



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS E FLORESTAIS
CURSO DE AGRONOMIA

Cícero Henrique Jácome Dantas

**CRESCIMENTO INICIAL DO MAXIXE SOB SALINIDADE E APLICAÇÃO
EXÓGENA DE CARNITINA**

MOSSORÓ

2025

Cícero Henrique Jácome Dantas

**CRESCIMENTO INICIAL DO MAXIXE SOB SALINIDADE E APLICAÇÃO
EXÓGENA DE CARNITINA**

Monografia apresentada a Universidade
Federal Rural do Semi-Árido como
requisito para obtenção do título de
Bacharel em Agronomia.

Orientador: Aurélio Paes Barros Júnior,
Prof. Dr.

Co-orientador: João Everthon da Silva
Ribeiro, Prof. Dr.

MOSSORÓ

2025

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

D192c Dantas, Cícero Henrique Jácome. Crescimento inicial do maxixe sob salinidade e aplicação exógena de carnitina / Cícero Henrique Jácome Dantas. - 2025.
42 f.: il.

Orientador: Aurélio Paes Barros Júnior.

Coorientador: João Everthon da Silva Ribeiro.

Monografia (graduação) - Universidade Federal Rural do Semi-árido, Curso de Agronomia, 2025.

1. Cucumis anguria L. 2. atenuante. 3. estresse abiótico. 4. cucurbitácea. I. Júnior, Aurélio Paes Barros, orient. II. Ribeiro, João Everthon da Silva, co-orient. III. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade com AACR2 e os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Biblioteca Campus Mossoró / Setor de Informação e Referência

Bibliotecária: Keina Cristina Santos Sousa e Silva

CRB: 15/120

Cícero Henrique Jácome Dantas

**CRESCIMENTO INICIAL DO MAXIXE SOB SALINIDADE E APLICAÇÃO
EXÓGENA DE CARNITINA**

Monografia apresentada a Universidade
Federal Rural do Semi-Árido como
requisito para obtenção do título de
Bacharel em Agronomia.

Defendida em: 27 / 03 / 2025.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Aurélio Paes Barros Júnior (UFERSA)
Presidente

Prof. Dr. João Everthon da Silva Ribeiro
Membro Examinador

Me. Pablo Henrique de Almeida Oliveira
Membro Examinador

Dedico esta monografia a toda a minha família e em especial ao meu estimado avô Cícero Aquino de Souza (In Memoriam), cuja importância em minha vida foi indescritível. O tempo é efêmero e a eternidade não se encontra na matéria, está na essência do ser. Não se mede em duração, mas sim em intensidade. A imortalidade real nunca foi sobre existir para sempre, mas sim sobre existir de forma inesquecível.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus, por sempre me abençoar, por me proteger e me guiar em todos os momentos ao longo dessa jornada acadêmica. A sua presença constante em minha vida foi fundamental para que eu pudesse superar e vencer todos os desafios. Sem Ele, nada disso teria sido possível.

Aos meus pais, Jackson Galeno Jácome de Souza e Maria Engrça Dantas, meu agradecimento eterno. O apoio, encorajamento e o cuidado de vocês foram a inspiração e o impulso necessário para que eu continuasse firme no meu propósito. Amo vocês incondicionalmente. Sem vocês do meu lado esta conquista não se tornaria real.

À minha avó e mãe, Francisca Jácome de Lima, expresso todo o meu amor e gratidão. Sua presença constante e apoio inabalável, mesmo que distante, foi o motivo pelo qual obtive forças, determinação e dedicação para conseguir finalizar a minha graduação. Te amo vó, obrigado por todos os sacrifícios feitos para que esse momento fosse possível.

Às minhas queridas tias, Raimunda Jácome de Lima e Vangia Paula Jácome de Souza, expresso minha sincera gratidão. Vocês tiveram grande responsabilidade para a conclusão desse ciclo, sempre me ajudando de diversas maneiras, do início ao fim. A preocupação, atenção e os conselhos sobre o que seria o melhor para mim, foram essenciais para que eu ampliasse a minha visão principalmente sobre a vida.

À minha família e melhores amigos da minha querida cidade Doutor Severiano, meu agradecimento. Obrigado por sempre se fazerem presentes ao meu lado nessa trajetória, sempre oferecendo suporte emocional, desejando boas energias e encorajamento nos momentos mais desafiadores.

Agradeço imensamente aos meus orientadores, Prof. Dr. Aurélio Paes Barros Junior e Profa. Dra. Lindomar Maria da Silveira, pelo voto de confiança, paciência e oportunidade que me deram no grupo GEPPARG. A contribuição de vocês para minha formação foi demasiadamente importante.

Agradeço imensamente ao meu coorientador Prof. Dr. João Everthon da Silva Ribeiro, cuja assistência e orientação foram essenciais para a realização desse trabalho, suas contribuições foram significativas e fundamentais para que obtivéssemos êxito nessa pesquisa.

À banca examinadora, meu agradecimento por dedicarem parte do seu tempo e conhecimento na avaliação deste trabalho, expressei minha gratidão. A análise crítica e sugestões dos membros contribuíram relevantemente para a qualidade deste estudo.

Ao meu grupo de estudos e pesquisa (GEPPARG), agradeço o ambiente colaborativo que me foi proporcionado durante a minha trajetória acadêmica. Para todos os membros, expressei minha eterna gratidão e reconhecimento. O trabalho em equipe e o comprometimento de cada um de vocês foram cruciais para o desenvolvimento e sucesso desta pesquisa.

Aos amigos e colegas membros da empresa Agroarid, expressei a minha gratidão. O convívio, trabalho e experiências que vivenciei com vocês foram enriquecedores para minha formação acadêmica e pessoal. A vocês, desejo todo o sucesso do mundo, tenho certeza de que serão excelentes profissionais.

Às grandes amizades construídas ao longo da graduação, em especial a Pedro Issac, Flávia, Emanuel, Eduardo, Ana Beatriz, Travassos Jr., Daniel, John Victor e os demais amigos que fiz em diversos momentos durante essa trajetória, meu sincero agradecimento. A amizade e consideração de vocês tornaram esta jornada mais rica e repleta de histórias para se contar.

Por último, mas não menos importante, aos meus amigos com quem convivo de forma mais assídua e compartilho de momentos diários, meu eterno agradecimento. Em especial a Ana Paula, Ianny, Gabriel, João Lucas, Guilherme, Wanderson, Davi, Fernanda e Camila. Vocês foram a minha segunda casa e família, minha rede de apoio em diversos momentos, nos piores e nos melhores. Obrigado por tornarem os meus dias aqui mais especiais e significativos.

Gratidão!

RESUMO

O maxixe (*Cucumis anguria* L.) é uma hortaliça de origem africana, amplamente cultivada nas regiões Norte e Nordeste do Brasil. No entanto, o crescimento e a produtividade das plantas de maxixe podem ser significativamente afetados pela salinidade. A salinidade é um fator abiótico que limita o desenvolvimento vegetal, pois altera o potencial osmótico, resultando na redução do consumo de água pelas plantas e, consequentemente, de nutrientes, o que leva à diminuição da produção. O presente trabalho visa avaliar o crescimento de duas cultivares de maxixe submetidas a condições de estresse salino e aplicação exógena de carnitina na mitigação dos efeitos deletérios do estresse salino. O experimento foi conduzido em casa de vegetação na área experimental do Departamento de Ciências Agronômicas e Florestais da Universidade Federal Rural do Semi-Árido, em Mossoró, RN, Brasil. O estudo foi conduzido utilizando um delineamento em blocos casualizados, combinando três níveis de salinidade da água de irrigação (0,5; 2,5 e 4,5 dS m⁻¹) com três concentrações de carnitina (0 mM, 0,5 mM e 1 mM). Duas cultivares foram utilizadas (Do Norte e Liso Gibão) com um total de nove tratamentos para cada cultivar, com quatro repetições por tratamento, sendo uma planta por parcela experimental. Foram analisadas as variáveis altura de planta, diâmetro do caule, matéria seca da parte aérea, matéria seca das raízes, matéria seca total e índice de qualidade de Dickson. Os resultados indicaram que as plantas foram afetadas negativamente à medida em que a salinidade aumentava de 0,5 para 4,5 dS m⁻¹. Os melhores resultados para o atenuante foram observados na concentração de 0,5 mM, melhorando a altura, matéria seca radicular e o índice de qualidade de Dickson em 'Liso Gibão' e a altura, matéria seca da parte aérea e massa seca total em 'Do Norte' até o nível salino de 2,5 dS m⁻¹. A salinidade da água de irrigação impacta significativamente nos aspectos de crescimento do maxixe. A ação atenuante da carnitina apresentou efeitos positivos que variaram entre as cultivares e os níveis salinos e as concentrações.

Palavras-chave: *Cucumis anguria* L.; atenuante; estresse abiótico; cucurbitácea.

ABSTRACT

The gherkin (*Cucumis anguria* L.) is a vegetable of African origin, widely cultivated in the North and Northeast regions of Brazil. However, the growth and productivity of gherkin plants can be significantly affected by salinity. Salinity is an abiotic factor that limits plant development, as it alters the osmotic potential, resulting in reduced water consumption by plants and, consequently, nutrients, which leads to decreased production. The present study aims to evaluate the growth of two gherkin cultivars subjected to saline stress conditions and the exogenous application of carnitine to mitigate the deleterious effects of saline stress. The experiment was conducted in a greenhouse in the experimental area of the Department of Agronomic and Forestry Sciences of the Federal Rural University of Semi-Arid in Mossoró, RN, Brazil. The study was conducted using a randomized block design, combining three levels of regulatory water salinity (0.5, 2.5 and 4.5 dS m⁻¹) with three carnitine concentrations (0 mM, 0.5 mM and 1 mM). Two cultivars (Do Norte and Liso Gibão) were used with nine treatments for each cultivar, with four replicates per treatment and one plant per experimental plot. Variables such as plant height, stem diameter, shoot dry matter, root dry matter, total dry matter and Dickson quality index were tested. The results indicated that the plants were affected in quality as salinity increased from 0.5 to 4.5 dS m⁻¹. The best results for the attenuator were observed at a concentration of 0.5 mM, improving height, root dry matter, and Dickson quality index in 'Liso Gibão' and height, shoot dry matter and total dry mass in 'Do Norte' up to the saline level of 2.5 dS m⁻¹. The salinity of the control water significantly impacts the growth aspects of the gherkin. The attenuating action of carnitine showed positive effects that varied between cultivars and saline levels and concentrations.

Keywords: *Cucumis anguria* L.; attenuating; abiotic stress; cucurbit.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	-	Dados climáticos de temperatura (°C) e umidade relativa (%) durante o experimento. Mossoró-RN, UFERSA, 2024.	22
Figura 2	-	Figura 2. Altura de planta (cm) das cultivares Do Norte e Liso Gibão (<i>Cucumis anguria</i> L.), cultivadas sob diferentes níveis de condutividade elétrica e concentrações de carnitina. Mossoró-RN, UFERSA, 2024.	25
Figura 3	-	Figura 3. Diâmetro do caule (mm) das cultivares Do Norte e Liso Gibão (<i>Cucumis anguria</i> L.), cultivadas sob diferentes níveis de condutividade elétrica e concentrações de carnitina. Mossoró-RN, UFERSA, 2024.	26
Figura 4	-	Figura 4. Massa seca da parte aérea (MSPA) (g planta ⁻¹) das cultivares Do Norte e Liso Gibão (<i>Cucumis anguria</i> L.), cultivadas sob diferentes níveis de condutividade elétrica e concentrações de carnitina. Mossoró-RN, UFERSA, 2024.	28
Figura 5	-	Figura 5. Massa seca da raiz (MSR) (g planta ⁻¹) das cultivares Do Norte e Liso Gibão (<i>Cucumis anguria</i> L.), cultivadas sob diferentes níveis de condutividade elétrica e concentrações de carnitina. Mossoró-RN, UFERSA, 2024.	29
Figura 6	-	Figura 6. Massa seca total (MST) (g planta ⁻¹) das cultivares Do Norte e Liso Gibão (<i>Cucumis anguria</i> L.), cultivadas sob diferentes níveis de condutividade elétrica e concentrações de carnitina. Mossoró-RN, UFERSA, 2024.	31
Figura 7	-	Figura 7. Índice de qualidade de Dickson (IQD) das cultivares Do Norte e Liso Gibão (<i>Cucumis anguria</i> L.), cultivadas sob diferentes níveis de condutividade elétrica e concentrações de carnitina. Mossoró-RN, UFERSA, 2024.	32

LISTA DE TABELAS

Tabela1 - Análise físico-química do solo na área experimental. Mossoró-RN, 22 Ufersa, 2024.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

DAE	Dias após emergência
DAT	Dias após transplântio
AP	Altura de planta
DC	Diâmetro do caule
MSPA	Massa seca da parte aérea
MSR	Massa seca da raiz
MST	Massa seca total
IQD	Índice de qualidade de Dickson

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
2. REFERENCIAL TEÓRICO	16
2.1. A cultura do maxixe	16
2.2. Salinidade e seus efeitos no crescimento de plantas	17
2.3. Carnitina e seu papel como bioestimulante	20
3. MATERIAL E MÉTODOS	22
3.1 Localização do experimento	22
3.2 Cultivares e semeadura	23
3.3 Delineamento experimental	23
3.4 Irrigação	23
3.5 Coleta de dados	24
3.6 Análise estatística	24
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	24
5. CONCLUSÕES	33
6. REFERÊNCIAS	34

1. INTRODUÇÃO

O maxixe (*Cucumis anguria* L.) é uma hortalica da família das Cucurbitáceas amplamente cultivada no Brasil, especialmente nas regiões Norte e Nordeste, onde desempenha um papel relevante na culinária regional (Oliveira et al., 2014). Além do consumo in natura, pode ser processado na forma de conservas (Nascimento et al., 2011). Seu fruto é rico em sais minerais, possui baixo valor calórico e apresenta propriedades emolientes, anti-helmínticas e laxativas, além de contribuir para a prevenção de doenças da próstata (Santos et al., 2018). A casca do maxixe contém elevadas concentrações de cálcio, cromo, magnésio, potássio e sódio, enquanto a polpa se destaca pela presença de zinco e manganês (Santos et al., 2021).

Apesar de suas qualidades nutricionais e econômicas, o cultivo do maxixe enfrenta desafios agrônômicos, sendo a salinidade do solo e da água de irrigação um dos principais fatores limitantes. Esse problema é particularmente grave em regiões áridas e semiáridas, onde o acúmulo de sais no solo pode comprometer o desenvolvimento das plantas (Souza et al., 2018). A salinização do solo provoca estresse osmótico e iônico, dificultando a absorção de água e nutrientes pelas plantas (Alkharabsheh et al., 2021). Como resultado, culturas agrícolas sensíveis ao sal, incluindo hortalicas, apresentam redução significativa no crescimento e na produtividade (Machado e Serralheiro, 2017; Gul et al., 2022). Além disso, a salinização afeta a estrutura e a fertilidade do solo, agravando os impactos negativos sobre a agricultura (Tarolli et al., 2024).

A elevada salinidade da água de irrigação também representa um desafio, pois interfere na capacidade das plantas de absorver água e nutrientes, resultando em menor crescimento e produtividade (Minhas et al., 2020). Além disso, a baixa qualidade da água pode desencadear efeitos deletérios nos processos fisiológicos e metabólicos essenciais ao desenvolvimento vegetal (Srivastava, Wu e Giri, 2019; Shayanmehr et al., 2022).

Diante desse cenário, torna-se essencial a busca por estratégias para mitigar os efeitos da salinidade sobre as plantas. O uso de bioestimulantes tem se mostrado uma abordagem promissora para melhorar a tolerância ao estresse salino em culturas agrícolas (Campobenedetto et al., 2021; Gedeon et al., 2022). Entre essas substâncias, a carnitina, um aminoácido com funções fundamentais no metabolismo vegetal, destaca-

se por sua atuação na oxidação de ácidos graxos e na regulação metabólica (Bourdin, Adenier e Perrin, 2007; Jacques, Rippa e Perrin, 2018).

Estudos indicam que a aplicação exógena de L-carnitina pode atenuar os efeitos negativos da salinidade nas plantas. Oney-Birol et al. (2019) observaram que esse composto promove o crescimento vegetal e reduz danos ao DNA causados pelo estresse oxidativo em mudas de cevada expostas a altas concentrações de sais. De maneira similar, Charrier et al. (2012) demonstraram que a carnitina melhora o desenvolvimento e a recuperação de mudas de *Arabidopsis* sob estresse salino, possivelmente devido às suas propriedades antioxidantes e à modulação da via do ácido abscísico (ABA).

Apesar dos resultados promissores, ainda há lacunas na compreensão dos efeitos da carnitina na mitigação dos estresses abióticos, especialmente no que se refere ao cultivo do maxixe. Diante disso, este estudo busca investigar as respostas fisiológicas e agronômicas do maxixe à aplicação exógena de carnitina em diferentes níveis de salinidade, além de determinar a concentração ideal desse bioestimulante para atenuar os impactos do estresse salino.

Diante do exposto, busca-se compreender as respostas que a carnitina pode desempenhar na tolerância de plantas de maxixe quando expostas à diferentes níveis salinos, bem como identificar a concentração ideal desse bioestimulante. Dessa forma, pressupõe-se a hipótese que concentrações de carnitina melhoram os aspectos de crescimento quando submetidas à salinidade. Com isso, objetiva-se com esse trabalho avaliar o crescimento inicial de duas cultivares de maxixe submetidas à diferentes níveis de salinidade e aplicação exógena de carnitina na mitigação dos efeitos deletérios do estresse salino.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. A cultura do maxixe

O maxixe (*Cucumis anguria* L.) pertence ao gênero *Cucumis* e à família das Cucurbitáceas, sendo uma hortaliça de grande relevância no Brasil, especialmente, nas regiões Norte e Nordeste (Oliveira *et al.*, 2014). Nessas áreas, é amplamente cultivado e valorizado por seu papel na culinária regional. A cultura do maxixe se destaca pela rusticidade e pelo curto ciclo de produção, características que favorecem a produção em pequena escala e a agricultura familiar (Oliveira *et al.*, 2014; Almeida *et al.*, 2019).

O fruto do maxixe é rico em sais minerais, tem baixo valor calórico e apresenta propriedades emolientes, anti-helmínticas e laxativas, além de, atuar na prevenção de doenças da próstata (Santos *et al.*, 2018). Além disso, o maxixe é rico em micronutrientes essenciais, como observado por Santos *et al.* (2021), onde a casca apresentou concentrações significativas de cálcio, cromo, magnésio, potássio e sódio na casca, enquanto a polpa apresentou maiores concentrações de zinco e manganês (Santos *et al.*, 2021). Os seus frutos podem ser processados na forma de conservas, garantindo maior durabilidade e boa aceitação pelos consumidores. Esses fatores tornam o produto viável para comercialização durante um maior período (Nascimento *et al.*, 2011).

As plantas de maxixe contém compostos bioativos, como taninos, flavonoides, saponinas, alcaloides, antraquononas, esteroides, terpenoides e açúcares redutores, que contribuem para a atividade antioxidante e antimicrobiana (Kumar e Kamaraj, 2010; Dzomba e Mupa, 2012). Suas folhas apresentam compostos fenólicos e flavonóides, que possuem potencial anticorrosivo em superfícies metálicas (Chung, Kim e Prabakaran (2020). Estudos indicam que, mesmo após o cozimento, essas propriedades são preservadas, embora ocorra uma leve redução nos teores dos compostos fenólicos (Lima Mendes *et al.*, 2022).

Apesar de sua importância, os estudos sobre a caracterização morfológica e dados sobre o tutoramento do maxixe ainda são limitados. A escassez de pesquisas pode ser atribuída ao fato de ser uma cultura pouco explorada (Oliveira *et al.*, 2014; NETA *et al.*, 2018).

2.2. Salinidade e seus efeitos no crescimento de plantas

A salinidade é uma condição fisiológica desfavorável para as plantas, resultante do acúmulo excessivo de sais solúveis no solo, como sódio (Na^+) e cloreto (Cl^-). Esse acúmulo pode ocorrer devido a fatores naturais, como intemperismo e dissolução de minerais, ou por ações humanas, incluindo irrigação inadequada e uso excessivo de fertilizantes (Munns e Tester, 2008; Stavi, Thevs e Priori, 2021; Omuto *et al.*, 2024). O problema é observado com evidência nas regiões áridas e semiáridas, onde a evaporação supera a precipitação, e em áreas com irrigação excessiva (Rengasamy, 2006).

Segundo Nachshon (2018), aproximadamente 20% das terras irrigadas no mundo sofrem com a salinização devido à evaporação excessiva e ao manejo inadequado dos recursos hídricos. Como consequência, a produtividade das culturas nessas áreas pode ser reduzida entre 20% e 50% (Shrivastava e Kumar, 2015). As regiões costeiras também apresentam vulnerabilidade as altas concentrações de sais, pois a intrusão de água salgada pode elevar a salinidade do solo, como observado no Oriente Médio, norte da África e partes da Ásia Central (Aguobi, 2021).

O estresse salino diminui a capacidade das plantas em absorver a água, pois a alta concentração de sais eleva a pressão osmótica do solo, consequentemente, dificultando a absorção hídrica pelas raízes e provocando desidratação celular (Flowers e Colmer, 2008; Acosta-Motos *et al.*, 2017). O excesso de sal pode desequilibrar o balanço iônico das células, trocando nutrientes minerais, como potássio e cálcio, por íons tóxicos, deste modo, prejudicando a função celular e a estabilidade das membranas (Niu *et al.*, 1995; Acosta-Motos *et al.*, 2017). Além disso, a alta presença dos íons Na e Cl^- podem gerar um desequilíbrio nutricional por afetar a absorção de macronutrientes como N , K , Ca e Mg , como observado por Neocleuous e Savvas (2017) em abobrinhas cultivadas em sistemas hidropônicos, onde a salinidade crescente alterou a absorção desses nutrientes devido ao acúmulo de NaCl na solução.

Esses efeitos provocam a dispersão das partículas do solo, formando camadas densas que dificultam o crescimento e a expansão radicular, além de comprometerem a fixação de CO_2 pelas plantas (Távora, Ferreira e Hernandez, 2001). Como consequência, há uma diminuição nas taxas de fotossíntese e transpiração devido à redução na abertura estomática e a condutância, ocasionando em menor concentração de CO_2 nas folhas (Kwon, Mekapogu e Kim, 2019).

No estudo de Souza Neta (2016) com a cultura do maxixeiro, as plantas submetidas ao estresse salino apresentaram perdas significativas na altura, massa seca da parte aérea, massa seca da raiz e massa seca total, com diminuições de 52,4; 47,3; 54,5 e 54,2% para as variáveis analisadas, respectivamente. Como resultado, ocorreram reduções no vigor e desenvolvimento das plantas. O NaCl diminui a taxa fotossintética líquida, a condutância estomática e a taxa de transpiração em plantas de pepino. A exposição a salinidade também diminuiu a taxa fotossintética líquida, a condutância estomática e a taxa de transpiração em plantas de pepino, indicando que a salinidade afeta a fotossíntese tanto por fatores estomáticos quanto não estomáticos, como observado por Stępień e Kłbus (2006) em sua pesquisa.

Outro efeito relevante ocorre no processo de germinação das sementes. A presença de sais altera o potencial hídrico do solo, diminuindo o gradiente de potencial entre o solo e a superfície da semente. Essa alteração restringe a captação de água pela semente, comprometendo sua hidratação e, conseqüentemente, reduzindo as taxas de germinação (Lopes e Macedo, 2008). Esse efeito é constatado por Naseer *et al.* (2022) em seu estudo com espécies de cucurbitáceas como o melão, cabaça e a abóbora, onde estresse salino reduz de forma progressiva a taxa de germinação das sementes à medida em que os níveis salinos aumentam de 1,5 para 6,0 dS m⁻¹.

O estresse osmótico e iônico causado pela salinidade estimula a produção de espécies reativas de oxigênio (ROS), como superóxido (O₂⁻), peróxido de hidrogênio (H₂O₂) e radicais hidroxila (OH) que perturbam o equilíbrio entre a acumulação e a eliminação de ROS, o que acaba por danificar diferentes estruturas celulares através da oxidação de proteínas, peroxidação lipídica e a inativação de enzimas (Hasanuzzaman *et al.*, 2021). Esse aumento ocorre devido a alterações na fotossíntese, incluindo a redução da atividade do fotossistema II (PSII), o que gera elétrons excessivos e, conseqüentemente, mais O₂⁻ (Hasanuzzaman *et al.*, 2021). A função mitocondrial também é afetada, resultando na geração de ROS. O acúmulo dessas moléculas desencadeia o estresse oxidativo, causando um desequilíbrio entre a produção e a capacidade antioxidante das células vegetais (Poór, 2020). Como consequência, ocorrem danos a lipídeos, proteínas e DNA, comprometendo a função celular e o crescimento das plantas (Saxena *et al.*, 2016; Dumont e Rivoal, 2019).

Para mitigar esses efeitos, as plantas ativam e modulam seu sistema de defesa antioxidante, que inclui enzimas e compostos não enzimáticos. O sistema enzimático

atua na degradação das espécies reativas de oxigênio por meio de enzimas como catalase (CAT) e peroxidase (POD), que convertem compostos potencialmente tóxicos em formas menos prejudiciais. Já o sistema não enzimático é composto por metabólitos secundários, como carotenoides e flavonoides, que neutralizam as ROS e regulam as vias de sinalização hormonal (Rajput *et al.*, 2021; Mishra *et al.*, 2023).

A salinidade também causa alterações nos níveis de biossíntese e distribuição na sinalização hormonal que desempenha um papel fundamental na adaptação das plantas à salinidade. Por exemplo, o ácido abscísico (ABA) regula as respostas ao estresse hídrico e salino, estimulando a produção de proteínas de defesa e modulando os sistemas antioxidantes e interagindo com outros hormônios, como citocininas, etileno e auxina, para modular o crescimento das raízes e a resposta ao estresse salino (Rowe *et al.*, 2016). A interação entre esses hormônios é crucial para a adaptação das plantas a ambientes salinos (Zhao *et al.*, 2020; Chen *et al.*, 2021; Yun, Kaya e Shabala, 2024).

No estudo de Rowe *et al.* (2016), as respostas ao estresse osmótico dependentes e independentes de ABA aumentam, mas as respostas de citocinina são ligeiramente reduzidas. Esse estresse também modula os níveis e a localização do transportador de auxina, reduzindo as concentrações de auxina nas raízes e os níveis da proteína PIN1 são reduzidos sob estresse de maneira dependente de ABA, anulando os efeitos do etileno.

De modo geral, as plantas cultivadas sob condições salinas inibem a divisão e alongação celular, resultando em sistemas radiculares menos desenvolvidos e redução na altura da planta (Taratima, Kunpratun e Maneerattananarungroj, 2023), provocam distúrbios que reduzem a expansão foliar, limitando a interceptação de luz e, conseqüentemente, a capacidade fotossintética (Taleisnik *et al.*, 2009) e causam alterações na arquitetura das raízes, como redução no número de raízes laterais e aumento de raízes adventícias, são observadas, afetando a eficiência na absorção de água e nutrientes (Shelden e Munns, 2023).

Deste modo, a salinidade representa uma ameaça significativa para a segurança alimentar global, impactando negativamente a estrutura e fertilidade do solo, o crescimento das plantas e a produtividade agrícola (Majeed e Muhammad, 2019; El-Ramady *et al.*, 2024). Esse fenômeno pode levar à desertificação, dispersão do solo e

perda de biodiversidade, tornando os ecossistemas agrícolas mais vulneráveis (Ondrasek e Rengel, 2021; Sultan, Mahmud e Khan, 2023).

2.3. Carnitina e seu papel como bioestimulante

A carnitina é um composto orgânico nitrogenado essencial para o metabolismo energético celular. Ela pode existir em duas formas: a L-carnitina, biologicamente ativa, e a D-carnitina, sem função fisiológica relevante (Bremer, 1983). A via biossintética da carnitina nas plantas apresenta semelhanças com a observada em mamíferos e fungos, tendo a trimetilisina (TML) como um precursor importante nesse processo (Rippa et al., 2012).

Sua função em animais e microrganismos já é bem documentada. Em microrganismos, por exemplo, a carnitina atua como osmoprotetora, sendo capaz de estabilizar membranas celulares e regular o balanço osmótico intracelular. Essa função é crucial para a sobrevivência de *Tetragenococcus halophila* sob estresse salino, conforme observado por Robert et al. (2000). Em animais, a carnitina demonstrou reduzir significativamente a peroxidação lipídica no cérebro de ratos idosos, além de aumentar a atividade das enzimas antioxidantes superóxido dismutase, catalase e glutathione peroxidase, sugerindo um fortalecimento do sistema antioxidante endógeno (Rani e Panneerselvam, 2002).

Apesar do conhecimento acumulado sobre sua atuação em outros organismos, a literatura ainda carece de estudos que estabeleçam a carnitina como um bioestimulante viável para mitigar estresses abióticos em plantas. Nas plantas, a carnitina está associada às vias anabólicas do metabolismo lipídico, que se mantêm ativas durante a biossíntese de membranas e o armazenamento de lipídios (Nguyen et al., 2016). A via biossintética da carnitina nas plantas, como mencionado, é semelhante à observada em mamíferos e fungos (Rippa et al., 2012).

No entanto, alguns estudos recentes têm demonstrado efeitos positivos da carnitina na mitigação de estresses abióticos. Henschel et al. (2023), ao trabalhar com a cultura do rabanete, observaram que a aplicação exógena de carnitina em baixas concentrações foi eficaz na atenuação do estresse hídrico, promovendo alterações em parâmetros morfofisiológicos. A carnitina aumentou a respiração escura tanto em

plantas bem irrigadas quanto nas estressadas pela seca, além de melhorar a taxa fotossintética e a eficiência no uso da luz. Houve também um aumento no conteúdo de clorofila A e na fluorescência mínima da clorofila, indicando maior integridade de membranas e melhor balanço hídrico nas plantas tratadas.

No estudo de Turk, Erdal e Dumlupinar (2020), a carnitina promoveu o crescimento de mudas de milho e atenuou os efeitos do estresse por frio. Isso foi possível por meio da modulação da fotossíntese e da assimilação de nitrogênio, da redução dos níveis de oxidantes e dos danos oxidativos, e do estímulo à atividade de enzimas antioxidantes como superóxido dismutase e catalase. A carnitina também contribuiu para o ajuste da composição lipídica das membranas, alterando a proporção entre ácidos graxos saturados e insaturados, o que resultou em maior resistência ao frio.

Charrier et al. (2012), ao estudarem *Arabidopsis thaliana* sob estresse salino, verificaram que a aplicação exógena de carnitina aumentou significativamente as taxas de germinação nas concentrações de 5 μ M e 5 mM, sendo esta última tão eficaz quanto a prolina na mesma concentração. Além disso, a aplicação de 5 mM de carnitina resultou em uma maior sobrevivência das mudas após exposição a estresse oxidativo, com um aumento significativo na proporção de mudas verdes sobreviventes. A carnitina também modulou a expressão de genes relacionados ao estresse hídrico e à resposta ao ácido abscísico (ABA), sugerindo seu envolvimento na via de sinalização do ABA.

Estudos com mutantes de *Arabidopsis* insensíveis ao ABA reforçam o papel da carnitina na resposta antioxidante sob estresse salino. A aplicação de carnitina reduziu a peroxidação lipídica e os níveis de H_2O_2 , ao mesmo tempo em que aumentou a atividade de enzimas antioxidantes como catalase, superóxido dismutase e NADPH oxidase, indicando uma redução dos danos oxidativos (Gokce, Sekmen e Turkan, 2024).

Em outro estudo, Oney-Birol (2019) observou que o pré-tratamento de sementes de cevada com L-carnitina atenuou os efeitos negativos do estresse salino. O tratamento promoveu maior estímulo à germinação e à regulação do crescimento das plantas. A carnitina mostrou-se eficaz na melhoria da divisão celular, com aumento nos valores do índice mitótico, variando entre 0,28 (menor nível salino) e 0,14 (maior nível salino). Além disso, houve uma redução dos danos ao DNA, indicando um efeito protetor contra o estresse oxidativo induzido pela salinidade.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Local do experimento

O experimento foi realizado em casa de vegetação, pertencente ao Departamento de Ciências Agrônômicas e Florestais (DCAF) da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Mossoró, Rio Grande do Norte, Brasil (5°11'15'' S e 37°20'3'' W). O clima predominante da região, segundo a classificação de Köppen é o quente e seco – tipo BSw. A região apresenta temperatura média de 28,36 °C e umidade relativa média de 69,34%. Os dados climáticos foram coletados no local experimental por meio de um termo-higrômetro digital (Figura 1).

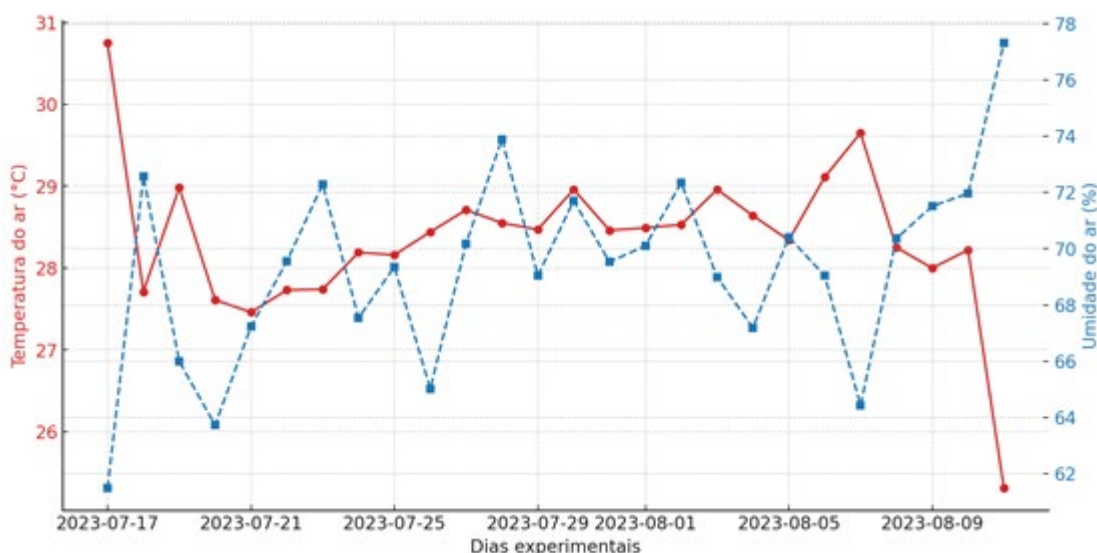


Figura 1. Dados climáticos de temperatura (°C) e umidade relativa (%) durante o experimento. Mossoró-RN, UFERSA, 2024.

O solo utilizado para o experimento foi coletado nas proximidades da casa de vegetação, na profundidade 0–20 cm. Foram coletadas amostras do solo para verificar as propriedades físicas e químicas do solo experimental. Segundo a classificação de Lemos e Santos (1996), o solo é classificado como franco arenoso (Tabela 1).

Tabela 1. Análise físico-química do solo na área experimental. Mossoró-RN, Ufersa, 2024.

pH	CE	P	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	SB	t	CTC	v	PST	Areia Grossa	Areia Fina	Areia Total	Silte	Argila	Classe Textural
(água)	dS/m		mg/dm ³				cmolc/dm ³							kg/kg			

6,90	0,05	75,3	109,8	20,8	3,54	0,66	4,57	4,57	4,57	100	2	0,73	0,16	0,89	0,02	0,09	Areia franca
------	------	------	-------	------	------	------	------	------	------	-----	---	------	------	------	------	------	--------------

* Classificação Textural (Lemos & Santos, 1996):

Classes Texturais: 1- Muito Argilosa, 2 - Argila, 3 - Argila Siltosa, 4 - Argila Arenosa, 5 - Franco argilosa, 6 - Franco Argilo Siltosa, 7 - Franco Argilo Arenosa, 8 - Franca, 9 - Franco Siltosa, 10 - Silte, 11 - Franco Arenosa, 12 - Areia Franca e 13 – Areia.

3.2. Cultivares e semeadura

Foram utilizadas sementes de maxixe de duas cultivares, Do Norte e Liso Gibão, adquiridas na empresa TopSeed. As sementes foram semeadas em bandejas de polietileno de 200 células e preenchidas com substrato de fibra orgânica comercial. As mudas foram transplantadas 7 dias após a emergência (DAE) para os vasos de polietileno com capacidade volumétrica de 5,0 dm³ preenchidos com solo da área próximo a casa de vegetação. O controle de plantas daninhas foi realizado de forma manual.

3.3 Delineamento experimental

O estudo foi conduzido utilizando um delineamento em blocos casualizados, combinando três níveis de salinidade da água de irrigação (0,5; 2,5 e 4,5 dS m⁻¹) com três concentrações de carnitina (0 mM, 0,5 mM e 1 mM). Foram utilizadas duas cultivares (Do Norte e Liso Gibão), totalizando nove tratamentos (T1 = 0,5 CE; T2 = 0,5 CE + 0,5 mM; T3 = 0,5 CE + 1,0 mM; T4 = 2,5 CE; T5 = 2,5 CE + 0,5 mM; T6 = 2,5 CE + 1,0 mM; T7 = 4,5 CE; T8 = 4,5 CE + 0,5 mM e T9 = 4,5 CE + 1,0 mM) para cada cultivar, com quatro repetições por tratamento, sendo uma planta por parcela experimental.

3.4. Irrigação

As soluções salinas foram preparadas através da adição de cloreto de sódio (NaCl) em água, preparadas para um volume de 60 dm³ e armazenadas em recipientes plásticos. A condutividade elétrica das soluções salinas foi monitorada a cada 3 dias. A irrigação era realizada diariamente com a água de abastecimento (0,5 dS m⁻¹), no entanto, aos 20 dias após o transplantio (DAT) iniciou-se a aplicação dos níveis salinos, juntamente com a aplicação das concentrações de carnitina. As soluções de carnitina foram preparadas através da dissolução em água destilada para um volume 500 ml e foram aplicadas semanalmente após o início do tratamento salino, com auxílio de um pulverizador de plástico de 500 ml. Após cada aplicação, as soluções do atenuante

foram devidamente armazenadas em câmara fria pertencente ao Centro de Pesquisa em Ciências Vegetais do Semi-Árido (CPVSA).

3.5 Coleta de Dados

A coleta de dados ocorreu aos 33 DAT. Foram realizadas medições de altura de plantas (AP), mensuradas com uma régua graduada centímetros (cm) e o diâmetro do caule (DC), medido à cerca de 3cm acima do nível do solo utilizando um paquímetro digital milímetros (mm). Posteriormente foram coletados e separados as raízes, caules e folhas para análises específicas. As partes coletadas foram acomodadas em papeis Kraft devidamente etiquetados e em seguida armazenadas em uma estufa de circulação de ar forçada a 65 °C para secar, até alcançarem peso constante. A matéria da parte aérea (MSPA), a matéria seca da raiz (MSR) e a matéria seca total (MST) foram determinadas através do uso da balança semianalítica (0.01 g), com os resultados expressos em gramas por planta. O índice de qualidade de Dickson (IQD) foi calculado por meio da fórmula $IQD = MST / ((H/D) + (MSPA/MSR))$ (Dickson, Leaf e Hosner, 1960), após obtenção dos dados experimentais das variáveis AP, DC, MSPA, MSR e MST em sua totalidade.

3.6 Análise estatística

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e quando observado significância estatística ($p \leq 0,05$), foi realizado o teste de comparação de médias de Tukey a 5% de probabilidade. As análises foram realizadas utilizando o programa estatístico R (R Core Team, 2023).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Houve significância para os níveis salinos e as concentrações de carnitina em ambas as cultivares de maxixe para a altura das plantas (Figura 2). Observa-se que à medida que os níveis salinos aumentavam a altura das plantas reduziam em ambas as cultivares de maxixe. No nível salino de 0.5 dS m⁻¹ as concentrações de carnitina não influenciaram a altura das plantas nas cultivares de maxixe ‘Do Norte’ e ‘Liso Gibão’ (Figura 2). No entanto, ao nível de 2.5 dS m⁻¹, a concentração de 0.5 mM de carnitina

quando aplicado de forma exógena apresentou um aumento significativo na altura para as duas cultivares de maxixe.

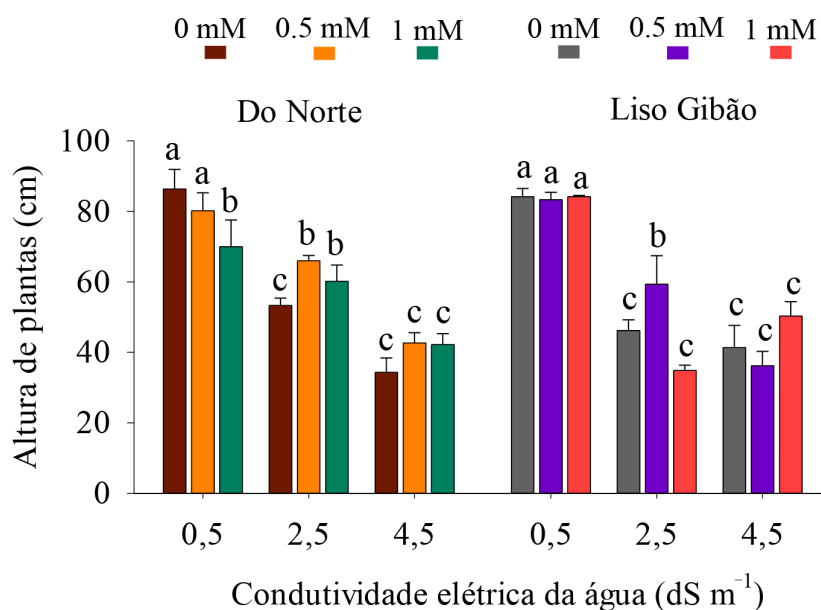


Figura 2. Altura de planta (cm) das cultivares Do Norte e Liso Gibão (*Cucumis anguria* L.), cultivadas sob diferentes níveis de condutividade elétrica e concentrações de Carnitina. Letras minúsculas indicam diferenças entre as médias dos fatores (níveis salinos e concentrações do atenuante) pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Lima (2024) observou resultados semelhantes em seu estudo, onde a salinidade afetou aspectos de crescimento de plantas de maxixe. A altura de plantas, o diâmetro do caule e a produção de massa seca foram reduzidos à medida que os níveis salinos aumentaram de 0,5 para 5,0 dS m⁻¹ para as cultivares ‘Do Norte’ e Liso Gibão. De forma semelhante, Oliveira *et al.* (2014) observou que o estresse salino reduziu significativamente o crescimento de estruturas vegetativas do maxixe em condições de salinidade semelhantes. Plantas da cultivar ‘Do Norte’ apresentaram reduções em até 32,50% para o desenvolvimento vegetativo do diâmetro do caule.

A redução do crescimento em condições de alta salinidade pode estar relacionada à menor absorção de água e nutrientes, ocasionada pelo aumento da pressão osmótica no solo. O acúmulo de sais reduz o potencial osmótico, causando déficit hídrico mesmo quando a água está disponível (Munns e Tester, 2008). Além disso, a alta concentração de íons de sódio e cloreto nas células podem levar à toxicidade e interferir nos processos morfofisiológicos da planta. Como consequência, ocorre uma

redução na turgidez celular e no alongamento das células (Balasubramaniam *et al.*, 2023).

A eficácia da concentração 0.5 mM do atenuante na redução dos efeitos do estresse salino ao nível salino de 2.5 dS m⁻¹ é extremamente relevante, uma vez, que a carnitina é reconhecida por seu papel na proteção antioxidante e na regulação osmótica e metabólica sob condições de estresse (Jacques, Rippa e Perrin, 2018; Oney-Birol, 2019).

A salinidade afetou significativamente o diâmetro das plantas somente para a cultivar de maxixe ‘Do Norte’ (Figura 3). Ao nível de 4.5 dS m⁻¹, o diâmetro do caule apresentou uma redução significativa de aproximadamente 66% quando comparado ao nível de 0.5 dS m⁻¹, na concentração de 0 mM e para a cultivar de maxixe ‘Do Norte’. As concentrações de carnitina não influenciaram o diâmetro do caule em ambas as cultivares de maxixe.

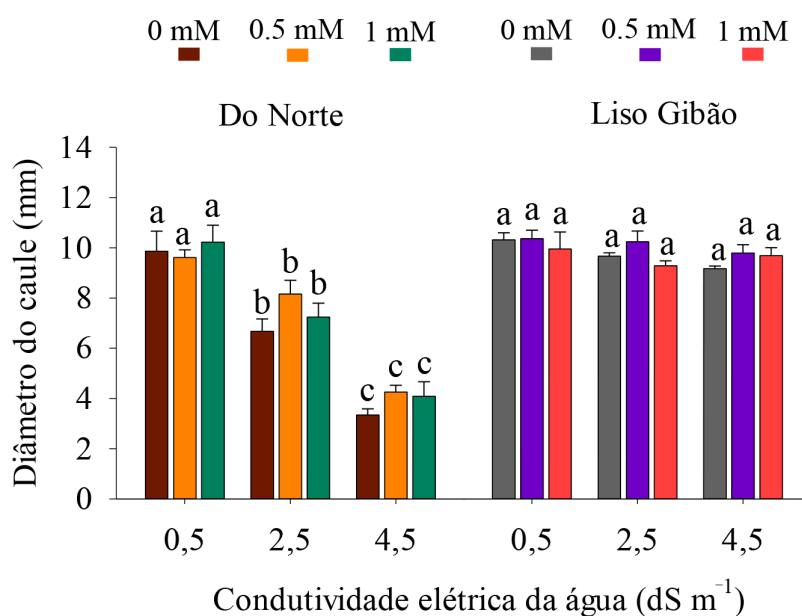


Figura 3. Diâmetro do caule (mm) das cultivares Do Norte e Liso Gibão (*Cucumis anguria* L.), cultivadas sob diferentes níveis de condutividade elétrica e concentrações de carnitina. Mossoró-RN, UFERSA, 2024. Letras minúsculas indicam diferenças entre as médias dos fatores (níveis salinos e concentrações do atenuante) pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Esses resultados reforçam a existência de variação genética na tolerância à salinidade entre cultivares da mesma espécie, como já observado em outras espécies de cucurbitáceas como as abóboras e morangas (Oliveira *et al.*, 2014). Essa estabilidade pode estar associada a mecanismos fisiológicos e bioquímicos específicos, como melhor regulação osmótica, maior eficiência na exclusão de íons tóxicos e acúmulo de solutos como a prolina, conforme descrito em estudos sobre tolerância à salinidade (Munns e Tester, 2008; Taiz *et al.*, 2016).

No que se refere aos efeitos deletérios provocados pela salinidade, vários estudos já foram desenvolvidos em outras espécies de cucurbitáceas de interesse agrônomo como o meloeiro (Dias *et al.*, 2010; Medeiros *et al.*, 2012), a abóbora (Carmo *et al.*, 2011) e abobrinha (Strassburger *et al.*, 2011), onde, os resultados encontrados demonstraram reduções significativas sobre o crescimento.

A ausência de efeito significativo no diâmetro do caule pode ser explicada pela complexidade dos mecanismos de defesa da planta e pela interação de hormônios e atenuantes. Estudos indicam que hormônios como o ácido abscísico (ABA), ácido jasmônico (JA), etileno (ET), auxinas (AUX) e giberelinas (GA) interagem de maneira complexa para regular o crescimento e as respostas de defesa das plantas. Por exemplo, o ABA está envolvido em processos como inibição do crescimento do caule e fechamento estomático, enquanto o JA e o ET interagem com o ABA para promover o fechamento estomático e induzir a senescência foliar (Bari e Jones, 2009; Nguyen *et al.*, 2016).

A comunicação entre diferentes vias hormonais é essencial para ajustar as respostas das plantas a diversos estressores que podem influenciar a robustez e especificidade das respostas de defesa das plantas (Verma, Ravindran e Kumar, 2016; Yang *et al.* 2019). Portanto, surge a necessidade de estudos adicionais para compreender completamente os mecanismos de ação da carnitina.

Houve significância da salinidade e das concentrações de carnitina para a MSPA em ambas as cultivares de maxixe (Figura 4). Nota-se que a MSPA foi reduzida com a intensificação dos níveis salinos nas duas cultivares de maxixe. Ao nível de 2.5 dS m⁻¹, a cultivar de maxixe ‘Do Norte’ apresentou um acréscimo no tratamento com a concentração de 0.5 mM de carnitina quando comparada à concentração de 0 mM.

Enquanto ao nível de 4.5 dS m⁻¹, a cultivar de maxixe ‘Liso Gibão’ apresentou um aumento significativo na produção de MSPA para as concentrações do atenuante de 0.5 e 1.0 mM, quando comparada à concentração de 0 mM de carnitina.

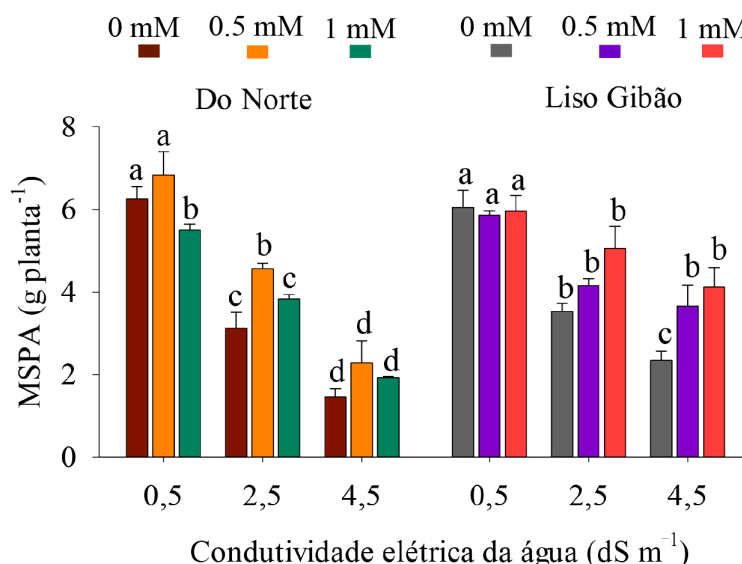


Figura 4. Massa seca da parte aérea (MSPA) (g planta⁻¹) das cultivares Do Norte e Liso Gibão (*Cucumis anguria* L.), cultivadas sob diferentes níveis de condutividade elétrica e concentrações de Carnitina. Mossoró-RN, UFERSA, 2024. Letras minúsculas indicam diferenças entre as médias dos fatores (níveis salinos e concentrações do atenuante) pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Esses resultados coincidem com as pesquisas de Rouphael *et al.* (2012) e Alsamadany *et al.* (2023), onde a salinidade afetou negativamente a capacidade fotossintética e o crescimento da abobrinha e do melão. Como resultado, as plantas apresentaram uma redução na área foliar e na eficiência do uso de água. A salinidade também aumentou o estresse oxidativo, prejudicando a integridade das membranas celulares (Rouphael *et al.*, 2012; Alsamadany *et al.*, 2023).

Os estudos envolvendo o uso da carnitina para mitigar os efeitos deletérios da salinidade sobre o crescimento das plantas ainda são limitados. No entanto, resultados positivos foram observados por Turk, Erdal e Dumlupinar (2020) e Santos *et al.* (2023) sobre o potencial efeito da carnitina em mitigar efeitos deletérios do estresse abiótico em plantas. No trabalho de Turk, Erdal e Dumlupinar (2020), o uso da carnitina induziu melhorias no crescimento e na condição de tolerância ao frio em mudas de milho,

modulando a fotossíntese, a assimilação de nitrogênio e o funcionamento dos sistemas de defesa antioxidante. Já para o estudo de Santos *et al.* (2023) foram observados resultados positivos quanto ao efeito da carnitina sobre o estresse hídrico, onde a aplicação do atenuante aumentou a área foliar o desempenho fotoquímico aumentando os sinais mínimos e máximos de fluorescência da clorofila sob condições de estresse hídrico moderado de plantas de rúcula.

A MSR foi afetada significativamente pelo aumento da salinidade para as duas cultivares de maxixe (Figura 5). Ao nível de 0.5 dS m^{-1} , a MSR apresentou um aumento significativo estatisticamente na concentração de 0.5 mM em comparação à concentração de 0 mM e para a cultivar de maxixe ‘Do Norte’. Já, para a cultivar de maxixe ‘Liso Gibão’, a concentração de 0.5 mM proporcionou um acréscimo quando comparada à concentração no tratamento controle no nível de 2.5 dS m^{-1} . Além disso, para a mesma cultivar, a concentração de 1 mM teve efeito semelhante na salinidade de 4.5 dS m^{-1} em comparação à concentração que não teve a aplicação exógena de carnitina.

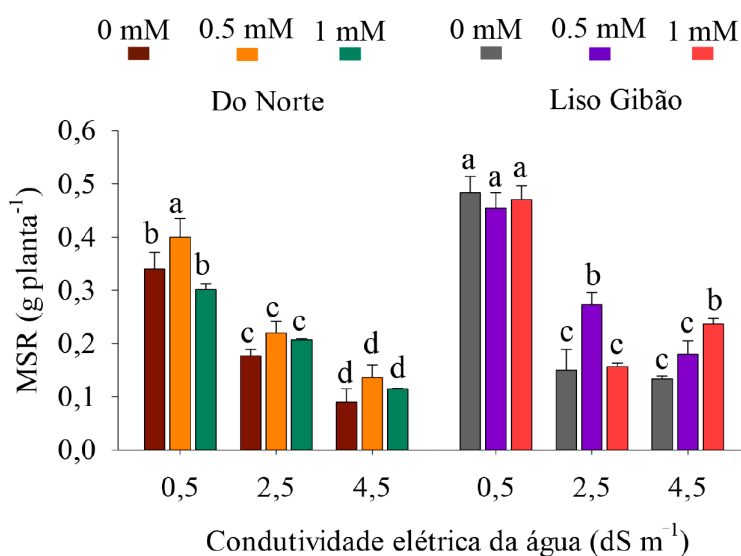


Figura 5. Massa seca da raiz (MSR) (g planta^{-1}) das cultivares Do Norte e Liso Gibão (*Cucumis anguria* L.), cultivadas sob diferentes níveis de condutividade elétrica e concentrações de Carnitina. Mossoró-RN, UFERSA, 2024. Letras minúsculas indicam diferenças entre as médias dos fatores (níveis salinos e concentrações do atenuante) pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Pesquisas recentes com outras espécies de cucurbitáceas também demonstraram efeitos semelhantes em relação a exposição a salinidade. Abdel-Farid *et al.* (2020) observou em seu trabalho com a cultura do pepino que o estresse salino afetou o comprimento das raízes e brotamento, bem como o peso fresco e seco das plantas de acordo com o aumento das concentrações de NaCl (25, 50, 100, 200 mM). No estudo de Sousa *et al.* (2016) com a cultura da melancia foi observado que o aumento dos níveis salinos de 1,0 até 5,0 dS m⁻¹ influenciaram negativamente os aspectos de crescimento das plantas, reduzindo o diâmetro do caule e a produção de massa seca das plantas.

Uma explicação para redução da MSR é que estresse osmótico causado pela salinidade se manifesta nas fases iniciais da exposição ao sal, resultando da absorção excessiva de sais e da consequente redução do potencial hídrico na região radicular. Esse processo compromete a condutividade da água nas células vegetais, afetando diretamente o desenvolvimento das plantas e limitando seu crescimento (Munns, 2005).

Surai (2015) destaca a importância da carnitina na defesa antioxidante por meio de diversos mecanismos. Em primeiro lugar, a substância atua na neutralização direta dos radicais livres. Além disso, auxilia na diminuição da formação desses compostos, seja pela inibição de enzimas específicas responsáveis por sua produção, seja pela manutenção da integridade da cadeia de transporte de elétrons nas mitocôndrias, especialmente em situações de estresse celular.

Os níveis salinos e as concentrações de carnitina afetaram significativamente a MST das cultivares de maxixe (Figura 6). A concentração de 0.5 mM propiciou um efeito positivo ao nível de 2.5 dS m⁻¹ quando comparada à concentração de 0 mM, na cultivar de maxixe ‘Do Norte’. Para a cultivar de maxixe ‘Liso Gibão’ a concentração de 1 mM aumentou significativamente a massa seca total para os níveis de 2.5 e 4.5 dS m⁻¹ quando comparadas à concentração de 0 mM referente ao seu respectivo nível salino.

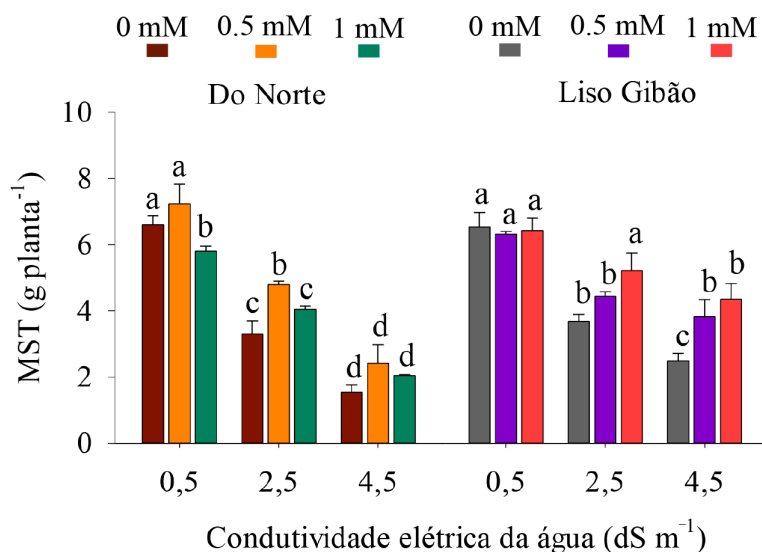


Figura 6. Massa seca total (MST) (g planta⁻¹) das cultivares Do Norte e Liso Gibão (*Cucumis anguria* L.), cultivadas sob diferentes níveis de condutividade elétrica e concentrações de Carnitina. Mossoró-RN, UFERSA, 2024. Letras minúsculas indicam diferenças entre as médias dos fatores (níveis salinos e concentrações do atenuante) pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Oliveira *et al.* (2014) observou que a salinidade da água de irrigação, ao ser aumentada de 0,5 para 5,0 dS m⁻¹, causou perdas de até 74,23% na massa seca total (MST) em plantas de maxixe. Além disso, quando as plantas são expostas a concentrações muito elevadas de sais, elas atingem um ponto de ruptura onde o estresse se torna irreversível, prejudicando drasticamente o crescimento e o funcionamento dos processos fisiológicos e metabólicos (Munns, 2002).

O efeito benéfico da carnitina pode estar relacionado com a diminuição da peroxidação lipídica e dos níveis de oxidantes como o H₂O₂, ocasionado pelo aumento da atividade de enzimas antioxidantes como catalase, superóxido dismutase e NADPH oxidase, que atuam na redução dos danos oxidativos (Gokce, Sekmen e Turkan, 2024).

A salinidade e as concentrações de carnitina afetaram significativamente o IQD (Figura 7). O IQD foi reduzido à medida que os níveis salinos foram aumentados para as duas cultivares de maxixe. As concentrações de carnitina não influenciaram a cultivar de maxixe ‘Do Norte’, no entanto, a cultivar de maxixe ‘Liso Gibão’ apresentou um aumento no IQD, ao nível de 2.5 dS m⁻¹ e para a concentração de 0.5 mM quando comparada à concentração de 0 mM. Nota-se também o aumento significativo para a

concentração de 1 mM quando comparada ao tratamento que não a aplicação exógena de carnitina ao nível de 4.5 dS m⁻¹.

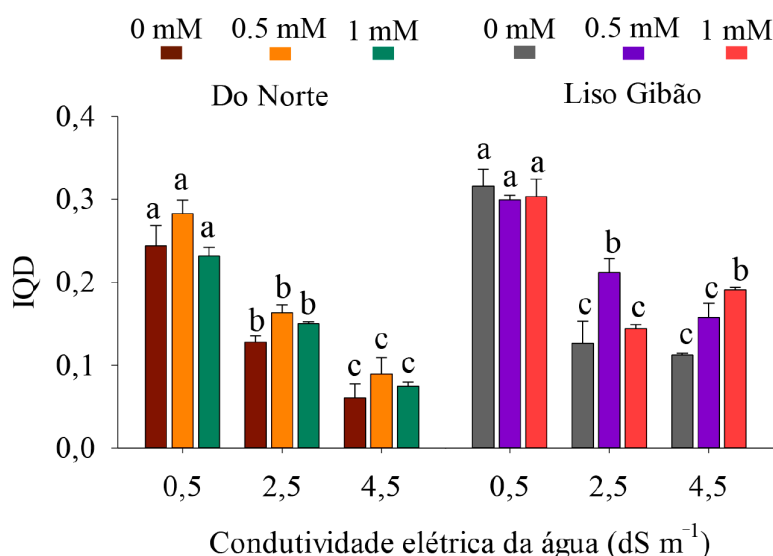


Figura 7. Índice de qualidade de Dickson (IQD) das cultivares Do Norte e Liso Gibão (*Cucumis anguria* L.), cultivadas sob diferentes níveis de condutividade elétrica e concentrações de Carnitina. Mossoró-RN, UFERSA, 2024. Letras minúsculas indicam diferenças entre as médias dos fatores (níveis salinos e concentrações do atenuante) pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Pode-se justificar que o estresse salino impacta negativamente o equilíbrio entre a distribuição da biomassa e a robustez das plantas, comprometendo o desenvolvimento das mudas. Esse achado está alinhado com a literatura científica, que aponta que altas concentrações de sais no solo dificultam a absorção de água e nutrientes essenciais, reduzindo o crescimento e a biomassa das plantas (Taiz *et al.*, 2016).

Quanto ao efeito do atenuante, o estudo de Charrier *et al.* (2012) sugere que a carnitina pode influenciar a regulação osmótica em plantas, possivelmente através de propriedades antioxidantes que ajudam na sobrevivência das plantas sob estresse oxidativo, modulando a expressão de genes relacionados ao estresse. A aplicação teve impacto positivo na sobrevivência de mudas de *Arabidopsis* após um período de exposição ao estresse oxidativo, resultando em um maior número de mudas verdes sobreviventes em relação ao número total de mudas tratadas do que para os experimentos de controle.

O IQD representa um bom indicativo no que diz respeito à qualidade das mudas, visto que em seu cálculo é reconhecido por levar em consideração a relação entre parâmetros morfológicos como altura, diâmetro, peso da matéria seca aérea e peso da matéria seca radicular, além da biomassa total (Binotto, Lúcio e Lopes, 2010). A faixa específica de valores para cada categoria de qualidade pode variar com as espécies e condições ambientais locais (Dickson, 1960). O índice de qualidade de Dickson para espécies florestais em viveiro deve ser menor que 10 e maior que 0,2, respectivamente, para que a muda apresente boa qualidade.

5. CONCLUSÕES

A salinidade afeta o crescimento inicial das plantas de maxixe, reduzindo a altura das plantas, diâmetro do caule, MSPA, MSR, MST e IQD.

A concentração de 0.5 mM de carnitina reduziu os efeitos deletérios da salinidade na altura, matéria seca radicular e o índice de qualidade de Dickson para a cultivar até o nível salino de 2.5 dS m⁻¹ para ‘Liso Gibão’. Para a cultivar ‘Do Norte’, a concentração de 0,5 mM do atenuante reduziu os efeitos da salinidade na altura, matéria seca da parte aérea e massa seca total até o nível salino de 2.5 dS m⁻¹.

REFERÊNCIAS

- ABDEL-FARID, Ibrahim Bayoumi et al. Effect of Salinity Stress on Growth and Metabolomic Profiling of *Cucumis sativus* and *Solanum lycopersicum*. **Plants**, v. 9, n. 11, p. 1626, 2020.
- ACOSTA-MOTOS, Jose Ramón et al. Plant responses to salt stress: adaptive mechanisms. **Agronomy**, v. 7, n. 1, p. 18, 2017.
- ALKHARABSHEH, Hiba M. et al. Field crop responses and management strategies to mitigate soil salinity in modern agriculture: A review. **Agronomy**, v. 11, n. 11, p. 2299, 2021.
- ALMEIDA, João Paulo Nobre de et al. Germination and biochemical changes in West Indian gherkin seeds under water stress at different temperatures. *Revista Ciência Agronômica*, v. 50, p. 411-419, 2019.
- ALSAMADANY, Hameed et al. Selenium fortification stimulates antioxidant-and enzyme gene expression-related defense mechanisms in response to saline stress in *Cucurbita pepo*. **Scientia Horticulturae**, v. 312, p. 111886, 2023.
- BALASUBRAMANIAM, Thuvaraki et al. Plants' response mechanisms to salinity stress. **Plants**, v. 12, n. 12, p. 2253, 2023.
- BARI, Rajendra; JONES, Jonathan DG. Role of plant hormones in plant defence responses. **Plant molecular biology**, v. 69, p. 473-488, 2009.
- BINOTTO, Alexandre Francisco; LÚCIO, Alessandro Dal'Col; LOPES, Sidinei José. Correlations between growth variables and the Dickson quality index in forest seedlings. **Cerne**, v. 16, p. 457-464, 2010.
- BOURDIN, Benoîte; ADENIER, Hervé; PERRIN, Yolande. Carnitine is associated with fatty acid metabolism in plants. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 45, n. 12, p. 926-931, 2007.
- BREMER, Jon. Carnitine--metabolism and functions. **Physiological reviews**, v. 63, n. 4, p. 1420-1480, 1983.

CAMPOBENEDETTO, Cristina et al. The application of a biostimulant based on tannins affects root architecture and improves tolerance to salinity in tomato plants. **Scientific Reports**, v. 11, n. 1, p. 354, 2021.

CARMO, Gilcimar A. do et al. Teores foliares, acúmulo e partição de macronutrientes na cultura da abóbora irrigada com água salina. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, p. 512-518, 2011.

CHEN, Hao et al. To fight or to grow: The balancing role of ethylene in plant abiotic stress responses. **Plants**, v. 11, n. 1, p. 33, 2021.

CHARRIER, Aurélie et al. The effect of carnitine on Arabidopsis development and recovery in salt stress conditions. **Planta**, v. 235, p. 123-135, 2012.

CHUNG, Ill-Min; KIM, Seung-Hyun; PRABAKARAN, Mayakrishnan. Evaluation of phytochemical, polyphenol composition and anti-corrosion capacity of *Cucumis anguria* L. leaf extract on metal surface in sulfuric acid medium. **Protection of Metals and Physical Chemistry of Surfaces**, v. 56, p. 214-224, 2020.

DIAS, Nildo da S. et al. Produção de melão rendilhado em sistema hidropônico com rejeito da dessalinização de água em solução nutritiva. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, p. 755-761, 2010.

DICKSON, A.; LEAF, A. L.; HOSNER, J. F. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. *The Forest Chronicle*, v. 36, n. 1, p.10-13, 1960.

DUMONT, Sébastien; RIVOAL, Jean. Consequences of oxidative stress on plant glycolytic and respiratory metabolism. **Frontiers in Plant Science**, v. 10, p. 166, 2019.

DZOMBA, P.; MUPA, M. Wild *Cucumis anguria* leaves: phytochemical profile and antioxidant capacity. **Asian Pac J Trop Biomed**, p. 1-5, 2012.

EL-RAMADY, Hassan et al. Review of crop response to soil salinity stress: Possible approaches from leaching to nano-management. **Soil Systems**, v. 8, n. 1, p. 11, 2024.

FLOWERS, T. J., COLMER, T. D. *Salinity tolerance in halophytes*. *New Phytologist*, v. 179, n. 4, p. 945-963, 2008.

GEDEON, Stella et al. Application of biostimulants in tomato plants (*Solanum lycopersicum*) to enhance plant growth and salt stress tolerance. **Plants**, v. 11, n. 22, p. 3082, 2022.

GOKCE, Azime; SEKMEN CETINEL, Askim Hediye; TURKAN, Ismail. Carnitine modulates antioxidative defense in ABI2 mutant under salt stress. **Plant Growth Regulation**, v. 104, n. 1, p. 359-376, 2024.

GUL, Zarmina et al. An insight into abiotic stress and influx tolerance mechanisms in plants to cope in saline environments. **Biology**, v. 11, n. 4, p. 597, 2022.

HASANUZZAMAN, Mirza et al. Regulation of reactive oxygen species and antioxidant defense in plants under salinity. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 22, n. 17, p. 9326, 2021.

HENSCHER, Juliane Maciel et al. Drought stress mitigation by foliar application of L-carnitine and its effect on radish morphophysiology. **Physiology and Molecular Biology of Plants**, v. 29, n. 4, p. 579-590, 2023.

JACQUES, Florian; RIPPA, Sonia; PERRIN, Yolande. Physiology of L-carnitine in plants in light of the knowledge in animals and microorganisms. **Plant science**, v. 274, p. 432-440, 2018.

KWON, Oh Keun; MEKAPOGU, Manjulatha; KIM, Ki Sun. Effect of salinity stress on photosynthesis and related physiological responses in carnation (*Dianthus caryophyllus*). **Horticulture, Environment, and Biotechnology**, v. 60, p. 831-839, 2019.

KUMAR, S. Senthil; KAMARAJ, M. Analysis of phytochemical constituents and antimicrobial activities of *Cucumis anguria* L. against clinical pathogens. 2010.

LIMA, Flavianne; SOUSA, ANDREIA PAIXÃO BENVINDO; LIMA, ALESSANDRO. Propriedades nutricionais do maxixe e do quiabo/nutritional properties of gherkin and okra. **Saúde em foco**, v. 2, n. 1, p. 113-129, 2015.

LIMA, John Victor Lucas. Crescimento de cultivares de maxixe sob estresse salino. 2024.

LIMA MENDES, Ana Hérica de et al. Impact of cooking on the bioactive compounds and antioxidant activity of gherkin (*Cucumis anguria* L.). **Journal of Environmental Analysis and Progress**, v. 7, n. 1, p. 033-040, 2022.

LOPES, José Carlos; MACEDO, Célia Maria Peixoto de. Germinação de sementes de couve chinesa sob influência do teor de água, substrato e estresse salino. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 30, p. 79-85, 2008.

MACHADO, Rui Manuel Almeida; SERRALHEIRO, Ricardo Paulo. Soil salinity: effect on vegetable crop growth. Management practices to prevent and mitigate soil salinization. **Horticulturae**, v. 3, n. 2, p. 30, 2017.

MAJEED, Abdul; MUHAMMAD, Zahir. Salinity: a major agricultural problem—causes, impacts on crop productivity and management strategies. **Plant abiotic stress tolerance: Agronomic, molecular and biotechnological approaches**, p. 83-99, 2019.

MEDEIROS, Damiana C. de et al. Crescimento do melão Pele de Sapo, em níveis de salinidade e estágio de desenvolvimento da planta. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, p. 647-654, 2012.

MINHAS, P. S. et al. Coping with salinity in irrigated agriculture: Crop evapotranspiration and water management issues. **Agricultural Water Management**, v. 227, p. 105832, 2020.

MISHRA, Neelam et al. Achieving abiotic stress tolerance in plants through antioxidative defense mechanisms. **Frontiers in Plant Science**, v. 14, p. 1110622, 2023.

MUNNS, Rana. Comparative physiology of salt and water stress. **Plant, cell & environment**, v. 25, n. 2, p. 239-250, 2002.

MUNNS, Rana. Genes and salt tolerance: bringing them together. **New phytologist**, v. 167, n. 3, p. 645-663, 2005.

MUNNS, Rana; TESTER, Mark. Mechanisms of salinity tolerance. **Annu. Rev. Plant Biol.**, v. 59, n. 1, p. 651-681, 2008.

NACHSHON, Uri. Cropland soil salinization and associated hydrology: Trends, processes and examples. **Water**, v. 10, n. 8, p. 1030, 2018.

NASEER, Muhammad Noman et al. Effect of salinity stress on germination, seedling growth, mineral uptake and chlorophyll contents of three Cucurbitaceae species. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 65, p. e22210213, 2022.

NGUYEN, Duy et al. How plants handle multiple stresses: hormonal interactions underlying responses to abiotic stress and insect herbivory. **Plant Molecular Biology**, v. 91, p. 727-740, 2016.

NGUYEN, Phuong-Jean et al. Acylcarnitines participate in developmental processes associated to lipid metabolism in plants. **Planta**, v. 243, p. 1011-1022, 2016.

NIU, Xiaomu et al. Ion homeostasis in NaCl stress environments. **Plant physiology**, v. 109, n. 3, p. 735, 1995.

OLIVEIRA, Francisco A. et al. Produtividade do maxixeiro cultivado em substrato e fertirrigado com soluções nutritivas. **Horticultura brasileira**, v. 32, n. 4, p. 464-467, 2014.

OLIVEIRA, Francisco de Assis de et al. Tolerância do maxixeiro, cultivado em vasos, à salinidade da água de irrigação. **Revista Ceres**, v. 61, p. 147-154, 2014.

OLIVEIRA, Francisco de Assis de et al. Desenvolvimento inicial de cultivares de abóboras e morangas submetidas ao estresse salino. **Revista Agro@mbiente On-line**, v. 8, n. 2, p. 222-229, 2014.

OMUTO, C. T. et al. Trend of soil salinization in Africa and implications for agro-chemical use in semi-arid croplands. **Science of The Total Environment**, v. 951, p. 175503, 2024.

ONDRASEK, Gabrijel; RENGEL, Zed. Environmental salinization processes: Detection, implications & solutions. **Science of the Total Environment**, v. 754, p. 142432, 2021.

ONEY-BIROL, Signem. Exogenous L-carnitine promotes plant growth and cell division by mitigating genotoxic damage of salt stress. **Scientific reports**, v. 9, n. 1, p. 17229, 2019.

POÓR, Péter. Effects of salicylic acid on the metabolism of mitochondrial reactive oxygen species in plants. **Biomolecules**, v. 10, n. 2, p. 341, 2020.

RAJPUT, Vishnu D. et al. Recent developments in enzymatic antioxidant defence mechanism in plants with special reference to abiotic stress. **Biology**, v. 10, n. 4, p. 267, 2021.

RANI, P. Juliet Arockia; PANNEERSELVAM, C. Effect of L-carnitine on brain lipid peroxidation and antioxidant enzymes in old rats. **The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences**, v. 57, n. 4, p. B134-B137, 2002.

RENGASAMY, Pichu. World salinization with emphasis on Australia. **Journal of experimental botany**, v. 57, n. 5, p. 1017-1023, 2006.

ROWE, James H. et al. Absciscic acid regulates root growth under osmotic stress conditions via an interacting hormonal network with cytokinin, ethylene and auxin. **New Phytologist**, v. 211, n. 1, p. 225-239, 2016.

RIPPA, Sonia et al. The carnitine biosynthetic pathway in *Arabidopsis thaliana* shares similar features with the pathway of mammals and fungi. **Plant physiology and biochemistry**, v. 60, p. 109-114, 2012.

ROBERT, Hervé et al. Glycine betaine, carnitine, and choline enhance salinity tolerance and prevent the accumulation of sodium to a level inhibiting growth of *Tetragenococcus halophila*. **Applied and environmental microbiology**, v. 66, n. 2, p. 509-517, 2000.

ROUPHAEL, Youssef et al. Improving melon and cucumber photosynthetic activity, mineral composition, and growth performance under salinity stress by grafting onto *Cucurbita* hybrid rootstocks. **Photosynthetica**, v. 50, p. 180-188, 2012.

SANTOS, Fabricio Felipe dos et al. AVALIAÇÃO DO POTENCIAL BIOATIVO DO MAXIXE (*Cucumis anguria* L.) FRENTE ÀS DOENÇAS CRÔNICAS NÃO TRANSMISSÍVEIS. **Revista Eletrônica Perspectivas da Ciência e Tecnologia-ISSN: 1984-5693**, v. 13, 2021.

SANTOS, Guilherme Brandão et al. Produção e qualidade de frutos e de sementes de maxixe em diferentes densidades de plantio. 2018.

SANTOS, Sabrina Kelly dos et al. Exogenous carnitine mitigates the deleterious effects of mild-water stress on arugula by modulating morphophysiological responses. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 42, n. 7, p. 4073-4082, 2023.

SAXENA, Ina; SRIKANTH, Sandhya; CHEN, Zhong. Cross talk between H₂O₂ and interacting signal molecules under plant stress response. **Frontiers in plant science**, v. 7, p. 570, 2016.

SHELDEN, Megan C.; MUNNS, Rana. Crop root system plasticity for improved yields in saline soils. **Frontiers in Plant Science**, v. 14, p. 1120583, 2023.

SHRIVASTAVA, Pooja; KUMAR, Rajesh. Soil salinity: A serious environmental issue and plant growth promoting bacteria as one of the tools for its alleviation. **Saudi journal of biological sciences**, v. 22, n. 2, p. 123-131, 2015.

SOUSA, Alan BO de et al. Production and quality of mini watermelon cv. Smile irrigated with saline water. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, n. 10, p. 897-902, 2016.

SOUZA, Francisco Marto de et al. Desenvolvimento inicial e tolerância de cultivares de maxixe irrigado com água salina. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 12, n. 1, p. 2385-2394, 2018.

SOUZA NETA, Maria Lilia de. Ação do bioestimulante na cultura do maxixeiro (*Cucumis anguria* L.) sob condições de estresse salino. 2016.

SRIVASTAVA, Priyanka; WU, Qiang-Sheng; GIRI, Bhoopander. Salinity: an overview. **Microorganisms in saline environments: strategies and functions**, p. 3-18, 2019.

STĘPIEŃ, Piotr; KŁBUS, G. Water relations and photosynthesis in *Cucumis sativus* L. leaves under salt stress. **Biologia plantarum**, v. 50, p. 610-616, 2006.

STRASSBURGER, André Samuel et al. Crescimento e produtividade da abobrinha italiana: efeito da concentração iônica da solução nutritiva. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 32, n. 2, p. 553-564, 2011.

SULTAN, Md Tipu; MAHMUD, Upoma; KHAN, Md Zulfikar. Addressing soil salinity for sustainable agriculture and food security: Innovations and challenges in coastal regions of Bangladesh. **Future Foods**, v. 8, p. 100260, 2023.

SURAI, Peter F. Antioxidant action of carnitine: molecular mechanisms and practical applications. **EC Veterinary Science**, v. 2, n. 1, p. 66-84, 2015.

STAVI, Ilan; THEVS, Niels; PRIORI, Simone. Soil salinity and sodicity in drylands: A review of causes, effects, monitoring, and restoration measures. **Frontiers in Environmental Science**, v. 9, p. 712831, 2021.

TAIZ, Lincoln et al. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. Artmed Editora, 2017.
ZHU, Jian-Kang. Abiotic stress signaling and responses in plants. **Cell**, v. 167, n. 2, p. 313-324, 2016.

TALEISNIK, Edith et al. Leaf expansion in grasses under salt stress. **Journal of Plant Physiology**, v. 166, n. 11, p. 1123-1140, 2009.

TARATIMA, Worasitikulya; KUNPRATUM, Narisa; MANEERATTANARUNGROJ, Pitakpong. Effect of salinity stress on physiological aspects of pumpkin (*Cucurbita moschata* duchesne.'laikaotok') under hydroponic condition. 2023.

TAROLLI, Paolo et al. Soil salinization in agriculture: Mitigation and adaptation strategies combining nature-based solutions and bioengineering. **Iscience**, v. 27, n. 2, 2024.

TÁVORA, Franciso José Alves Fernandes; FERREIRA, Raimundo Gonçalves; HERNANDEZ, Fernando Felipe Ferreira. Crescimento e relações hídricas em plantas de goiabeira submetidas a estresse salino com NaCl. **Revista Brasileira de fruticultura**, v. 23, p. 441-446, 2001.

TURK, Hulya; ERDAL, Serkan; DUMLUPINAR, Rahmi. Carnitine-induced physio-biochemical and molecular alterations in maize seedlings in response to cold stress. **Archives of Agronomy and Soil Science**, v. 66, n. 7, p. 925-941, 2020.

VERMA, Vivek; RAVINDRAN, Pratibha; KUMAR, Prakash P. Plant hormone-mediated regulation of stress responses. **BMC plant biology**, v. 16, p. 1-10, 2016.

YANG, Jing et al. The crosstalks between jasmonic acid and other plant hormone signaling highlight the involvement of jasmonic acid as a core component in plant response to biotic and abiotic stresses. **Frontiers in plant science**, v. 10, p. 1349, 2019.

YUN, Ping; KAYA, Cengiz; SHABALA, Sergey. Hormonal and epigenetic regulation of root responses to salinity stress. **The Crop Journal**, v. 12, n. 5, p. 1309-1320, 2024.

ZHAO, Chunzhao et al. Mechanisms of plant responses and adaptation to soil salinity. **The innovation**, v. 1, n. 1, 2020.