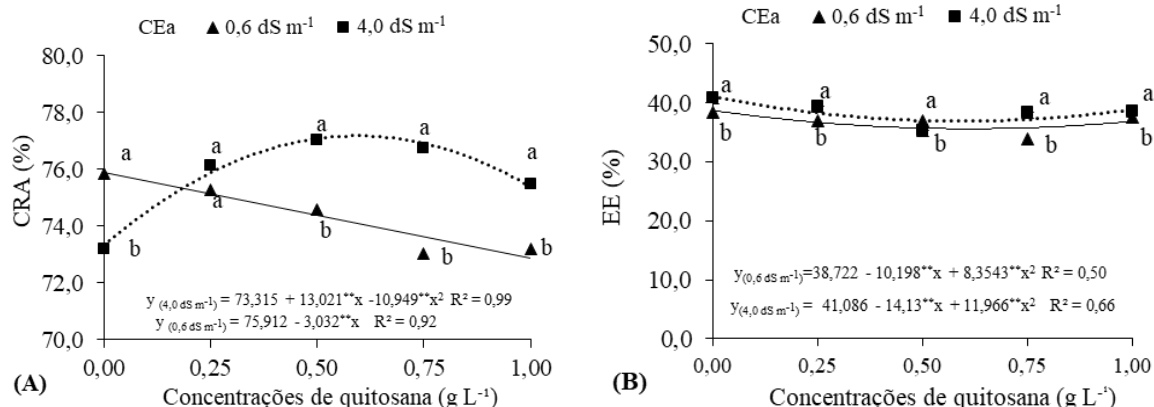
GL – grau de liberdade; CV – coeficiente de variação; <sup>ns</sup>, \*\* – não significativo ( $p > 0,05$ ) e significativo a  $p \leq 0,01$ , respectivamente, pelo teste F.

A salinidade da água de 4,0 dS m<sup>-1</sup> e sem aplicação de quitosana reduziu o CRA em 2,59% em relação as cultivadas com água de 0,6 dS m<sup>-1</sup>. Observa-se que o aumento das 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 1A).

Por outro lado, verifica-se que as plantas que receberam irrigações com CEa de 4,0 dS m<sup>-1</sup> e pulverizadas com a concentração estimada de quitosana até 0,59 g L<sup>-1</sup> obtiveram o maior valor de CRA foliar (77,19%), resultando em um aumento de 3,87% em relação as plantas 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 0,50, 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> (2,69, 3,28 e 2,51%, respectivamente), 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 1: 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.

O efeito benéfico da quitosana sobre o CRA das plantas de feijão-caupi sob estresse salino pode estar relacionado 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 (El-Hack et al., 2020).

Geng et al. (2020) também relataram que as plantas de grama rasteira (*Agrostis stolonifera*) pré-tratadas com quitosana (500 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, sendo: 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 solução de 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 aumento da salinidade da água de irrigação resultou em acréscimo de 2,36% no EE% nas plantas de feijão-caupi que não receberam aplicação de quitosana (Figura 1B). Por outro lado, a pulverização foliar de quitosana até a concentração estimada 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 a testemunha (0 g L<sup>-1</sup>) (Figura 1B). Sob CEa de 4,0 dS m<sup>-1</sup>, até a concentração de 0,51 g L<sup>-1</sup>, houve redução no EE%, com menor valor de 36,91%. Observa-se ainda que, quando comparada com as testemunhas (0 g L<sup>-1</sup>), ocorreu redução de 4,18%. Constatou-se que, houve diferença significativa no %EE entre as plantas irrigadas com os distintos níveis de CEa para todas as concentrações de quitosana estudadas, sendo o maior nível de salinidade de água a proporcionar maiores valores de EE%. O extravasamento de eletrólitos no limbo foliar observado neste

estudo não causou lesões aos tecidos foliares, pois, segundo Sullivan (1971), a célula é considerada lesionada quando o percentual de dano ultrapassa 50%.

Em pesquisa realizada por Zhang et al. (2021), avaliando o efeito da aplicação foliar de quitosana (100 mg L<sup>-1</sup>) em alface (*Lactuca sativa* L.) sob estresse salino (100 mM de NaCl), constataram redução no extravasamento de eletrólitos de 8,9% quando comparado com as plantas sob estresse salino e sem aplicação de quitosana, indicando que a quitosana pode mitigar o dano oxidativo e contribuir na

estabilidade do sistema de membrana celular sob condições de salinidade.

Houve interação significativa ( $p \leq 0,01$ ) entre os níveis de condutividade elétrica da água de irrigação e concentrações de quitosana nos dois períodos analisados (30 e 45 DAS) para diâmetro de haste (DH), número de folhas (NF) e área foliar (AF), já para o comprimento da haste (CH) houve efeito na interação apenas aos 45 DAS (Tabela 3). Verifica-se ainda efeito significativo dos fatores (CEa e CQ) analisados de forma isolada para o CH aos 30 DAS.

Tabela 3: 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 dois níveis de condutividade elétrica da água (CEa) 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
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	28	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
CEa	1	17,63**	1050,2**	943,77 <sup>ns</sup>	9104052**
Concentrações de quitosana (CQ)	4	5,07**	57,61**	149434**	310502**
Regressão linear	1	5,40**	192,60**	166273**	1106854**
Regressão quadrático	1	4,76**	14,17*	304961**	62611,46**
Interação (CEa × CQ)	4	52,72**	49,65**	113127**	78051**
Resíduo	28	0,40	1,59	1046,98	300,72
CV (%)		4,98	5,88	6,78	1,52

GL – grau de liberdade; CV – coeficiente de variação; <sup>ns</sup>, \*, \*\* – não significativo ( $p > 0,05$ ), significativo a  $p \leq 0,05$  e  $p \leq 0,01$ , respectivamente, pelo teste F.

Ao submeter as plantas de feijão-caupi aos níveis de CEa (Figura 2A), verifica-se redução de 22,51% (3,88 cm) no CH aos 30 DAS, sendo as plantas irrigadas com CEa de 0,6 dS m<sup>-1</sup> alcançando maiores alturas (17,23 cm). Constata-se ainda que, as concentrações de quitosana promoveram

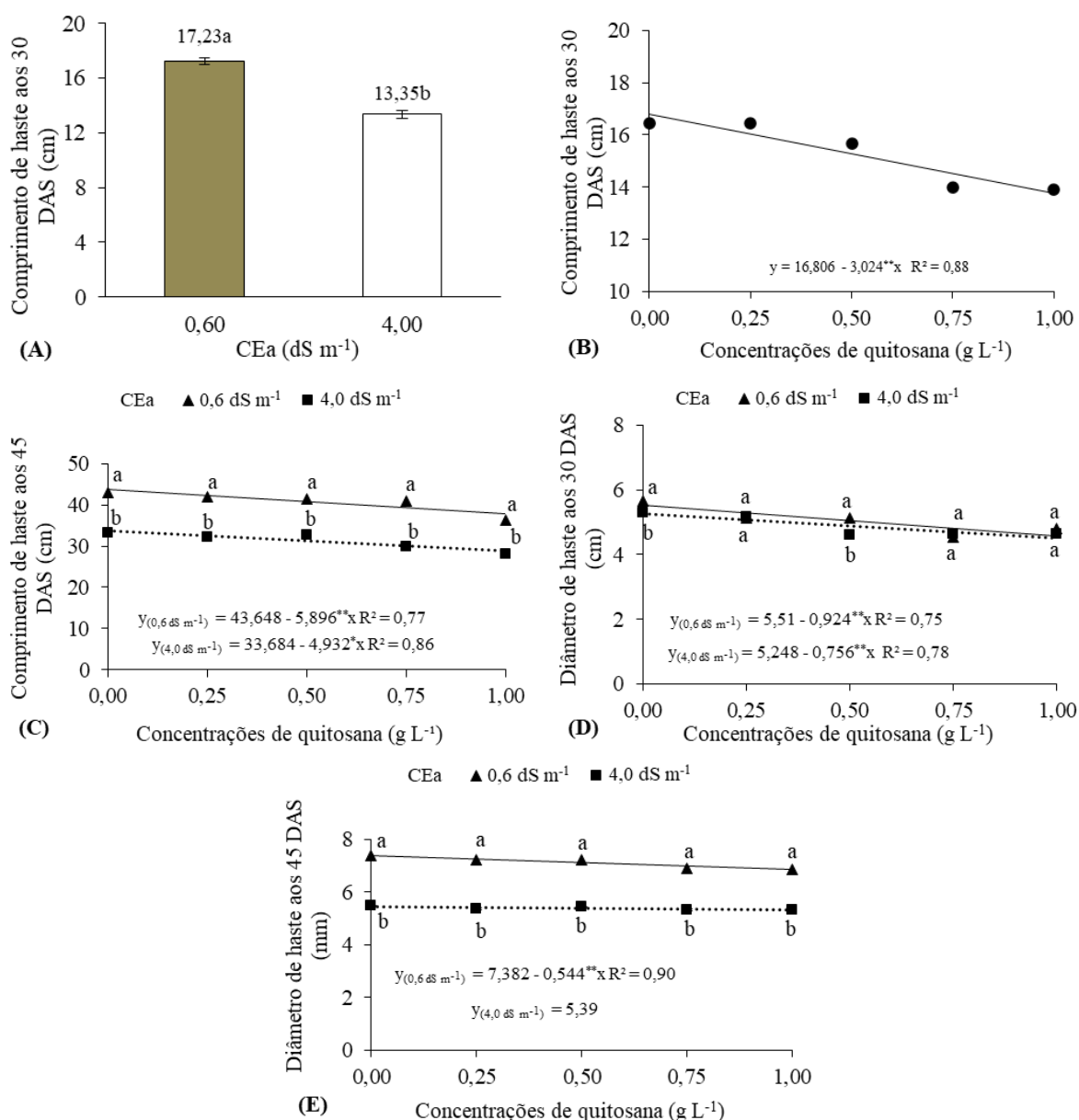
redução média de 17,99% por incremento unitário (Figura 2B).

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 nutrientes pelas



plantas (Mohamed et al., 2018). Conforme Mohamed et al. (2018) as plantas de trigo foram afetadas negativamente pelo estresse salino com redução no crescimento, devido a restrição na absorção de água que provoca uma limitação na elasticidade da parede celular e reduz o alongamento da célula e

consequentemente o crescimento da planta. Tavares et al. (2021) relataram que, sob estresse salino, os critérios morfológicos na cultura do feijão-caupi foram significativamente suprimidos.



\*, \*\* 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). Barras de erro na vertical representam o erro padrão da média ( $n = 12$ ).

Figura 2: 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 a semeadura; comprimento de haste (C) e diâmetro de haste (E) aos 45 dias após a semeadura 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.

O aumento das concentrações de quitosana nas plantas cultivadas sob CEa de 0,6 e 4,0 dS m<sup>-1</sup>, proporcionaram reduções no CH aos 45 DAS de 13,51 e 14,64% por incremento unitário (Figura 2C), respectivamente.

Para o diâmetro da haste aos 30 DAS (Figura 2D), verificou-se redução em função do incremento unitário das concentrações de quitosana. Ao comparar as plantas pulverizadas com a concentração de 1,0 g L<sup>-1</sup> com a testemunha (0 g L<sup>-1</sup>), constata-se diminuição de 16,77 e 14,41% para as CEa de 0,6 e 4,0 dS m<sup>-1</sup>, respectivamente. Verifica-se que, não houve diferença significativa no DH entre os níveis de CEa ao utilizar as concentrações de quitosana de 0,25, 0,75 e 1,00 g L<sup>-1</sup>.

Para o DH aos 45 DAS (Figura 2E) ocorreu o efeito semelhante, 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.

Comportamento linear decrescente no CH e DH também foi observado por Sá et al. (2018), ao avaliarem o crescimento das plantas de feijão-caupi sob estresse salino (0,5; 1,5; 2,5; 3,5 e 4,5 dS m<sup>-1</sup>) e adubação fosfatada (60, 100 e 140%), 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%) no CH e DH, respectivamente. 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 (Oliveira et al., 2024).

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 (NaCl 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.

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 (Figuras 3A e 3B), respectivamente. Entretanto, nas plantas irrigadas com CEa de 4,0 dS m<sup>-1</sup>, constata-se aumento no NF no mesmo período 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 folhas, respectivamente, correspondendo aumento de 29,61% (3,25 folhas) aos 30 DAS e 13,63% (2,39 folhas) aos 45 DAS em relação a testemunha (0 g L<sup>-1</sup>). Verifica-se também que, ocorreu aumento de 23,05% (2,53 folhas) no NF aos 30 DAS ao comparar as concentrações de 0 (10,97 folhas) e 1,0 g L<sup>-1</sup> (13,50 folhas) sob irrigação de 4,0 dS m<sup>-1</sup>. Contrariamente, aos 45 DAS constatou-se redução de 4,94% (0,88 folhas) ao comparar as concentrações de 0 (17,57 folhas) e 1,0 g L<sup>-1</sup> (16,69 folhas) sob CEa de 4,0 dS m<sup>-1</sup>.

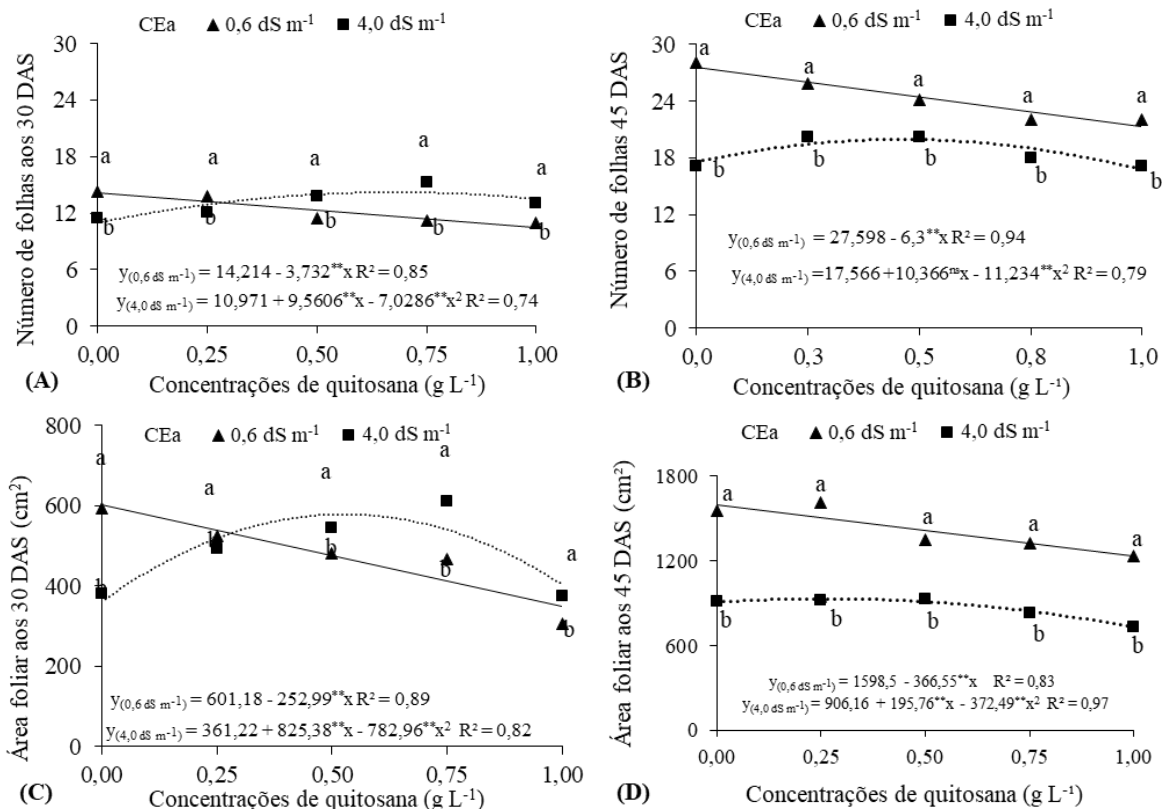
A salinidade inibe o crescimento das plantas, devido à redução na pressão de turgescência e por conseguinte pela diminuição da expansão celular ocasionado pela restrição na absorção de água, seguida pelo acúmulo de íons Na<sup>+</sup> no protoplasma, promovendo um efeito tóxico que compromete a produção 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 aumenta 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, resulta em incremento no número de células, o tamanho das células, o desenvolvimento de cloroplastos e a síntese de clorofila (Latif e Mohamed, 2016).

Para a AF aos 30 e 45 DAS (Figura 3C e D), 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 estimada de 0,53 g L<sup>-1</sup> de quitosana, ocorreu aumento na AF aos 30 DAS (Figura 3C), sendo observado maior valor de 578,74 cm<sup>2</sup>, verifica-se também que, o maior valor de AF aos 45 DAS sob CEa de 4,0 dS m<sup>-1</sup> foi 931,88 cm<sup>2</sup> (Figura 3D), quando as

plantas de feijão-caupi foram submetidas as concentrações de quitosana até 0,26 g L<sup>-1</sup>. Constata-se 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 (sob quitosana de 0,53 g L<sup>-1</sup>) e 45 DAS (sob quitosana de 0,26 g L<sup>-1</sup>), respectivamente, quando comparadas com a testemunha (0 g L<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 3: 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.

Observa-se ainda que, houve uma redução de 60% (239,96 cm<sup>2</sup>) e 56,70% (692,34 cm<sup>2</sup>) na área foliar aos 30 e 45 DAS, respectivamente, ao comparar os níveis de CEa com as testemunhas (0 g L<sup>-1</sup>), sendo que, a inibição do crescimento em área foliar pode ser considerada como mecanismo de defesa da planta, uma vez que reduz a perda por transpiração em condições de estresses abióticos e, por

consequente diminui a absorção de íons tóxicos (Sá et al., 2023).

Houve efeito significativo ( $p \leq 0,01$ ) da interação entre a condutividade elétrica da água de irrigação (CEa) e das concentrações de quitosana (CQ) sobre a taxa de crescimento relativo do diâmetro de haste (TCR<sub>DH</sub>) e da área foliar (TCR<sub>AF</sub>) no intervalo de 30 e 45 dias após o semeio (Tabela 4). 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 4: 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 ( $TCR_{AF}$ ) das plantas de feijão-caupi, irrigadas com dois níveis de condutividade elétrica da água de irrigação e diferentes 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	28	0,0003	0,000008	0,00002
CV (%)		32,32	18,09	8,39

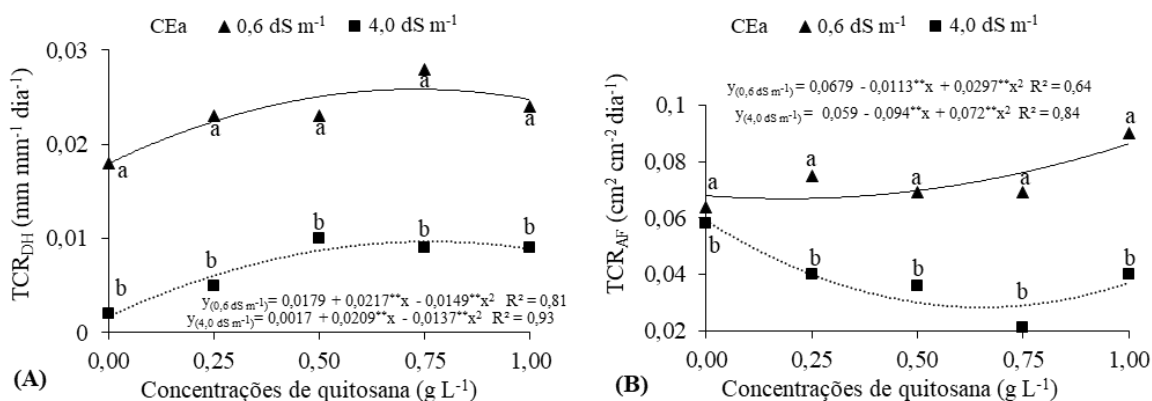
GL – grau de liberdade; CV – coeficiente de variação; <sup>ns</sup>, \*, \*\* – não significativo ( $p > 0,05$ ), significativo a  $p \leq 0,05$  e  $p \leq 0,01$ , respectivamente, pelo teste F.

O aumento das concentrações de quitosana até 0,73 g L<sup>-1</sup> proporcionou o maior valor de  $TCR_{DH}$  (0,0258 mm mm<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup>) quando as plantas de feijão-caupi foram irrigadas com CEa de 0,6 dS m<sup>-1</sup> (Figura 4A), verifica-se também aumento de 44,13% (0,0079 mm mm<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup>) ao comparar com as plantas testemunhas (0 g L<sup>-1</sup>) (0,0179 mm mm<sup>-1</sup> 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 mm<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup>). Nota-se ainda que, houve um aumento de 423,53% (0,0072 mm mm<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup>) ao comparar as plantas testemunhas (0,0017 mm mm<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup>) com as submetidas a concentração de 1,0 g L<sup>-1</sup> (0,0089 mm mm<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup>), sob condição de CEa de 4,0 dS m<sup>-1</sup>. No entanto, ao comparar os valores de  $TCR_{DH}$  dos diferentes níveis de CEa (0,6 e 4,0 dS m<sup>-1</sup>), constata-se redução de 90,50% (0,0162 mm mm<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup>) quando as plantas foram submetidas a CEa de 4,0 dS m<sup>-1</sup> (0,0017 mm mm<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup>). Observa-se 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 g L<sup>-1</sup> reflete a capacidade da quitosana em proporcionar aumentos na citocinina e auxina, o que estimula a divisão celular e com isso, o crescimento de plantas (Bakhoun et al., 2020).

Para a  $TCR_{AF}$  sob nível de CEa de 0,6 dS m<sup>-1</sup> (Figura 4B), o maior valor obtido foi na concentração de 1,0 g L<sup>-1</sup> de quitosana (0,086 cm<sup>2</sup> cm<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>). Por outro lado, para a CEa de 4,0 dS m<sup>-1</sup>, ocorreu uma redução de 37,29% (0,022 cm<sup>2</sup> cm<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>) ao comparar as plantas testemunhas (0,059 cm<sup>2</sup> cm<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>) com as submetidas a concentração de 1,0 g L<sup>-1</sup> (0,037 cm<sup>2</sup> cm<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>), sendo constatado o maior valor para a  $TCR_{AF}$  sob estresse salino (CEa de 4,0 dS m<sup>-1</sup>) na concentração de 0 g L<sup>-1</sup> (0,059 cm<sup>2</sup> cm<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>). Observa-se que, houve diferença significativa dos níveis de CEa em 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 4: 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.

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 a semeadura (Tabela 5).

Tabela 5: 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 dois níveis de condutividade elétrica da água (CEa) de irrigação e diferentes concentrações de quitosana (CQ), aos 60 dias após a semeadura

Fonte de variação	GL	Quadrados médios				
		FSF	FSC	FSPA	FSR	R/PA
CEa	1	119,04**	684,69**	1374,72**	114,15**	0,12**
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	28	0,06	0,16	0,22	0,28	0,00
CV (%)		5,18	6,09	4,11	25,71	23,58

GL – grau de liberdade; CV – coeficiente de variação; <sup>ns</sup>, \*, \*\* – não significativo ( $p > 0,05$ ), significativo a  $p \leq 0,05$  e  $p \leq 0,01$ , respectivamente, pelo teste F.

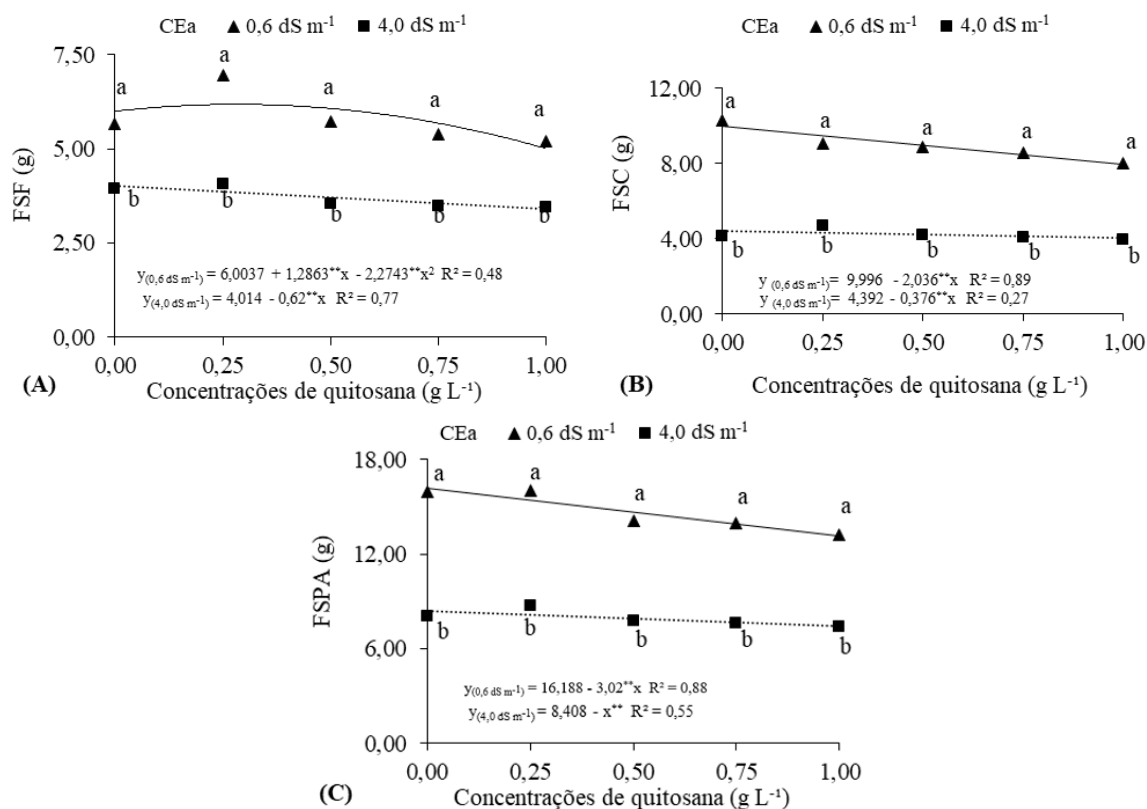
A pulverização foliar de quitosana até a concentração estimada de 0,28 g L<sup>-1</sup> em plantas irrigadas com CEa de 0,6 dS m<sup>-1</sup> resultou no maior valor de fitomassa seca das folhas (FSF) (6,18 g planta<sup>-1</sup>), com aumento de 2,94% (0,18 g planta<sup>-1</sup>) em relação as plantas irrigadas com o mesmo nível de CEa e sem aplicação de quitosana (Figura 5A). Para a CEa de 4,0 dS m<sup>-1</sup>, 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 dS m<sup>-1</sup>, proporcionaram redução linear de 20,37 e 8,56%, respectivamente, por incremento unitário na fitomassa seca do caule (Figura 5B). A fitomassa seca da parte aérea (FSPA) foi reduzida com o aumento das 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 dS m<sup>-1</sup>, respectivamente (Figura 5C).



\*\* 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 5: 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.

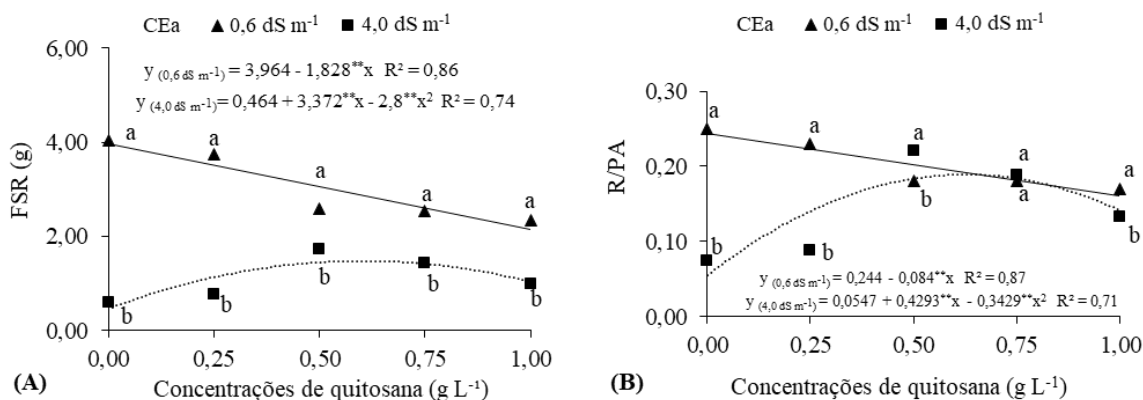
Ao contrário do resultado verificado no feijão-caupi, Abdel-Mola e Ayyat (2020) ao estudarem calêndula (*Calendula officinalis* L.) sob estresse salino (1.000, 2.000, 3.000, 4.000 e 5.000 ppm de NaCl) e aplicação foliar de quitosana (100, 200 e 400 mg L<sup>-1</sup>) em dois períodos experimentais (2018/2019 e 2019/2020), constataram aumento no peso seco da planta de 18,72% (9,1 g) e 20,78% (9,6 g) em relação ao controle (48,6 e 46,2 g) 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).

A pulverização foliar de quitosana nas plantas de feijão-caupi irrigadas com CEa de 0,6 dS m<sup>-1</sup>, proporcionou redução linear 46,11% por incremento unitário na fitomassa seca da raiz (FSR) (Figura 6A). Já para a CEa de 4,0 dS m<sup>-1</sup>, a concentração de 0,60 g L<sup>-1</sup> 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 um aumento de 123,27% (0,572 g) em plantas submetidas a concentração de 1 g L<sup>-1</sup> (1,036 g) ao serem comparadas com as testemunhas.

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 dS m<sup>-1</sup> (Figura 6B). Já para a CEa de 4,0 dS m<sup>-1</sup>, a concentração de 0,63 g L<sup>-1</sup> se sobressaiu com maior valor de R/PA (0,19), correspondendo ao 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 dS m<sup>-1</sup> quando submetidas a concentração de 0,75 g L<sup>-1</sup>.



\*\* 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 6: 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 uso da quitosana até as concentrações estimadas de 0,60 e 0,63 g L<sup>-1</sup> proporcionou aumento na FSR e R/PA de feijão caupi sob estresse salino, isto pode ser devido à capacidade de planta 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.

No entanto, sob nível de CEa de 0,6 dS m<sup>-1</sup>, a inibição no crescimento e fitomassa pode ser entendida como a capacidade da quitosana em ativar vias de sinalização relacionadas ao ácido salicílico (SA), ácido jasmônico (JA) e etileno, que são frequentemente associadas a respostas a estresses bióticos e abióticos, entretanto, esse “falso alerta” pode sobrecarregar o metabolismo da planta, pois recursos que poderiam ser usados para crescimento e

desenvolvimento são desviados para a ativação de mecanismos de defesas da planta (Deuner et al., 2014).

### Conclusões

A irrigação com água de 4,0 dS m<sup>-1</sup> afetou negativamente o conteúdo relativo de água, o acúmulo de fitomassa das plantas de feijão-caupi cultivar BRS Tapaihum.

As aplicações de quitosana em plantas de feijão-caupi irrigadas com água de 0,6 dS m<sup>-1</sup> inibiu o crescimento do comprimento de haste, o diâmetro de haste, número de folhas, a área foliar, fitomassa seca do caule, da parte aérea, da raiz e a relação raiz parte aérea. Sob água de condutividade elétrica de 4,0 dS m<sup>-1</sup>, as aplicações foliares de quitosana entre as concentrações de 0,46 e 0,71 g L<sup>-1</sup> amenizam os efeitos do estresse salino, reduzindo o extravasamento de eletrólitos e aumentando o número de folhas, área foliar, taxa de crescimento relativo em diâmetro de haste e a relação raiz parte aérea.

A aplicação de quitosana no cultivo do feijão caupi deve ser realizada sob

condições de elevada salinidade da água. Salienta-se, é importante que novos estudos sejam desenvolvidos visando elucidar os efeitos deste polímero em plantas de feijão caupi nas condições de semiárido.

## References

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, n. 2, p. 80-89, 2020. <https://doi.org/10.21608/sjas.2020.47674.1048>

Bakhom, 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, n. 79, p. 1-11, 2020. <https://doi.org/10.1186/s42269-020-00343-7>

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, 119189, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2022.119189>

Barbosa, I. J.; Sousa, H. C.; Schneider, F.; Sousa, G. G.; Lessa, C. I.; Sanó, L. Mulch with sugarcane bagasse and bamboo straw attenuates salt stress in cowpea cultivation. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 25, n. 7, p. 485-491, 2021. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v25n7p485-491>

Benincasa, M. M. P. Análise de crescimento de plantas: Noções básicas. 2. ed. Jaboticabal: FUNEP, 2003. 42p.

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, n. 1, p. 72-76, 2022.

<https://doi.org/doi:10.18378/rvads.v17i1.9409>

Deuner, C.; Borges, C. T.; Almeida, A. S.; Meneghello, G. E.; Tunes, L. V. M. Ácido jasmônico como promotor de resistência em plantas. *Revista de Ciências Agrárias*, v. 38, n. 3, p. 275-281, 2014.

El-Hack, M. E. A. A.; El-Saadony, M. T. K.; Shafi, M. E.; Zabermaawi, 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. 164, n. 1, p. 2726-2744, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.08.153>

Ferreira, D. F. SISVAR: A computer analysis system to fixed effects split-plot type designs. *Revista Brasileira de Biometria*, v. 37, n. 4, p. 529-535, 2019.

<https://doi.org/10.28951/rbb.v37i4.450>

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, n. 6, p. 2984-2990, 2018. <https://doi.org/10.7127/rbai.v12n600828>

Geng, W.; L. I. 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, 506, 2020. <https://doi.org/10.1186/s12870-020-02720-w>

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, 15991, 2019. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-52360-w>

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, n. 6, p. 427-433, 2009.  
<https://doi.org/10.1631/jzus.B0820373>

IBRAFE – Instituto Brasileiro de Feijão e Pulses. 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))>. Acessado em 01/07/2024.

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, n. 1, p. 221-231, 2016.  
<https://doi.org/10.1016/j.sajb.2016.07.010>

Lima, C. J. S.; 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, n. 1, p. 120-127, 2008.

Malerba, M.; Cerana, R. Chitosan effects on plant systems. International Journal of Molecular Sciences, v. 17, n. 7, 996, 2016.  
<https://doi.org/10.3390/ijms17070996>

Medeiros, J. F. Qualidade de água de irrigação e evolução da salinidade nas propriedades assistidas pelo GAT nos Estados de RN, PB e CE. Campina Grande: Universidade Federal da Paraíba, 1992. Dissertação de Mestrado.

Mohamed, H. I.; Akladios, 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, n. 10, p. 7054-7076, 2018.

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, n. 10, 1544, 2022.  
<https://doi.org/10.3390/agriculture12101544>

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. (ed.). Métodos de pesquisa em fertilidade do solo. Brasília: Embrapa, 1991. p. 189-198.

Olivas, G. L.; Barbosa-Cánovas, G. V. Edible coatings for fresh-cut fruits. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, v. 45, n. 7-8, p. 657-670, 2005.  
<https://doi.org/10.1080/10408690490911837>

Oliveira, L. K. B.; Costa, R. S.; Silva, J. S.; Lima, K. V. G.; Pinto, M. B. S.; Batista, A. B. P. Morphophysiology of cowpea under salt stress and application of carbon-based nano biostimulant in the vegetative stage. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 28, n. 4, e279070, 2024.  
<https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v28n4e279070>

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, n. 3, e2572, 2022.  
<https://doi.org/10.5039/agraria.v17i3a2572>

Richards, L. A. Diagnosis and improvement of saline and alkaline soils. Washington: United States Salinity Laboratory Staff, 1954. 160p.

Sá, F. V. S.; Ferreira Neto, M.; Paiva, E. P.; Prata, R. S.; 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, n. 4, p. 668-679, 2018.  
<https://doi.org/10.14295/cs.v9i4.2763>

Sá, L. C.; Lazarotto, M.; Avrella, E. D.; Hilgert, M. A.; Fior, C. S. Estresse hídrico e salino no crescimento inicial de mudas de *Toona ciliata* var. *australis*. Brazilian Journal of Forestry Research, v. 43, e202002108, 2023.  
<https://doi.org/10.4336/2023.pfb.43e202002108>

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. 23, n. 1, p. 1002-1013, 2013.  
<https://doi.org/10.9755/ejfa.v25i12.16733>

Sullivan, C. Y. Mechanisms of heat drought resistance in grain sorghum and methods of measurement. In: Rao, N. G. P.; House, L. R.

(ed.). 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, 112509, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2023.112509>

Tavares, D. S.; Fernandes, T. E. K.; Rita, Y. L.; Rocha, D. C.; Sant'Anna-Santos, B. F.; Gomes, M. P. Germinative metabolism and seedling growth of cowpea (*Vigna unguiculata*) under salt and osmotic stress. *South African Journal of Botany*, v. 139, n. 1, p. 399-408, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2021.03.019>

Teixeira, P. C.; Donagemma, G. K.; Fontana, A.; Teixeira, W. G. Manual de métodos de análise de solos. 3. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2017. 573p.

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, 181, 2020. <https://doi.org/10.1186/s42269-020-00435-4>

USDA – United States Department of Agriculture. Keys to soil taxonomy. Lincoln: Natural Resources Conservation Service, 2014. 372p.

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, n. 1, p. 81-97, 1950. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1950.tb05146.x>

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, n. 5, p. 577-585, 2017. <https://doi.org/10.21608/JPP.2017.40468>

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, n. 10, 342, 2021. <https://doi.org/10.3390/horticulturae7100342>

Zhao, J.; Pan, L.; Zhou, M.; Yang, Z.; Meng, Y.; Zhang, X. Comparative physiological and transcriptomic analyses reveal mechanisms of improved osmotic stress tolerance in annual ryegrass by exogenous chitosan. *Genes*, v. 10, n. 11, 853, 2019. <https://doi.org/10.3390/genes10110853>