



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
LICENCIATURA EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

MARIANA DE MELO SILVA

**ECOFISIOLOGIA DE PIMENTA BIQUINHO (*Capsicum chinense*) SUBMETIDO À
CONCENTRAÇÕES DE PROLINA COMO ATENUANTE DA SALINIDADE**

AREIA

2025

MARIANA DE MELO SILVA

**ECOFISIOLOGIA DE PIMENTA BIKUINHO (*Capsicum chinense*) SUBMETIDO À
CONCENTRAÇÕES DE PROLINA COMO ATENUANTE DA SALINIDADE**

Trabalho de Conclusão de curso apresentado
ao Curso de Licenciatura em Ciências
Biológicas da Universidade Federal da
Paraíba, como requisitos parcial á obtenção
do título de Licenciada em Ciências
Biológicas.

Orientador: Prof. Dr. Thiago Jardelino Dias
Coorientador: Me. Vitor Araujo Targino

**AREIA
2025**

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

S586e Silva, Mariana de Melo.

Ecofisiologia de pimenta biquinho (*Capsicum chinense*) submetido à concentrações de prolina como atenuante da salinidade / Mariana de Melo Silva. - Areia, 2025.

55 f. : il.

Orientação: Thiago Jardelino Dias.

Coorientação: Vitor Araújo Targino,
TCC (Graduação) - UFPB/CCA.

1. *Capsicum Chinense* L. 2. Estresses abióticos. 3. Osmoprotetores. I. Dias, Thiago Jardelino. II. Targino, Vitor Araújo. III. Título.

UFPB/CCA-AREIA

CDU 573 (02)

MARIANA DE MELO SILVA

**ECOFISIOLOGIA DE PIMENTA BIKUINHO (*Capsicum chinense*) SUBMETIDO À
CONCENTRAÇÕES DE PROLINA COMO ATENUANTE DA SALINIDADE**

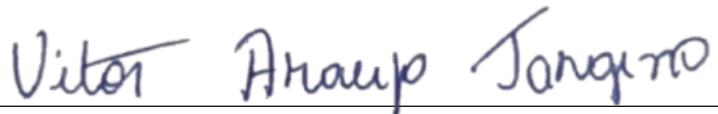
Trabalho de Conclusão de curso apresentada
ao Curso de Licenciatura em Ciências
Biológicas da Universidade Federal da
Paraíba, como parte dos requisitos
necessários para a obtenção do título de
Licenciada em Ciências Biológicas.

Aprovado em: 01 de novembro de 2024

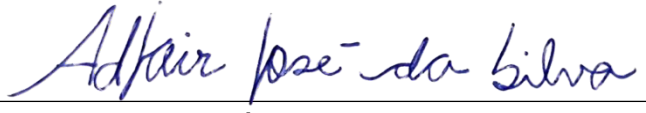
BANCA EXAMINADORA



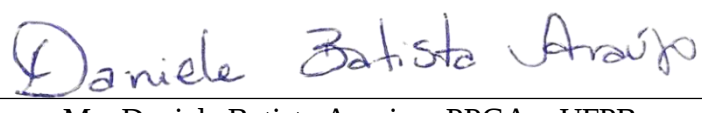
Prof. Dr. Thiago Jardelino Dias – PPGA – UFPB
Universidade Federal da Paraíba (UFPB)



Me. Vitor Araujo Targino – PPGA – UFPB
Universidade Federal da Paraíba (UFPB)



Me. Adjair José da Silva – PPGA – UFPB
Universidade Federal da Paraíba (UFPB)



Me. Daniele Batista Araujo – PPGA – UFPB
Universidade Federal da Paraíba (UFPB)

A Deus e aos meus pais, por sempre
acreditar no meu potencial.

Dedico.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de dedicar este momento para expressar minha gratidão a todas as pessoas que estiveram ao meu lado durante esta jornada:

Primeiramente, gostaria de agradecer a Deus pela força, sabedoria e oportunidades que me foram concedidas ao longo deste caminho. Agradeço por cada obstáculo superado e por cada vitória alcançada.

Dedico este trabalho aos meus pais Gilvan Melo e Ana Maria Silva, pelo apoio incentivo ao longo dessa caminhada. Agradeço o carinho, amor, cuidado e Educação que sempre me dedicaram. Sem o apoio de vocês, eu não estaria aqui hoje. Prometo continuar a honrar o legado que vocês construíram. Vocês são minha inspiração e fonte de força, amo vocês.

Ao meu orientador, Thiago Jardelino Dias, por ter acreditado no meu potencial, pela orientação, suporte e dedicação ao longo da caminhada acadêmica, sempre incentivando a buscar novos caminhos para minha formação profissional.

Aos membros da banca, Adjair José da Silva, Ramon Freire da Silva e Daniele Batista Araújo, por todas as sugestões e tempo dedicado para este trabalho.

Aos meus padrinhos, Edglei e Sandrelly, por dividirem comigo muitas aventuras, buscando meu crescimento humano e profissional.

A todos os docentes, discentes e servidores do centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Paraíba, pelo apoio durante os anos em que estudei nessa instituição, em especial, aos que fazem parte do setor de Solos, da Biotecnologia e da Fitotecnia do CCA/UFPB.

A Vitor Araujo, por toda dedicação e companheirismo. Sua confiança e seu constante estímulo foram pilares fundamentais para o meu crescimento acadêmico, sua dedicação e comprometimento contribuiu para a realização deste sonho, sou grata a Deus por ter você ao meu lado, e por todo apoio e paciência como meu coorientador.

A Bianca Marina por sua amizade, por todos os momentos de alegria, tristeza e desesperos durante o período da graduação. Obrigada por sempre ser essa amiga confiante.

Aos amigos Elias Pereira, João Henrique Constantino, Luan Correia, Evilásio Vieira, Anderson Mauricio, Poliana, Ellen, Anne Ketyla, Ana Beatriz, Adjair José, Guilherme e Addiane Anisio, pelo companheirismo e por todas as experiências compartilhadas ao longo de nossa jornada.

Agradeço aos meus familiares, em especial aos meus tios Linaldo, Gilberto e Gilmar, e às minhas tias Fernanda, Jeane, Lindnalva e Fabiana, assim como a todos os meus queridos primos e pessoas próximas por todo amor e carinho.

Aos Amigos que fiz nesta cidade Zélia Melo, Craúna, Caboré, Dona Zefinha, Márcia, Suzana, João Henrique, Artur, João Medeiros, aos meus sogros Railda Araujo e Mauro, a minha cunhada Vitória Targino por todos os momentos que compartilhamos juntos.

Aos meus queridos avós, Antônia Maria e Benedito Cirino (Deco), cuja presença física não mais compartilho, mas sei que estão olhando por mim com muito orgulho de minha jornada. Aos meus Avós, Lurdes Cirino e João José, por todo amor e carinho.

Ao PET (Programa de Educação Tutorial), pela bolsa concedida através do Pet AgroBio, e por todos os membros desse programa, em especial ao tutor Daniel Duarte.

“Entre as pequenas coisas que não fazemos e as grandes que não podemos fazer, o perigo está em não tentarmos nenhuma”.

Confúcio

RESUMO

A salinidade é um dos grandes entraves na agricultura em regiões semiáridas, pois afeta os processos de desenvolvimento vegetal e produção de diversas culturas. Assim, o uso de atenuadores do estresse salino é de extrema importância, pois permite o uso de águas salinas para fins agrícolas. Dentre estes, destacam-se a prolina, que pode ser uma alternativa para mitigar os danos causados por esse estresse. Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da aplicação de prolina como um agente atenuante dos efeitos prejudiciais do estresse salino no crescimento, trocas gasosas e metabolismo da pimenta biquinho. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado em esquema fatorial 4 (condutividades elétricas – CEa: 0,5; 1,50; 3,00; 4,5 dS m⁻¹) x 5 (concentrações de prolina – Pro: 0,0; 4,00; 8,00; 10,0; 12,00 mM), com seis repetições. Foram avaliados crescimento, trocas gasosas, índice de clorofila, fluorescência da clorofila *a*, massa fresca e seca de folhas, caule e raiz, número e massa de frutos, compostos fenólicos, açúcares redutores e solúveis. A aplicação de prolina foi benéfica nas plantas de pimenta, aumentando o peso das folhas e a massa fresca das raízes. A concentração de 12,0 mM associada à salinidade moderada da água de irrigação a 1,50 dS m⁻¹ estimulou as trocas gasosas, resultando em maior fotossíntese líquida e transpiração nas plantas de pimenta. Houve um aumento no peso e na massa fresca das raízes (41,92 g planta⁻¹) alcançados com uma concentração de prolina de 12,0 mM sob irrigação com águas a 4,50 dS m⁻¹. A aplicação de 12,0 mM de prolina apresenta potencial benéfico para o acúmulo de biomassa e estimula as trocas gasosas, resultando em maior fotossíntese líquida e transpiração em plantas de *C. chinense*.

Palavras-chave: *Capsicum Chinense* L.; estresses abióticos; osmoprotetores.

ABSTRACT

Salinity is one of the major challenges in agriculture in arid and semi-arid regions, as it affects plant development processes and the production of various crops. Thus, the use of salinity stress mitigators is extremely important, as it allows for the use of saline water for agricultural purposes. Among these, proline stands out as a potential alternative to mitigate the damage caused by this stress. Therefore, the objective of this study was to evaluate the effect of proline application as a mitigating agent for the harmful effects of salinity stress on the growth, gas exchange, and metabolism of biquinho pepper. The experimental design used was completely randomized in a factorial scheme 4 (electrical conductivities - CEa: 0.5; 1.50; 3.00; 4.5 dS m⁻¹) x 5 (proline concentrations - Pro: 0.0; 4.00; 8.00; 10.0; 12.00 mM), with six repetitions. Growth, gas exchange, chlorophyll index, chlorophyll a fluorescence, fresh and dry mass of leaves, stems and roots, number and mass of fruits, phenolic compounds, reducing sugars and soluble sugars were evaluated. The application of proline was beneficial for pepper plants, increasing leaf weight and fresh root mass. The concentration of 12.0 mM combined with moderate salinity of irrigation water at 1.50 dS m⁻¹ stimulated gas exchange, resulting in higher net photosynthesis and transpiration in pepper plants. There was an increase in weight and fresh mass of roots (41.92 g plant⁻¹) achieved with a proline concentration of 12.0 mM under irrigation with water at 4.50 dS m⁻¹. The application of 12.0 mM of proline shows beneficial potential for biomass accumulation and stimulates gas exchange, resulting in higher net photosynthesis and transpiration in *C. chinense* plants.

Keywords: *Capsicum chinense* L.; abiotic stress; osmoprotectants.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Dados de temperatura e umidade relativa do ar na estufa durante o período experimental	54
Figura 2. Parâmetros de crescimento de plantas de pimenta biquinho cv. Iracema submetidas a diferentes níveis de condutividades elétricas da água de irrigação (CEa) e concentrações de prolina. Número de folhas (a); Peso foliar (b) sob estresse salino. Peso de folhas (c) sob aplicação de prolina. ^{ns} , *, ** não significativo, significativo a $P \leq 0,05$ e $P \leq 0,01$ pelo teste F, respectivamente	60
Figura 3. Trocas gasosas de plantas de pimenta biquinho cv. Iracema submetido a diferentes condutividades elétricas da água de irrigação (CEa) e concentrações de prolina, (a) Fotossíntese líquida (A) e transpiração (B). ^{ns} , *, ** não significativo, significativo a $P \leq 0,05$ e $P \leq 0,01$ pelo teste F, respectivamente	61
Figura 4. Trocas gasosas de plantas de pimenta biquinho cv. Iracema submetido a diferentes condutividades elétricas da água de irrigação (CEa) e concentrações de prolina . (a) Clorofila total; (b) extravasamento de eletrólitos. ^{ns} , *, ** não significativo, significativo a $P \leq 0,05$ e $P \leq 0,01$ pelo teste F, respectivamente	62
Figura 5. Produção de biomassa em plantas de pimenta biquinho cv. Iracema em resposta a diferentes condutividades elétricas da água de irrigação (CEa) e concentrações de prolina. Massa fresca da folha (a); massa fresca do caule (b) e massa fresca da raiz (c). ^{ns} , *, ** não significativo, significativo a $P \leq 0,05$ e $P \leq 0,01$ pelo teste F, respectivamente	63

Figura 6. Produção de biomassa em plantas de pimenta biquinho cv. Iracema em resposta a diferentes condutividades elétricas da água de irrigação (CEa). Massa seca do caule (a) e massa seca da raiz (b). ^{ns}, *, ** não significativo, significativo a $P \leq 0,05$ e $P \leq 0,01$ pelo teste F,

respectivamente64

Figura 7. Produção de biomassa em plantas de pimenta biquinho cv. Iracema em resposta a diferentes concentrações de prolina (mM). Massa seca do caule (a); massa seca da raiz (b) e massa seca total (c). ^{ns}, *, ** não significativo, significativo a $P \leq 0,05$ e $P \leq 0,01$ pelo teste F, respectivamente65

Figura 8. Correlação de Pearson entre crescimento, trocas gasosas e pós-colheita de *Capsicum chinense* cultivado sob diferentes condutividades elétricas da água de irrigação (CEa) e concentrações de prolina. PH = altura de plantas, SD = diâmetro do caule, LN = número de folhas, LA = área foliar, SLA = área foliar específica, LAR = razão de área foliar, LWR = razão de peso foliar, RL = comprimento de raiz, LFM = massa fresca de folhas, SFM = massa fresca de caule, RFM = massa fresca de raiz, TFM = massa fresca total, LDM = massa seca de folhas, SDM = massa seca de caule, RDM = massa seca de raiz, TDM = massa seca total, A = taxa de assimilação líquida de CO₂, gs = condutância estomática, E = transpiração, Ci = concentração interna de CO₂, WUE = eficiência instantânea no uso da água, iWUE = eficiência intrínseca no uso da água, iCE = eficiência de carboxilação, Fo = fluorescência inicial, Fm = fluorescência máxima, Fv = fluorescência variável, Fv/Fm = rendimento quântico do PSII, Fv/Fo = razão entre Fv e Fo, Chlo a = clorofila a, Chlo b = clorofila b, T chlo = clorofila total, Carot = carotenoides, EE = extravasamento de eletrólitos. ^{ns}, *, ** não significativo, significativo a $P \leq 0,05$ e $P \leq 0,01$ pelo teste F, respectivamente.

.....66

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Caracterização química do substrato	55
--	----

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL	13
2 REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1 PIMENTA (CAPSICUM CHINENSE L.)	15
2.2 PROLINA	16
2.3 INTER-RELAÇÃO ENTRE A ESTRUTURA MOLECULAR E SUAS DIVERSAS FUNÇÕES FISIOLÓGICAS NAS PLANTAS	17
2.4 PAPEL DA PROLINA NA RESPOSTA AO ESTRESSE SALINO EM PLANTAS.....	18
REFERÊNCIAS	20
ARTIGO	25
3 INTRODUÇÃO.....	52
4 METODOLOGIA.....	53
4.1 LOCAL E DELINEAMENTO EXPERIMENTAL	53
4.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL	54
4.3 MATERIAL VEGETAL	54
5 VARIÁVEIS ANALISADAS	55
5.1 CRESCIMENTO DE PLANTAS	55
5.2 TROCAS GASOSAS.....	56
5.3 TEOR RELATIVO DE ÁGUA.....	56
5.4 ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS	57
5.5 ANÁLISES ESTATÍSTICAS	58
6 RESULTADOS	59
7 DISCUSSÃO.....	67
8 CONCLUSÕES.....	69
AGRADECIMENTOS.....	69
REFERÊNCIAS.....	71

1 INTRODUÇÃO GERAL

A pimenta biquinho (*Capsicum chinense* L. – Solanaceae), também conhecida como pimenta-de-bico, é uma planta versátil que apresenta diversas propriedades comestíveis, ornamentais e medicinais. Os frutos vibrantes da pimenta biquinho, apresentam sabor adocicado, saborosos e aromáticos, sendo utilizada na ornamentação de pratos por sua ausência de pungência (Boenas et al., 2019). Além disso, seus frutos podem ser consumidos crus, cozidos e desidratados, principalmente utilizado na indústria alimentícia, para fabricação de geleias, doces, molhos, temperos e como corante e aromatizante (Acunha et al., 2017). Devido à sua ampla utilização, a pimenta biquinho tem ganhado destaque no mercado, com aumento no consumo de produtos *in natura* em todo o Brasil e relevância dos processados, como conservas, molhos e versões desidratadas, no entanto a compreensão precisa da dimensão e importância econômica desse segmento é prejudicada pela escassez de estatísticas confiáveis sobre sua produção e vendas (Henz; Ribeiro, 2008).

Cultivada globalmente, a pimenta biquinho enfrenta vários estresses abióticos que podem afetar seu crescimento e produção, incluindo temperaturas extremas, seca, salinidade, e estresse oxidativo (Sousa., 2019). As mudanças climáticas estão aumentando esses estresses em todo o mundo (Phour et al., 2020), o que representa uma ameaça significativa à segurança alimentar global, com possíveis perdas de até 50% na produtividade agrícola mundial (Kumar e Verma, 2018).

A salinidade do solo é um problema global que afeta aproximadamente 20% das áreas irrigadas. Na maioria das situações, essa condição resulta em efeitos adversos nas relações solo-água-plantas, ocasionando restrições nas atividades fisiológicas e no potencial produtivo das plantas cultivadas (Dias et al., 2016; Negrão et al., 2017). Esse desafio é comum em regiões áridas e semiáridas, sendo agravado por manejo inadequado de irrigação e drenagem, baixa precipitação, alta evaporação, uso de águas salinas e a aplicação de fertilizantes e defensivos agrícolas em quantidades inadequadas, resultando em elevada concentração de sais no solo (Castro et al., 2020).

O estresse salino resulta do estresse osmótico e iônico, causando estresse oxidativo, provocando o déficit hídrico e inibindo reações enzimáticas essenciais (Tanaka et al., 2018). A salinidade reduz a absorção de água e nutrientes, resultando em estresse osmótico, toxicidade iônica, desequilíbrios nutricionais, afetando negativamente a fotossíntese e causando danos às folhas (Hanin et al., 2016; Ilangumaran et al., 2017). Além disso, a salinidade pode levar ao

acúmulo de íons tóxicos, como sódio e cloro, que podem interferir na estrutura das membranas celulares e na atividade metabólica (Cherlinka et al, 2024).

O estresse salino e altas temperaturas reduz a produção de novas folhas e pode levar à queda prematura das folhas existentes, resultando em uma diminuição significativa da área foliar. Além disso, a redução da condutância estomática (gs) limita o influxo de CO₂ para os cloroplastos, o que acarreta menores taxas fotossintéticas e, consequentemente, na diminuição do acúmulo de biomassa pela planta, esse efeito é causado pela inibição de processos metabólicos, como a fotofosforilação, a capacidade de regeneração da ribulose-1,5-bisfosfato (RuBP), e a redução da atividade da ribulose-1,5-bisfosfato carboxilase/oxigenase (Rubisco), assim como de outras enzimas envolvidas no ciclo de Calvin (Peloso et al., 2017).

Os osmoprotetores são pequenas moléculas orgânicas que atuam como osmólitos, conferindo aos organismos, incluindo as plantas, uma maior resistência em condições de estresse osmótico, como a salinidade do solo. Esses compostos desempenham um papel essencial na manutenção do turgor celular e promovem a captação de água (Vettore et al., 2021). Além disso, possuem a capacidade de neutralizar radicais livres e eliminar espécies reativas de oxigênio, bem como estabilizar proteínas e membranas (Sousa et al., 2022). A prolina, um importante aminoácido, é um exemplo de osmoprotetor que desempenha um papel fundamental na manutenção do metabolismo e do crescimento das plantas sob condições de estresse abiótico (Ghosh et al., 2022). A prolina age como antioxidante e reguladora de sinais, desempenhando diversas funções essenciais para a adaptação das plantas ao estresse (Hosseini et al., 2022). Os solutos osmoprotetores atuam protegendo as plantas de danos oxidativos, inibindo a produção de espécies reativas de oxigênio (ROS), preservando as funções celulares das plantas, sendo uma das principais estratégias instituídas para combater o estresse abiótico, esses metabólitos, destacam-se a prolina, sacarose, polióis, trealose, glicina betaína e alanina betaína (Sharma et al., 2019). Diante desse contexto, o artigo, tem como abjetivo avaliar o efeito da aplicação de prolina no crescimento, fisiologia e nos componentes de produção e biomassa de *Capsicum chinense* sob condições de estresse salino.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 PIMENTA (*CAPSICUM CHINENSE* L.)

A pimenta biquinho (*Capsicum chinense* L.) é uma importante hortaliça pertencente à família Solanácea, rica em nutrientes, vitamina C, carotenoides e fonte de minerais (Santana et al., 2020). Apresenta colorações variando ao vermelho, salmão e amarelo. Além disso, exibem diferentes graus de pungência, podendo ser suaves, doces e aromáticas e são amplamente utilizadas na preparação de pratos, geleias e molhos devido às suas características sensoriais (Heinrich et al., 2015; Monteiro et al., 2019). Além disso, o mercado de pimenteiros tem ganhado grande importância, especialmente devido à sua gama de aplicações, que incluem o uso na medicina tradicional, na produção de fármacos e como plantas ornamentais (Magalhães et al., 2023).

De acordo com a classificação botânica do Angiosperm Phylogeny Group (APG III, 2009), o gênero *Capsicum* pertence ao Reino Plantae, Filo Tracheophyta, Divisão Magnoliophyta, Classe Magnoliopsida, Ordem Solanales, Família Solanaceae, Subfamília Solanoideae e Tribo Capsiceae. As variedades do gênero *Capsicum* incluem plantas herbáceas, arbustivas e subarbustivas, podendo atingir até 120 cm de altura. Essas plantas apresentam uma ampla formação de ramificações laterais e, sob condições adequadas, podem tornar-se perenes (Rêgo et al., 2011). As espécies possuem raízes pivotantes, caules lenhosos ou semilenhosos e folhas lanceoladas. Suas flores, geralmente estreladas, são hermafroditas, autóгамas e hipóginas (Almeida et al., 2020).

Os frutos desta espécie são pequenos, variando de 2,5 cm a 2,8 cm de comprimento e aproximadamente 1,5 cm de largura, eles podem apresentar um formato triangular pontiagudo, com um bico que dá origem ao nome vulgar (Carvalho et al., 2006). Segundo (Caldas et al., 2016), as temperaturas ideais para o bom desenvolvimento da pimenteira estão entre 21 °C e 30 °C, com médias mínimas e máximas de 18 °C e 35 °C, respectivamente, com a umidade relativa do ar ideal para cultivo de 80%.

Atualmente, a pimenta é consumida em diversas regiões do Brasil, especialmente no Sul e Sudeste, nos estados de Minas Gerais, Goiás, São Paulo, Ceará e Rio Grande do Sul (Guerra et al., 2021). Juntamente com os pimentões, foram os primeiros ingredientes utilizados pelas civilizações antigas para adicionar cor, sabor e aroma aos alimentos (Almeida et al., 2020).

Além disso, a pimenta-biquinho possui um teor de ardência zero na Escala de Scoville, oferecendo um sabor agradável e sendo benéfica para a saúde. É rica em vitaminas C, B6 e K1, além de conter minerais como cálcio, ferro, magnésio, fósforo e sódio. Com essas propriedades é considerada um bom antioxidante, ajudando a fortalecer o sistema imunológico, controlar o nível de açúcar no sangue, prevenir inflamações e diminuir dores musculares (Mendes et al., 2024).

As plantas do gênero *Capsicum* são nativas da América e incluem uma ampla diversidade de pimentas cultivadas e consumidas, como *Capsicum annuum*, *Capsicum baccatum*, *Capsicum chinense*, *Capsicum frutescens* e *Capsicum pubescens* (Aguiar et al., 2022). Devido à sua relevância mundial, a produção de *Capsicum* é expressiva, atingindo 40,9 milhões de toneladas em uma área de cultivo de 3,8 milhões de hectares, sendo os principais produtores a China (45,3%), México (8,4%), Turquia (6,3%), Indonésia (6,2%), Índia (4,6%), Espanha (3,1%), Nigéria (2,0%), Egito (1,9%), Estados Unidos (1,7%), Argélia (1,6%) e Tunísia (1,1%) (Pinto et al., 2021).

No entanto, a produção pode ser reduzida quando a planta enfrenta diferentes estresses durante sua fase de desenvolvimento, e dentre estes a salinidade encontra como um fator que diminui o rendimento, a quantidade e qualidade dos frutos e as propriedades fitoquímicas (Basílio et al., 2021).

2.2 PROLINA

A prolina é amplamente utilizada como um dos principais, desempenhando um papel essencial na sobrevivência das plantas sob condições de estresse abiótico (Ghosh et al., 2022). Além de sua função como osmoprotetor, a prolina atua como antioxidante e reguladora de sinais, cumprindo várias funções vitais que aumentam a adaptabilidade das plantas ao estresse (Sharma et al., 2019). Os mecanismos de sinalização que promovem a síntese de prolina em resposta ao estresse, especialmente à salinidade, envolvem o ácido abscísico, EROs, íons de cálcio e possivelmente outros mediadores hormonais ainda não identificados (Parkash et al., 2020).

A aplicação de compostos de baixo peso molecular, como a prolina, foi comprovada experimentalmente como uma estratégia eficaz para regular a tolerância das plantas à salinidade (Santos et al., 2024). Estes compostos desempenham um papel crucial na proteção da integridade das membranas celulares e na estabilização de enzimas e proteínas (Zhu et al., 2020). Este aminoácido atua melhorando a resistência das plantas ao estresse salino, mitigando

a toxicidade iônica e regulando a expressão de genes relacionados à homeostase iônica (Santos et al., 2023).

A prolina possui propriedades antioxidantes significativas, atuando como quelante de metais pesados, estabilizando as proteínas e eliminando as espécies reativas de oxigênio (EROS), (Hosseinifard et al., 2022; Santos et al., 2023). A aplicação exógena de prolina assegura a turgescência celular em plantas sob condições de estresse, protegendo-as contra efeitos prejudiciais. Além disso, a prolina contribui para o aumento da taxa fotossintética, transpiração e condutância estomática, promovendo o crescimento e desenvolvimento das plantas mesmo em ambientes adversos. No entanto, é importante que seu uso seja controlado para evitar efeitos tóxicos (Khalid et al., 2022; Ilyas et al., 2019).

2.3 Inter-relação entre a estrutura molecular e suas diversas funções fisiológicas nas plantas

Devido à sua estrutura cíclica e à posse de um grupo amino secundário (o grupo α -amino), a prolina se destaca como um osmoprotetor de moléculas sinalizadoras, eficazes no metabolismo primário das plantas. Pesquisadores tem buscado compreender melhor o comportamento da absorção de água e de como é feito a ativação das enzimas, uma vez que, a Prolina atua como antioxidante e evita a morte celular programada, tornando-se um elemento essencial na resposta fisiológica das plantas ao estresse (Khalid et al., 2022). Além disso, por sua capacidade de formar ligações de hidrogênio, a prolina contribui para a estabilidade das proteínas, a integridade das membranas celulares, a proteção celular, a maior absorção de água e a ativação de enzimas (Khalid et al., 2022).

Além de funcionar como um osmólito e um potente antioxidante, esse osmoprotetor desempenha papéis importantes como quelante de metais, estabilizador de proteínas e inibidor da morte celular programada (Hosseinifard et al., 2022). A aplicação exógena de prolina pode manter a turgescência celular sob condições de estresse, protegendo a planta e favorecendo seu crescimento e desenvolvimento, além de melhorar a fotossíntese, a transpiração, a condutância estomática e a atividade antioxidante. Contudo, é importante dosar corretamente seu uso para evitar possíveis efeitos tóxicos (Khalid et al., 2022; Ilyas et al., 2020).

A aplicação exógena de prolina eleva os níveis de clorofila, o conteúdo relativo de água nas plantas, a taxa de transpiração e a condutância estomática, contribuindo para a mitigação do estresse causado pela salinidade (Khalid et al., 2022). Em uma espécie de *Capsicum (frutescens)* a aplicação foliar de prolina, em mudas submetidas ao estresse salino melhorou as

características morfológicas e fisiológicas da planta, incluindo aumento no comprimento do caule e da raiz, massa seca e fresca, taxa fotossintética, taxa de transpiração e atividade de enzimas antioxidantes (Hosseinifard et al., 2022). Portanto, a aplicação foliar de prolina em culturas suscetíveis ao estresse salino promove o crescimento, além de melhorar as características físico-químicas e anatômicas das plantas, contribuindo para o estímulo das suas propriedades fisiológicas.

Além disso, a aplicação de prolina via foliar proveniente de fontes externas tem demonstrado influenciar a expressão de diversos genes relacionados às enzimas antioxidantes em situações de estresse salino. Dentre esses genes, destaca-se a 1-pirrolina-5-carboxilato sintetase, responsável por regular de forma positiva o acúmulo de prolina em resposta ao estresse salino (Kim et al., 2013). Pesquisas recentes ressaltam a importância dos tratamentos exógenos com prolina na redução do estresse provocado pela salinidade em cultivos agrícolas, resultando em benefícios para a estrutura das plantas, redução do estresse, aumento na fixação de carbono e nos teores de nitrogênio (Rady et al., 2019; Freitas et al., 2019; El Moukhtari et al., 2020; Hosseinifard et al., 2022; Orsini et al., 2018; Khalid et al., 2022).

2.4 PAPEL DA PROLINA NA RESPOSTA AO ESTRESSE SALINO EM PLANTAS

As plantas possuem mecanismos para desenvolver tolerância ao estresse salino, adaptando seu metabolismo para proteger processos celulares vitais, como a manutenção da turgidez osmótica e a transpiração (Al-shareef et al., 2019). Esses processos resultam em alterações metabólicas e promove a produção de compostos químicos como mecanismo de resposta ao estresse (Acosta-Motos et al., 2017).

O metabolismo da prolina tem o potencial de gerar espécies reativas de oxigênio (ROS), o que pode ser um estímulo para a morte celular programada em plantas, mostrando seus papéis diversos na defesa vegetal (Furlan et al., 2020). Entender a complexidade da prolina e seu metabolismo na fisiologia do estresse é fundamental, com pesquisas revelando novos conhecimentos importantes (Fichman et al., 2015).

A quantidade de prolina sob condições adversas é regulada pela transcrição dos genes P5CS e ProDH, que são modulados em resposta ao estresse abiótico. Além disso, o metabolismo da prolina é afetado por várias condições ambientais, como a luz (Alvarez et al., 2022). Esse processo envolve enzimas que catalisam a síntese e o catabolismo da prolina, além de uma via alternativa de síntese através da ornitina (Singh et al., 2017).

Ainda há uma lacuna no conhecimento sobre os efeitos da aplicação de prolina como mitigador dos impactos do estresse salino no cultivo de pimenta. No entanto, alguns estudos indicam que a prolina desempenha um papel crucial na regulação osmótica e na eliminação de espécies reativas de oxigênio (ROS) durante o estresse, inibindo danos às membranas celulares (Rasouli et al., 2022). Portanto, a realização de estudos sobre o uso de prolina como atenuante do estresse salino em pimentas (*Capsicum chinense* L.) são de grande importânci

REFERÊNCIAS

- ACOSTA-MOTOS, J. R.; ORTUÑO, M. F.; BERNAL-VICENTE, A.; DIAZ-VIVANCOS, P.; SANCHEZ-BLANCO, M. J.; HERNANDEZ, J. A. Respostas das plantas ao estresse salino: mecanismos adaptativos. **Agronomia**, v. 7, p. 1-18, 2017. Doi: <https://doi.org/10.3390/agronomy7010018>.
- AGUIAR, A. C., VIGANO, J., ANTHERO, A. G. S., DIAS, A. L. B., HUBINGER, M. D., MARTINEZ, J. Supercritical Fluids and fluid mixtures to obtain high-value compounds from *Capsicum peppers*. Homepage (2022), [S. l.], p. 1-14. DOI <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2022.100228>.
- ALMEIDA, B., SILVA, V. B., LOPES, Â. C. A., GOMES, R. L. F. Pimentas *Capsicum Apicum* l.: Aspectos botânicos, centro de origem, diversificação e domesticação, importância socioeconômica e propriedade terapêuticas (parti I). As Vicissitudes da Pesquisa e da Teoria nas Ciências Agrárias, (2020) p. 33-47, 1. DOI 10.22533/at.ed.5252004114.
- ALVAREZ, M. E.; SAVOURÉ, A.; SZABADOS, L. Proline metabolism as regulatory hub. **Trends in Plant Science**, v.27, p. 39–55, 2022. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2021.07.009>.
- AL-SHAREEF, N., OWDAH AND T. M., Plant Salinity Tolerance. In: eLS. John Wiley & Sons, Ltd: Chichester (2019). DOI: 10.1002/9780470015902.a0001300.pub3
- APG III: An update of the angiosperm phylogeny group classification for the orders and families of flowering plants: APG III. Botanical Journal of the Linnean Society, v.161, p. 105-121., Botanical Journal of the Linnean Society, Volume 161, Issue 2, 2009, Pages 105–121 <https://doi.org/10.1111/j.1095-8339.2009.00996.x>
- BASÍLIO, A. G. S., DIAS, T. J., MEDEIROS, W. J. F., SANTOS, L. W. O., TARGINO, V. A., HENSCHER, J. M. Respostas de pigmentos fotossintéticos em plantas de *Capsicum chinense* ao estresse salino (2021). VII Inovagri International Meeting e XXX CONIRD.
- BAENAS, N., BELOVIĆ, M., ILIC, N., MORENO, D.A., GARCÍA C. Viguera. Industrial use of pepper (*Capsicum annum* L.) derived products: Technological benefits and biological advantages; Food Chemistry, (2019), ISSN 0308-8146, <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.09.047>.
- CALDAS, A. L. D.; LIMA, E. M. C.; CARVALHO, J. A.; REZENDE, F. C. Manejo da irrigação em diferentes fases fenológicas da pimenta cayenne cultivada em ambiente protegido. Revista Brasileira de Agricultura Irrigada, [s. l.], 16 fev. 2016. DOI 10.7127/rbai.v10n200403.

CARVALHO, S. I. C; BIANCHETTI, L. B; RIBEIRO, C. S. C; LOPES, C. A. Pimentas do gênero *Capsicum* no Brasil. Brasília: Embrapa Hortaliças, 27p.2006.

CASTRO, F. C., SANTOS, A. M. Salinidade do Solo e Risco de Desertificação Na Região Semiárida. **SciELO**, 2020. DOI <https://doi.org/10.4215/rm2020.e19002>.

CHERLINKA, Vasyl. Salinização Do Solo: Como Preveni-la E Geri-la. **EOS Data Analytics**, 2024. Disponível em: <https://eos.com/pt/blog/salinizacao-do-solo/>.

DIAS, N.S., BLANCO, F. F., SOUZA, E.R., FERREIRA, J. F. S., NETO, O. N. S., QUEIROZ, I. S. R. Tolerância das plantas à salinidade: efeitos dos sais na planta e tolerância das culturas à salinidade. In: GHEYI, H.R. et al. Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados. 2. ed. Fortaleza, CE: INCTSal, 2016.

EL MOUKHTARI, A., CABASSA-HOUTON, C., FARISSI, M., SAVOURÉ, A. How does proline treatment promote salt stress tolerance during crop plant development. **Frontiers in plant science**, v.11, p.1127. 2020. Doi: <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.01127>.

FICHMAN, Y., GERDES, S.Y., KOVÁCS, H., SZABADOS, L., ZILERSTEIN, A., CSONKA, L. N. Evolution of proline biosynthesis: enzymology, bioinformatics, genetics, and transcriptional regulation. **Biological Reviews**, v.90, p.1065–1099, 2015. Doi: <https://doi.org/10.1111/brv.12146>.

FREITAS, P. F., CARVALHO, H. H., COSTA, J. H., MIRANDA, R. D. S., SARAIVA, K. D. C., OLIVEIRA, F. B. Salt acclimation in sorghum plants by exogenous proline: physiological and biochemical changes and regulation of proline metabolism. **Plant cell reports**, v.38, p. 403–416, 2019. Doi: <https://doi.org/10.1007/s00299-019-02382-5>.

FURLAN, A. L., BIANUCCI, E., GIORDANO, W., CASTRO, S., BECKER, D. F. Proline metabolic dynamics and implications in drought tolerance of peanut plants. **Plant physiology and biochemistry**, v. 151, p. 566–578, 2020. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2020.04.010>.

GUERRA, A. M. M., EVANGELISTA, R. S., SILVA, M. G. M., SANTOS, D. S., SANTOS, L. B., SANTOS, P. Produção de pimenta de cheiro em diferentes volumes de vaso. *Brazilian Journal of Development*, (2021). [S. l.], p. 1-17. DOI 10.34117/bjdv7n10-412.

GHOSH, K., ISLAM, N., SIDDIQUI, N., CAO, X., KHAN, R. Proline, a multifaceted signalling molecule in plant responses to abiotic stress: understanding the physiological mechanisms. **Plant Biology**, v. 24, p. 227–239, 2022. Doi: <https://doi.org/10.1111/plb.13363>.

HANIN, M., EBEL, C., NGOM, M., LAPLAZE, L., MASMOUDI, K. New insights on plant salt tolerance mechanisms and their potential use for breeding. **Frontiers in Plant Science**, v. 7, p. 1787, 2016. Doi: <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01787>.

HEINRICH, A. G., FERRAZ, R. M., RAGASSI, C.F., REIFSCHNEIDER, F. J. Caracterização e avaliação de progênies autofecundadas de pimenta biquinho salmão **SciELO**, (2015) [S. l.], p. 1-6, 1 DOI <https://doi.org/10.1590/S0102-053620150000400010>.

HENZ, G. P.; RIBEIRO, C. S. C. Mercado e Comercialização. In: PIMENTAS Capsicum. [S. l.: s. n.], 2008. Disponível em: file:///C:/Users/maria/Downloads/Pimentas-Capsicum.pdf. Acesso em: 4 dez. 2024.

HOSSEINIFARD, M., STEFANIAK, S., GHORBANI, J. M., SOLTANI, E., WOJTYLA, L., GARNCZARRSKA, M. Contribution of Exogenous Proline to Abiotic Stresses Tolerance in Plants: A Review. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 23, p. 51-86, 2022, Doi: <https://doi.org/10.3390/ijms23095186>.

ILANGUMARAN, G., SMITH, D. L. Plant growth promoting rhizobacteria in amelioration of salinity stress: a systems biology perspective. **Frontiers in Plant Science**, v. 8, p. 17-68, 2017. Doi: <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01768>.

ILAS, N., AMJID, W., SALEEM, M. A., KHAN, W., WATTOO, F. M., RANA, R. M. Quantitative trait loci (QTL) mapping for physiological and biochemical attributes in a Pasban90/Frontana recombinant inbred lines (RILs) population of wheat (*Triticum aestivum*) under salt stress condition. **Saudi journal of biological sciences**, v. 27, p. 341–351, 2020. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2019.10.003>.

KHALID, M., REHMAN, H. M., AHMED, N., NAWAZ, S., SALEEM, F., AHMAD, S., UZAIR, M., RANA, I. A., ATIF, R. M., Zaman, Q. U. Using Exogenous Melatonin, Glutathione, Proline, and Glycine Betaine Treatments to Combat Abiotic Stresses in Crops. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 23, p. 129, 2022. Doi: <https://doi.org/10.3390/ijms232112913>.

KIM, G. B., NAM, Y.W. A novel 1-pyrroline-5-carboxylate synthetase gene of *Medicago truncatula* plays a predominant role in stress-induced proline accumulation during symbiotic nitrogen fixation. **Journal of plant physiology**, v.170, p. 291–302, 2013. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2012.10.004>.

KUMAR, A., VERMA, J. P. Does plant-microbe interaction confer stress tolerance in plants: a review, **Microbiological Research**, v. 207, p. 41–52, 2018. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.micres.2017.11.004>.

MAGALHÃES, L. O., LIMA, L. O., MORAIS, G. C., SILVA, M. R., SILVA, R. N. O. Comercio e uso de pimenteiras (*Capsicum spp.*, SOLANACEAE) no município de floriano (PI). *Acta Ambiental Catarinense*. (2023) DOI: <http://dx.doi.org/10.24021/raac.v20i1.6365>.

MENDES, E. C., MODESTO, A. O., SILVA, F. B., BORGES, D. F. Avaliação agronômica de mudas de pimenta biquinho (*Capsicum chinense*) em diferentes substratos. *Open Journal Systems*, [S. l.], p. 1-12, 3. (2024) .Disponível em: <https://www.revistas.fucamp.edu.br/index.php/getec/article/view/3369>.

MONTEIRO, S. S., MONTEIRO, S. S., BARROS, S. L., SANTOS, N. C., CRUZ, O. N. Influência da composição na elaboração da geleia de pimenta biquinho enriquecida com farinha de maracujá. IV congresso internacional das ciências agrárias, [S. l.]. (2019). <https://doi.org/10.31692/2526-7701.IVCOINTERPDVAgro.2019.0112>

NEGRÃO, S., SCHMOCKEL, S. M., TESTER, M. Evaluating physiological responses of plants to salinity stress. **Annals of Botany**, v. 119, p. 1–11, 2017. Doi: <https://doi.org/10.1093/aob/mcw191>.

OESINI, F., PENNISI, G., MANCARELLA, S., AL NAYET, M., SANOUBAR, R., NICOLA, S., GIANQUINTO, G. Hydroponic lettuce yields are improved under salt stress by utilizing white plastic film and exogenous applications of proline. **Scientia Horticulturae**, v. 233, p. 283–293, 2018. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.01.019>.

PARKASH, V., SINGH, S. A. Review on potential plant-based water stress indicators for vegetable crops. **Sustainability**, v. 12, p. 3945, 2020. Doi: <https://doi.org/10.3390/su12103945>.

PELOSO, A.F., TATAGIBA, S.D., REIS, E.F., PEZZOPANE, J.E.M., AMARAL, J.F.T. Limitações fotossintéticas em folhas de café arábica promovidas pelo déficit hídrico. **Coffee Science - ISSN 1984-3909**, [S. l.], v. 12, n. 3, p. 389–399, 2017. Disponível em: <https://coffeescience.ufla.br/index.php/Coffeescience/article/view/1314>.

PINTO, C. M. F., DONZELE, S. M. L. Diversidade das pimentas *Capsicum*. **Campo. & negócios**, [S. l.], p. (2021) Disponível em: <https://revistacampoenegocios.com.br/pimentas-capsicum/>.

PHOUR, M., SINDHU, S. S. Amelioration of salinity stress and growth stimulation of mustard (*Brassica juncea* L.) by salt-tolerant *Pseudomonas* species. **Applied Soil Ecology**, v. 149, p. 103–118, 2020. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2020.103518>.

RASOULI, F., ASADI, M., HASSANPOURAGHDAM, M.B., AAZAMI, M.A., EBRAHIMZADEH, A., KAKAEI, K., DOKOUPIL, L., MLCEK, J. Foliar Application of ZnO-NPs Influences Chlorophyll Fluorescence and Antioxidants Pool in *Capsicum annum* L. under Salinity. *Horticulturae* 2022, 8, 908. (2022) <https://doi.org/10.3390/horticulturae8100908>.

RÊGO, E. R., FINGER, F. L., RÊGO, M. M., Produção, genética e melhoramento de pimentas (*Capsicum spp.*). [S. l.: s. n.], 2011. ISBN 978-85-64778-00-9.

SANTANA, S. R., SILVA, D. J., BHERING, L. L., GOMES, R. S., ROSADO, R. D., LIMA, P. C., Analysis of agronomic and chemical- Analysis of agronomic and chemical-nutritional variability of fruits in nutritional variability of fruits in Amazon germplasm of *Capsicum chinense*. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, [S. l.], p. 1-17. (2020) DOI 10.15835/48412043.

SANTOS, L. F. S., LIMA, G. S., LIMA, V. L. A., SILVA, A. A. R., SOARES, L. A. A., NÓBREGA, J. S., CAPITILINO, J. D., BORBOREMA, L. D. A., SOUZA, A. R., CAETANOL, E. J. M. Foliar application of proline on the mitigation of salt stress in the physiological indices of sour passion fruit. *SEMINA* [S. l.], p. 1-24. (2023). DOI 10.5433/1679-0359.2023v44n5p1637.

SANTOS, L. F., LIMA, G. S., SILVA, A. A., FATIMA, R. T., ARRUDA, T. F. L., SOARES, L. A. A., CAPITULINO, J. D. Proline on the induction of tolerance of sour passion fruit

seedlings to salt stress. *Revista Caatinga*.(2024) DOI <http://dx.doi.org/10.1590/1983-21252024v37i12048rc>.

SHARMA, A., SHAHZAD, B., KUMAR, V., KOHLI, K., SIDHU, S., BALI, S., ZHENG, B. Phytohormones regulate accumulation of osmolytes under abiotic stress. **Biomolecules**, v. 9, p. 285, 2019. Doi: <https://doi.org/10.3390/biom9070285>.

SINGH, A., SHARMA, M. K., SENGAR, R.S. Osmolytes: Proline metabolism in plants as sensors of abiotic stress. *Journal of Applied and Natural Science*. (2017). 9, 2079–2092. <https://doi.org/10.31018/jans.v9i4.1492>

SINGH, A., SHARMA, M. K., SENGAR, R. S. Osmolytes: Proline metabolism in plants as sensors of abiotic stress. **Journal of Applied and Natural Science**, v. 9, p. 2079–2092, 2017. Doi: <https://doi.org/10.31018/jans.v9i4.1492>.

SOUSA, V. O. Efeito da adubação silicatada em pimenteira sob estresse salino. **Meio Ambiente** , [s. l.], 2019. DOI ISSN: 2675-3065. Disponível em: <file:///C:/Users/maria/Downloads/35-117-1-PB.pdf>.

SOUSA, V. F. O., DIAS, T. J., HENSCHER, J. M., JÚNIOR, S. O. M., BATISTA, D. S., LINNÉ, J. A., TARGINO, V.A., SILVA, R. F. Castor bean cake increases osmoprotection and oil production in basil (*Ocimum basilicum*) under saline stress. *Scientia Horticulturae* , [s. l.], 2022. DOI 10.1016/j.scienta.2022.111687.

TANAKA, H., YAMADA, S., MASUNAGA, T., YAMAMOTO, S., TSUJI, W., MURILLO-AMADOR, B. Comparação da absorção de nutrientes e resposta antioxidante entre quatro espécies de ervas Labiatae sob condições de estresse salino. *Soil Science and Plant Nutrition* , (2018). <https://doi.org/10.1080/00380768.2018.1492334>

VETTORE, L. A, WESTBROOK, R. L, TENNANT, D. A. Metabolismo da prolina e redox; mantendo um equilíbrio na saúde e na doença. *Amino Acids* **53** , 1779–1788 (2021). <https://doi.org/10.1007/s00726-021-03051-2>.

ZHU, Y., JIANG, X., ZHANG, J., ELE, Y., ZHU, X., ZHOU, X., GONG, H., YIN, J., LIU, Y. Silicon confers cucumber resistance to salinity stress through regulation of proline and cytokinins. Elsevier, [S. l.], (2020). DOI 10.1016/j.plaphy.2020.09.014.

ARTIGO**CRESCIMENTO E TROCAS GASOSAS DE (*Capsicum chinense* L.) SUBMETIDOS
À CONCENTRAÇÕES DE PROLINA E SALINIDADE**

RESUMO

Capsicum chinense L. (Solanácea), também conhecida como pimenta biquinho, é amplamente cultivada e consumida em diversas partes do mundo, é uma cultura de grande importância econômica e nutricional. No entanto, seu cultivo tem enfrentado alguns entraves, principalmente associados ao aumento da salinidade do solo e da água em regiões semiáridas. A salinidade pode prejudicar o crescimento das plantas, afetar a absorção de nutrientes e comprometer a qualidade dos frutos. Para enfrentar esses desafios, o uso de osmoprotetores tem ganhado destaque na agricultura. A prolina, um aminoácido que atua como um osmoprotetor eficaz, desempenha um papel crucial na adaptação das plantas ao estresse salino. Sua síntese é estimulada em condições adversas e contribui para a manutenção da integridade celular, equilibrando a pressão osmótica e protegendo as células dos danos oxidativos. Este estudo tem como objetivo avaliar os efeitos da aplicação de prolina na mitigação dos danos provocados pelo estresse salino no crescimento e na fisiologia de pimenta biquinho. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado em um esquema fatorial 5 (condutividades elétricas – ECw: 0,5; 1,50; 3,00; 4,50 dS m⁻¹) × 5 (concentrações de prolina – Pro: 0; 4; 8; 10; 12 mM), com seis repetições. Foram avaliados crescimento, trocas gasosas, índice de clorofila, fluorescência da clorofila *a*, massa fresca e seca de folhas, caule e raiz, número e massa de frutos, compostos fenólicos, açúcares redutores e solúveis. A aplicação de prolina foi benéfica nas plantas de pimenta, aumentando o peso das folhas e a massa fresca das raízes. A concentração de 12,0 mM associada à salinidade moderada da água de irrigação a 1,50 dS m⁻¹ estimulou as trocas gasosas, resultando em maior fotossíntese líquida e transpiração nas plantas de pimenta. Houve um aumento no peso e na massa fresca das raízes (41,92 g planta⁻¹) alcançados com uma concentração de prolina de 12,0 mM sob irrigação com águas a 4,50 dS m⁻¹. A aplicação de 12,0 mM de prolina apresenta potencial benéfico para o acúmulo de biomassa e estimula as trocas gasosas, resultando em maior fotossíntese líquida e transpiração em plantas de pimenta.

Palavras-chave: pimenta; estresses abióticos; osmoprotetores.

ABSTRACT

Capsicum chinense L. (Solanaceae), also known as biquinho pepper, is widely cultivated and consumed in various parts of the world, and it is a crop of great economic and nutritional importance. However, its cultivation has faced some challenges, mainly associated with the increasing salinity of soil and water in semi-arid regions. Salinity can impair plant growth, affect nutrient absorption, and compromise fruit quality. To tackle these challenges, the use of osmoprotectants has gained prominence in agriculture. Proline, an amino acid that acts as an effective osmoprotectant, plays a crucial role in plants' adaptation to salt stress. Its synthesis is stimulated under adverse conditions and contributes to maintaining cell integrity by balancing osmotic pressure and protecting cells from oxidative damage. This study aims to evaluate the effects of proline application in mitigating damage caused by salt stress on the growth and physiology of biquinho pepper. The experimental design used was completely randomized in a factorial scheme 5 (electrical conductivities – EC_w: 0.5; 1.50; 3.00; 4.50 dS m⁻¹) × 5 (proline concentrations – Pro: 0; 4; 8; 10; 12 mM), with six repetitions. Growth, gas exchange, chlorophyll index, chlorophyll a fluorescence, fresh and dry mass of leaves, stem, and root, number and mass of fruits, phenolic compounds, reducing sugars, and soluble sugars were evaluated. The application of proline was beneficial for the pepper plants, increasing leaf weight and fresh root mass. The concentration of 12.0 mM combined with moderate salinity of irrigation water at 1.50 dS m⁻¹ stimulated gas exchange, resulting in higher net photosynthesis and transpiration in pepper plants. There was an increase in weight and fresh mass of roots (41.92 g plant⁻¹) achieved with a proline concentration of 12.0 mM under irrigation with water at 4.50 dS m⁻¹. The application of 12.0 mM of proline shows beneficial potential for biomass accumulation and stimulates gas exchange, resulting in greater net photosynthesis and transpiration in pepper plants.

Keywords: pepper; abiotic stress; osmoprotectants.

3 INTRODUÇÃO

A pimenta biquinho (*Capsicum chinense* Jacq.) é uma planta versátil e amplamente reconhecida por suas propriedades comestíveis, medicinais e cosméticas (Oliveira et al., 2020). Com cores vibrantes que variam entre vermelho, salmão e amarelo, esses frutos possuem um sabor agradável e são amplamente utilizados *in natura*, além de serem ingredientes populares em temperos, geleias e molhos (Monteiro et al., 2019; Rosário et al., 2021). Além disso, a pimenta biquinho é rica em vitaminas C, B6 e K1, bem como em minerais como cálcio, ferro, magnésio, fósforo e sódio (Mendes et al., 2024).

As pimentas apresentam diversas substâncias benéficas à saúde humana, destacando-se por sua elevada capacidade antioxidante, propriedades antidiabéticas, efeitos cardioprotetores e atividade anti-inflamatória (Rosário et al., 2021). Estudos demonstram que a inclusão de pimentas na dieta pode não apenas melhorar o sabor dos alimentos, mas também potencializar suas propriedades nutricionais. Nos últimos anos, a comercialização dessas especiarias tem crescido significativamente, contribuindo para a economia local e criando oportunidades para pequenos agricultores (Pereira et al., 2021).

A salinidade influencia vários processos metabólicos comprometendo as trocas gasosas, a absorção de nutrientes e o equilíbrio osmótico (Alavi et al., 2020). Esses efeitos são decorrentes da redução na disponibilidade de água ocasionando alterações na atividade enzimática e o surgimento de estresse oxidativo, provocado pelo aumento das espécies reativas de oxigênio (ROS) e pela toxicidade iônica, principalmente em relação aos íons Na^+ e Cl^- (Faghieh et al., 2019; Silva et al., 2019).

A procura por soluções para amenizar o estresse salino nas plantas está em constante crescimento, destacando-se o uso de prolina. A prolina, é um aminoácido cíclico que possui baixo peso molecular, sendo um osmoprotetor com eficácia na regulação da tolerância à salinidade em plantas, protegendo integridade das membranas e estabilizando enzimas e proteínas (Zhu et al., 2020). Além disso, a prolina exerce um efeito protetor sobre fosfolipídios, plasmalema, mitocôndrias e membranas plastídicas (Khalid et al., 2022).

A aplicação exógena de prolina pode ajudar as plantas a se desenvolverem e melhorar suas atividades fisiológicas, estimular o sistema de enzimas antioxidantes e aumentar os efeitos da clorofila total (Santos et al., 2023). Sua aplicação tem demonstrado grande potencial para atenuar os efeitos do estresse salino em diversas culturas agrícolas (Ojewumi et al., 2022). Entretanto, seus efeitos em pimenta biquinho ainda continua sendo investigados.

Diante do atual cenário de mudanças climáticas e da diminuição da disponibilidade hídrica para a agricultura, a necessidade do uso de águas salinas na irrigação está se tornando cada vez mais urgente. Assim, este estudo examina a hipótese de que a aplicação exógena de prolina reduz os efeitos do estresse salino da pimenta biquinho, melhorando também a qualidade fisiológica e fitoquímica de suas plantas. Diante desse contexto, esse trabalho teve como objetivo avaliar o efeito da aplicação de prolina no crescimento, trocas gasosas e qualidade fitoquímica da pimenta biquinho.

4 METODOLOGIA

4.1 LOCAL E DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, localizada na área experimental do Setor de Biotecnologia e Melhoramento Vegetal do Departamento de Biociências do Centro de Ciências Agrárias, da Universidade Federal da Paraíba, Areia, Paraíba, Brasil, cujas coordenadas geográficas são 6°57',48" S e 35°41',30" O, com altitude de 618 m. De acordo com a classificação de Köppen, o clima local é do tipo 'As' com período de estiagem seco e quente e chuvas no inverno (Alvares et al., 2013).

Durante o experimento (agosto a outubro de 2023), foram registradas as temperaturas mínimas e máximas diárias e a umidade relativa do ar utilizando um termo-higrômetro digital (AKSO® AK28new) (Figura 1).

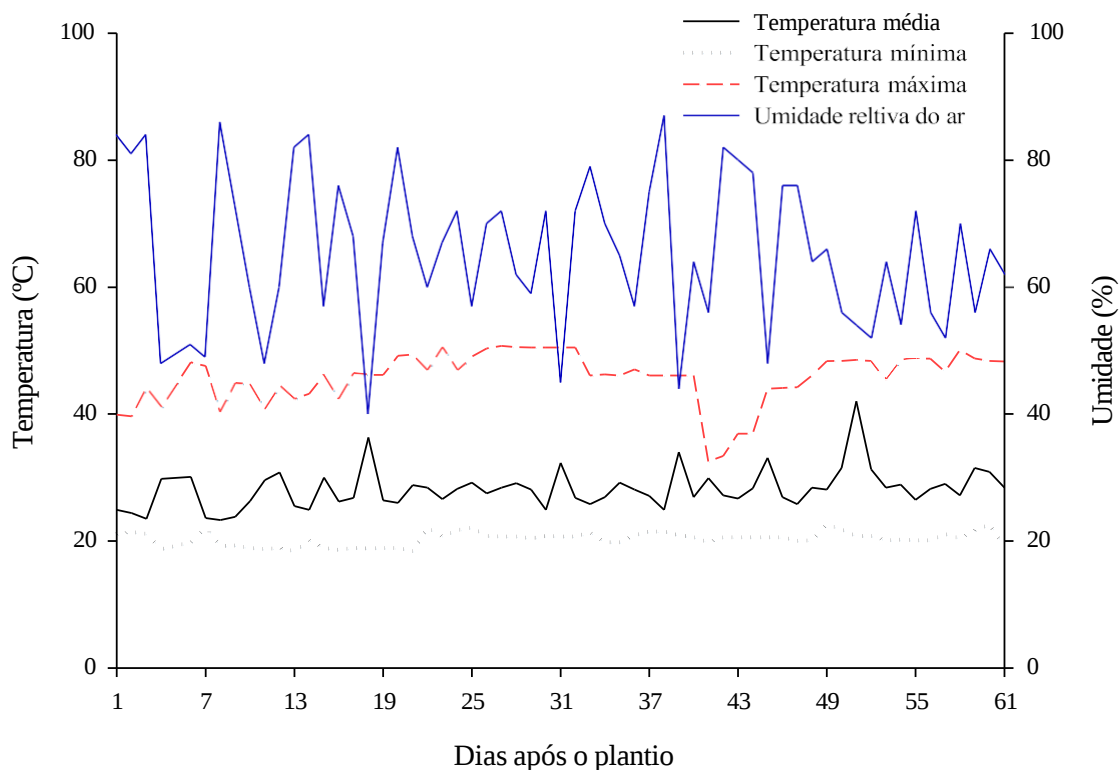


Figura 1. Dados de temperatura e umidade relativa do ar durante o período experimental.

4.2 Delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado em esquema fatorial 4 (condutividades elétricas – CEa: 0,5; 1,50; 3,00; 4,50 dS m⁻¹) x 5 (concentrações de prolina – Pro: 0; 4; 8; 10; 12 mM), com seis repetições.

4.3 MATERIAL VEGETAL

As mudas foram produzidas em vasos de polietileno com capacidade de 5,0 dm³. As sementes de pimenta biquinho (*Capsicum Chinese*, cv. Iracema – Isla®) foram semeadas duas sementes por vaso, a uma profundidade de aproximadamente 2 cm. O desbaste foi realizado aos 10 dias após a semeadura (DAS), mantendo-se a planta mais vigorosa por vaso. O substrato utilizado foi o Mecplant® (Telêmaco Borba, Paraná, Brasil), que é composto por 60% de casca de pinus, 15% de vermiculita de grau fino, 15% de vermiculita superfina e 10% de húmus. A caracterização química do substrato utilizado está apresentada na Tabela 1.

Tabela 1. Caracterização química do substrato utilizado no experimento:

	P	Na	H+Al	Al	Ca	Mg	K	C
pH (H ₂ O, 1:2,5)	mg kg ⁻¹	cmol _c kg ⁻¹						g kg ⁻¹
5.00	233.27	14.69	20.62	0	8.9	8.9	97.59	35.25

P and K- Extração Mehlich; C- Carbono; Al, Ca e Mg- KCL; H⁺Al- Acetato de cálcio.

Antes da aplicação com as águas salinas, realizou-se uma padronização para altura, diâmetro na altura do colo e dois pares de folhas, para reduzir a heterogeneidade do experimento durante o estabelecimento da cultura, produção e qualidade dos frutos. As águas salinas foram preparadas adicionando cloreto de sódio (NaCl) na água até atingirem as condutividades elétricas estabelecidas, utilizando um condutivímetro portátil modelo microprocessado Instrutherm® (modelo CD-860) para a determinação dos valores. A partir dos 15 DAS, a irrigação com águas salinas foi realizada de forma manual conforme a necessidade hídrica das plantas que foi estabelecida pelo método de lisimetria de drenagem (Henschel et al., 2022).

As soluções de prolina foram preparadas em água destilada, como surfactante para aumentar a absorção pelas plantas. A prolina foi aplicada via foliar a cada 10 dias após a irrigação com águas salinas (25, 35, 45 e 55 dias), de acordo com as doses estabelecidas. As aplicações foram feitas com o auxílio de um borrifador manual, onde o produto foi distribuído nas superfícies adaxiais e abaxiais das folhas. Na primeira aplicação, todas as plantas foram pulverizadas com 2,5 mL, na segunda aplicação com 4,0 mL, na terceira com 5,5 mL e na quarta aplicação com 7,5 mL de cada solução, totalizando 19,5 mL por planta durante o período experimental.

5 VARIÁVEIS ANALISADAS

5.1 CRESCIMENTO DE PLANTAS

As variáveis de crescimento e fisiologia foram determinadas aos 60 dias após o início da irrigação com águas salinas. Para as variáveis de crescimento, foram avaliadas a altura de plantas, medindo da base do solo até a última incisão foliar da planta, a medição foi feita com o auxílio de uma régua graduada e os valores expressos em cm. O diâmetro do caule foi mensurado com o auxílio de um paquímetro digital e os valores expressos em mm; e o número de folhas foi determinado com a contagem de todas as folhas por planta. O comprimento da raiz foi obtido medindo a distância entre a superfície do caule e a parte mais alta da raiz com uma régua graduada, com valores expressos em cm.

5.2 TROCAS GASOSAS

As trocas gasosas foram determinadas com um analisador de gás infravermelho (IRGA, LCpro-SD Portable Photosynthesis System, ADC BioScientific, Hoddesdon, ENG). As medições foram realizadas das 8 às 10 horas da manhã, utilizando luz artificial fixa em $1000 \mu\text{mol de fótons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, $385 \mu\text{mol de concentração de CO}_2$ e temperatura ambientes. A condutância estomática ($g_s - \text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), fotossíntese líquida ($A - \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), transpiração ($E - \text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), eficiência no uso da água ($\text{EUA} = A/E$), eficiência intrínseca no uso da água ($\text{EiUA} = A/g_s$), concentração de carbono interno ($C_i - \mu\text{mol CO}_2 \text{ mol ar}^{-1}$), déficit de pressão de vapor ($\text{DPV} - \text{DPV}_{\text{folha-ar}}$), e eficiência da carboxilação instantânea ($\text{EiC} = A/C_i$) foram avaliados em folhas localizadas no terço médio.

A fluorescência inicial (F_0), máxima (F_m) e variável (F_v) e o rendimento quântico do fotossistema II (F_v/F_m) foram medidos entre 8h e 11h, utilizando um fluorômetro modulado (modelo OptiSciences Inc.- modelo OS-30p, Hudson, USA.), em uma folha no terço médio por planta, pré-adaptadas ao escuro por 30 minutos. Os índices de clorofila *a*, *b* e total foram medidos na terceira folha a partir do ápice de cada planta com um clorofilômetro digital (ClorofiLOG[®], modelo CFL 1030, Porto Alegre, RS).

No final do experimento, aos 90 DAS, as plantas foram colhidas e particionadas em raiz, folhas e caule. A massa fresca das plantas foi determinada com o auxílio de uma balança analítica de precisão 0,001 g, em seguida as partes das plantas foram acondicionada em sacos de papel tipo Kraft e submetidas à estufa com circulação forçada de ar a uma temperatura de 65 °C até atingir peso constante. A massa seca da planta foi mensurada com uma balança analítica de precisão (0,001 g).

5.3 TEOR RELATIVO DE ÁGUA

O teor relativo de água (TRA) foi calculado de acordo com a metodologia descrita por Irigoyen et al., (1992). Determinado a partir de 10 discos foliares com 0,5 cm de diâmetro cada, coletados de folhas completamente expandidas. Os discos foram pesados em balança de precisão imediatamente após a coleta para obter a massa fresca (MF). Em seguida, os discos foram transferidos para placas de Petri, onde permaneciam submersos em água por seis horas. Após esse período, os discos foram pesados novamente para determinação da massa túrgida

(MT) e, posteriormente, foram secos a 70 °C por 72 horas para obtenção da massa seca (MS).

O TRA foi calculado usando a fórmula:

$$\text{TRA (\%)} = (M_F - M_S) / (M_T - M_S) \times 100$$

Sendo: TRA= Teor relativo de água;

M_F = massa fresca dos discos;

M_T = massa túrgida dos discos;

M_S = massa seca dos discos.

5.4 ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS

No Laboratório de Fisiologia Pós-Colheita – CCHSA/UFPB, foram realizadas as análises físico-químicas das folhas, tais como: pH, acidez, sólidos solúveis (expressos em °Brix), vitamina C, compostos fenólicos totais, açúcares redutores e não redutores (Henrique, et al., 2018). A acidez titulável (% de ácido cítrico) foi determinada pela diluição de 10 g de polpa das folhas em 50 mL de água destilada. A solução foi então titulada com solução de NaOH 0,1 N até a coloração róseo claro. Os resultados foram expressos em percentagem de ácido cítrico, de acordo com o método do Instituto Adolfo Lutz (IAL 2008).

A determinação de pH foi realizada pesando 10 g de amostra da folha macerada e adicionado 50 mL de água destilada. A solução foi então medida com um potenciômetro digital (HANNA, Singapura), de acordo com o método da Association of Official Analytical Chemists - AOAC (2005). O teor de sólidos solúveis (%) foi avaliado após a maceração da amostra em um multiprocessador. Uma gota da polpa triturada foi colocada em um refratômetro e os resultados foram expressos em °Brix, conforme o Instituto Adolfo Lutz - IAL (2008). A quantidade de vitamina C total (mg 100 g⁻¹ de folhas) foi determinada por espectrofotometria, com leitura a 520 nm, de acordo com o método de Person et al., (1976).

A quantidade de açúcares redutores foi determinada pelo método de ácido 3,5-dinitrosalicílico (DNS), descrito por Miller et al., (1959). O extrato foi preparado diluindo 1 g de polpa em 50 mL de água destilada. Uma alíquota de 0,8 mL do extrato foi misturada a 0,7 mL de água e a 1,0 mL da solução de ácido dinitrosalicílico para obtenção das amostras. As amostras foram agitadas e mantidas em banho-maria a 100 °C por 5 minutos. A curva padrão foi preparada com glicose e as leituras das amostras foram feitas em espectrofotômetro a 450 nm. A quantidade de açúcares não-redutores foi calculada pela diferença entre a quantidade de

açúcares totais e a quantidade de açúcares redutores. Para determinar a quantidade de açúcares totais ($\text{g } 100\text{g}^{-1}$ de folhas), foi utilizado o método de antrona, conforme metodologia descrita por Yemn e Willis (1954). O extrato foi obtido diluindo 0,5 g de folhas em 100 mL de água destilada. As amostras foram preparadas em banho de gelo, adicionando-se 200 μL do extrato, 800 μL de água destilada e 2,0 mL da solução de antrona 0,2%. Em seguida, as amostras foram agitadas e mantidas em banho-maria a 100 °C por 8 minutos. A leitura das amostras de folhas foi realizada em espectrofotômetro a 620 nm, utilizando-se a glicose como referência para a obtenção da curva padrão.

A vitamina C total ($\text{mg } 100\text{g}^{-1}$ de folhas de pimenta) foi determinada segundo Person (1976). Os fenólicos totais foram determinados pelo método espectrofotométrico de Folin-Ciocalteau et al. (1927). As leituras de absorbância foram realizadas em comprimento de onda de 760 nm e os resultados expressos em miligramas de equivalente de ácido gálico (EAG) por grama de amostra.

A extração e quantificação de clorofilas foi determinado conforme a metodologia proposta por Santos et al., (2008). Foram coletados cinco discos foliares (1 cm de diâmetro cada) e incubadas em 5 mL de DMSO. As amostras foram mantidas no escuro por 48h em temperatura ambiente. Após a incubação, foi determinada a absorbância das amostras (480, 649 e 665 nm), utilizando cubeta de vidro de 10 mm de caminho ótico, em espectrofotômetro. Os comprimentos de ondas e as equações para o cálculo das concentrações de clorofilas *a*, *b* e carotenoides são baseados no método descrito por Wellburn (1994).

O extravasamento de eletrólitos (*EE*) foi determinado conforme a metodologia descrita por Bajji et al., (2002), com adaptações. Foram coletados 10 discos foliares por indivíduo, sendo acondicionados em tubos de ensaio contendo água destilada e levados ao laboratório. Após coletados, os discos foram lavados e mantidos em tubos de ensaio com tampa contendo 40 mL de água destilada. As amostras foram mantidas a 25 °C por 6 horas, sob agitação ocasional. Após esse período, foi determinado a condutividade elétrica inicial (CE_1) do extrato por meio de um condutivímetro portátil (CD-880, Instrutherm). Posteriormente, os tubos foram mantidos em banho maria a 90 °C por 2 horas e, em seguida, determinada a condutividade elétrica final (CE_2) do extrato. O extravasamento de eletrólitos foi expresso em porcentagem e calculado através da fórmula $(\text{EE } (\%) = (\text{CE}_1/\text{CE}_2) \times 100)$.

5.5 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância ($p \leq 0,05$) e, quando significativos, foi realizada a análise de regressão. Os dados foram processados no programa estatístico R (Core Team, 2020). Os gráficos foram confeccionados no Software Sigma Plot® 12.5 (Systat Software, San Jose, CA, EUA).

6 RESULTADOS

A presença da salinidade na água de irrigação teve um impacto negativo no crescimento das plantas de pimenta biquinho. Foi observada uma redução linear no número de folhas conforme incremento na quantidade de sais adicionados à água de irrigação $4,5 \text{ dS m}^{-1}$, resultando em decréscimos respectivos de 4,07% ao comparar o menor e maior nível salino (Figura 2a).

A aplicação de uso das águas salinizadas aumentou a razão de peso das folhas de pimenta (Figura 2b). Observou-se que o maior valor de peso foliar ($0,20 \text{ gg}^{-1}$) aos 90 DAS foi alcançado com a concentração de EC_w $3,5 \text{ dS m}^{-1}$ (Figura 2b). Além disso, as plantas que receberam a aplicação de prolina de $12,0 \text{ mM}$ apresentaram um aumento de $0,21 \text{ gg}^{-1}$ no peso de folhas em comparação com as plantas isentas da aplicação de prolina (Figura 2c).

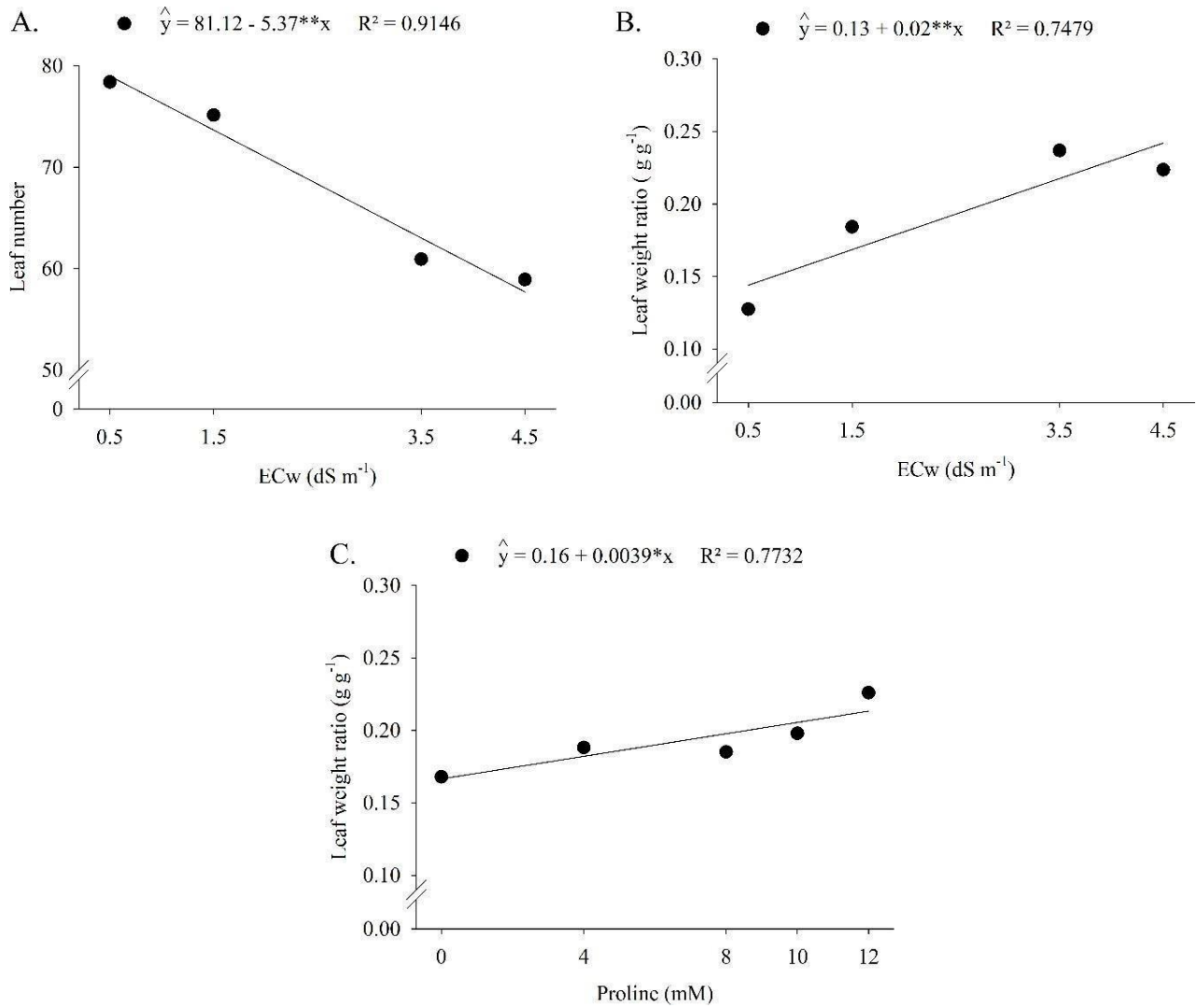


Figura 2. Parâmetros de crescimento de plantas de pimenta biquinho cv. Iracema submetidas a

diferentes níveis de condutividades elétricas da água de irrigação (CEa) e concentrações de prolina. Número de folhas (a); Peso foliar (b) sob estresse salino. Peso de folhas (c) sob aplicação de prolina. ^{ns}, *, ** não significativo, significativo a $P \leq 0,05$ e $P \leq 0,01$ pelo teste F, respectivamente.

As trocas gasosas das plantas de pimenta foram influenciadas significativamente pela interação entre o uso das águas salinizadas e aplicação de prolina (Figuras 3a, b). Plantas irrigadas com as águas salinas de 0,50 e 1,34 dS m⁻¹ e concentrações de 12,0 mM apresentaram, respectivamente, máximos valores de fotossíntese líquida (4,26 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), transpiração (1,99 mmol de H₂O m⁻² s⁻¹) (Figuras 3a, 3b). Por outro lado, a combinação entre as maiores concentrações de prolina e maiores condutividades da água, reduziu as trocas gasosas.

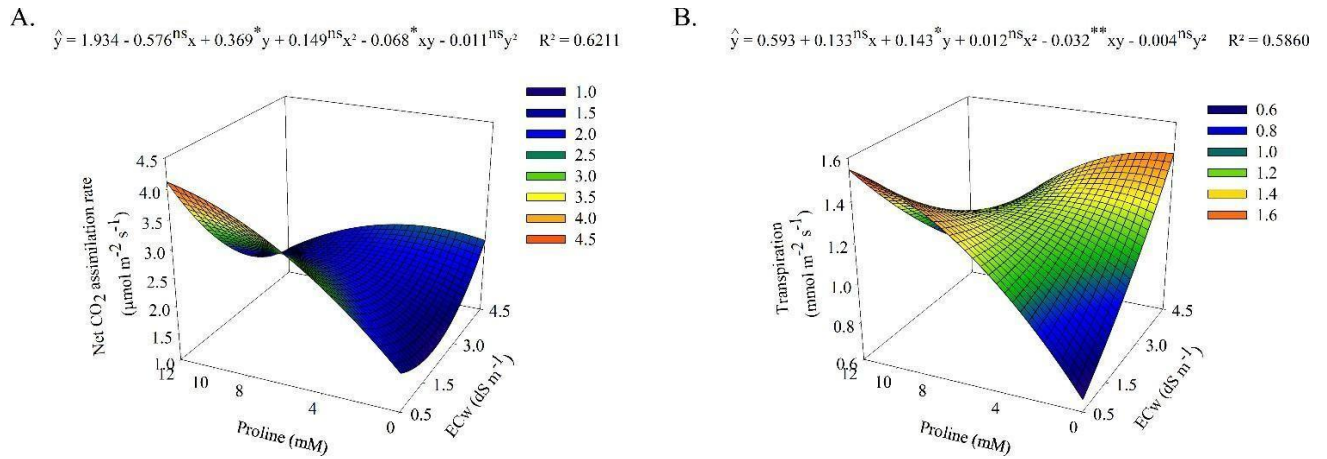


Figura 3. Trocas gasosas de plantas de pimenta biquinho cv. Iracema submetido a diferentes condutividades elétricas da água de irrigação (CEa) e concentrações de prolina, (a) Fotossíntese líquida (A) e transpiração (B). ^{ns}, ^{*}, ^{**} não significativo, significativo a $P \leq 0,05$ e $P \leq 0,01$ pelo teste F, respectivamente.

Os teores de clorofila foram influenciados pelos fatores estudados. O uso das águas salinizadas aumentou os teores de clorofila total, com maiores teores ($4,23 \text{ mg g}^{-1}$, respectivamente) na concentração de $3,50 \text{ dS m}^{-1}$ de ECw (Figura 4a). Analisando o percentual de dano de membrana (extravasamento de eletrólitos) nas folhas, pode-se inferir que há incremento proporcional ao aumento unitário da condutividade elétrica da água de irrigação, em torno de 42,36% (Figura 4b), demonstrando que houve degradação nas membranas celulares em plantas irrigadas com as águas salinas de $4,50 \text{ dS m}^{-1}$.

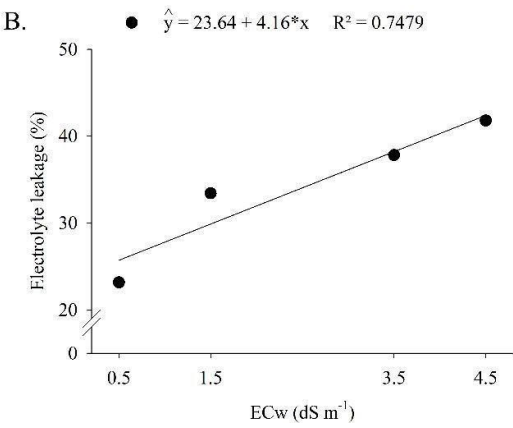
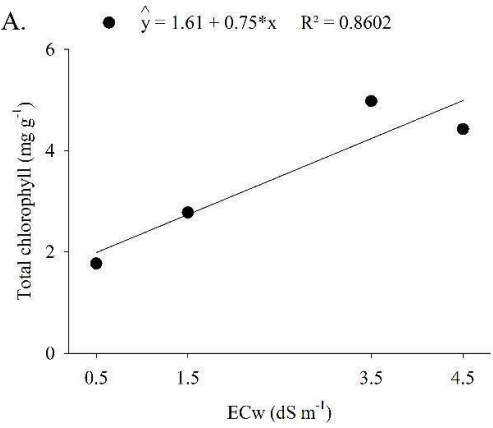


Figura 4. Trocas gasosas de plantas de pimenta biquinho cv. Iracema submetido a diferentes condutividades elétricas da água de irrigação (CEa) e concentrações de prolina. (a) Clorofila total; (b) extravasamento de eletrólitos. ^{ns}, *, ** não significativo, significativo a $P \leq 0,05$ e $P \leq 0,01$ pelo teste F, respectivamente.

O uso das águas salinizadas promoveu um aumento na massa fresca da folha em plantas de pimenta. Observou-se que os maiores valores de massa fresca da folha ($26,30 \text{ g planta}^{-1}$), foram alcançados com a concentração de $4,50 \text{ dS m}^{-1}$, respectivamente (Figura 5a). Para massa fresca do caule aos 90 DAS, observou-se comportamento quadrático com ponto máximo em $1,50 \text{ dS m}^{-1}$ equivalendo peso de aproximadamente ($41,53 \text{ g planta}^{-1}$) (Figura 5b).

A aplicação de prolina reduziu os efeitos prejudiciais do estresse salino e promoveu um aumento na massa fresca da raiz em plantas de pimenta (Figuras 5c). Observou-se que os maiores valores de massa fresca da raiz ($47,06 \text{ g planta}^{-1}$) foram alcançados com a concentração de Pro $12,0 \text{ mM}$ com irrigação de águas de $4,50 \text{ dS m}^{-1}$, respectivamente (Figura 5c).

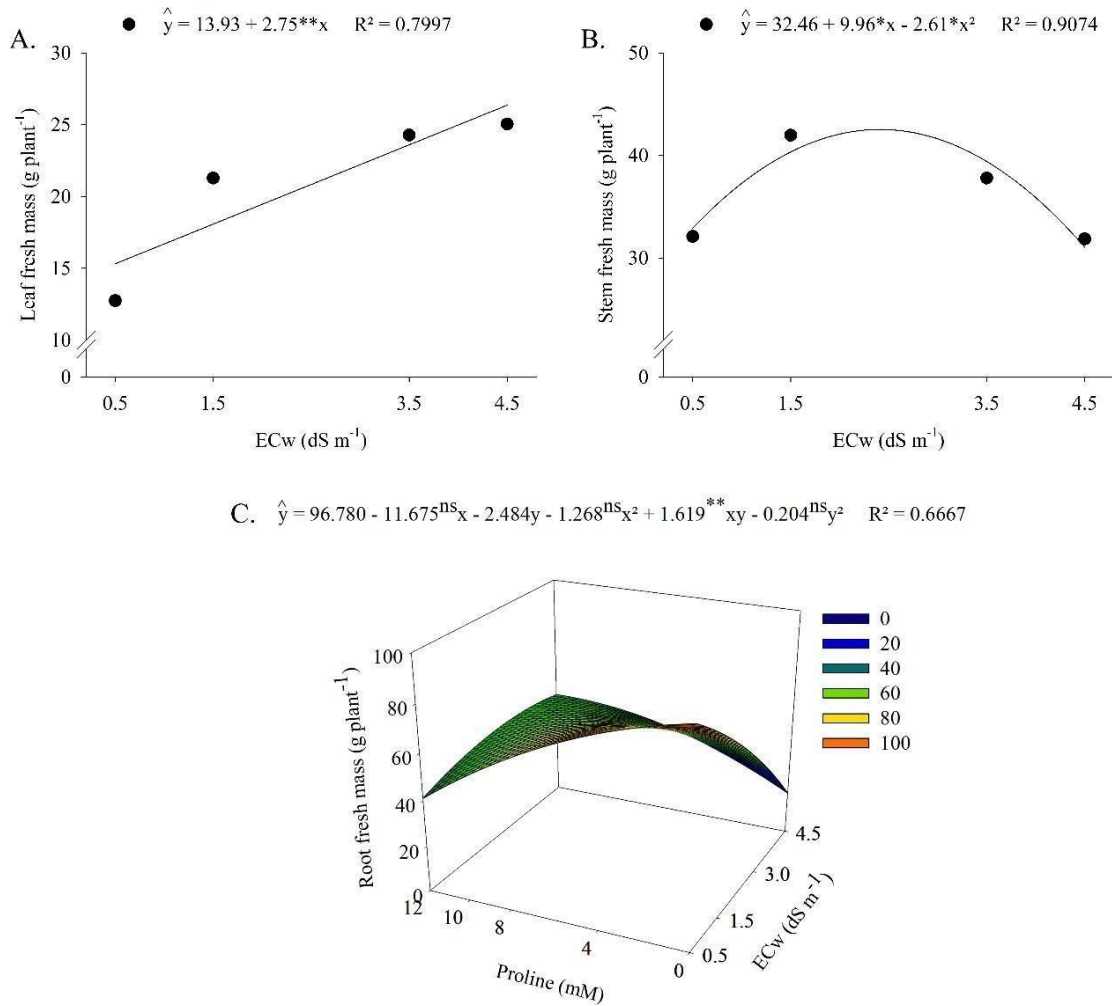


Figura 5. Produção de biomassa em plantas de pimenta biquinho cv. Iracema em resposta a diferentes condutividades elétricas da água de irrigação (CEa) e concentrações de prolina. Massa fresca da folha (a); massa fresca do caule (b) e massa fresca da raiz (c). ^{ns}, *, ** não significativo, significativo a $P \leq 0,05$ e $P \leq 0,01$ pelo teste F, respectivamente.

O maior acúmulo de massa seca do caule foi observado nas plantas isentas das águas salinizadas, com condutividade elétrica de 0,50 dS m⁻¹ alcançando o valor de (9,04 g planta⁻¹), e a medida em que se aumentava a salinidade 4,50 dS m⁻¹, reduzia os valores (5,88 g planta⁻¹) (figura 6a). Enquanto a massa seca da raiz, observou-se comportamento semelhante, foi maior quando irrigadas com água de 0,50 dS m⁻¹ e alcançando o valor de (7,50 g planta⁻¹), respectivamente, (Figura 6b).

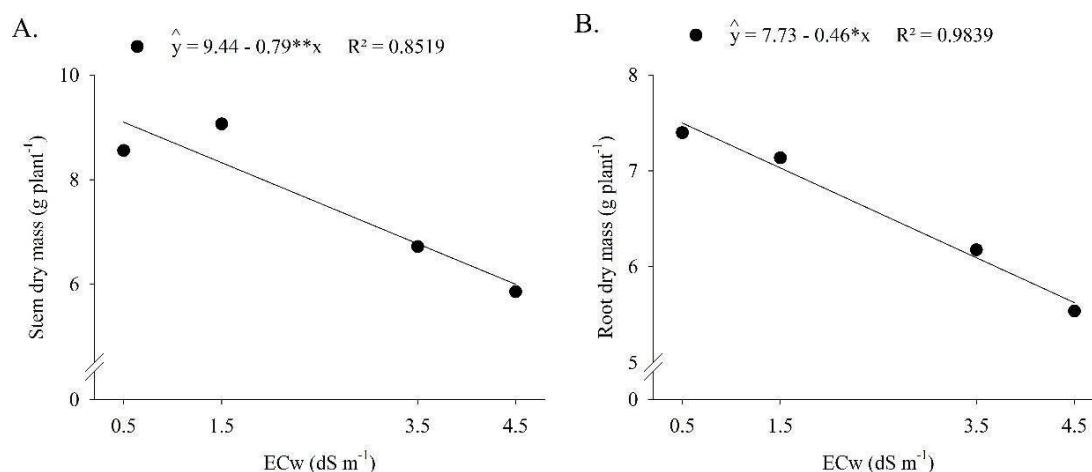


Figura 6. Produção de biomassa em plantas de pimenta biquinho cv. Iracema em resposta a diferentes condutividades elétricas da água de irrigação (CEa). Massa seca do caule (a) e massa seca da raiz (b). ^{ns}, *, ** não significativo, significativo a $P \leq 0,05$ e $P \leq 0,01$ pelo teste F, respectivamente.

A aplicação de prolina reduziu a produção na massa seca do caule em plantas de pimenta biquinho (Figuras 7a). Observou-se que os maiores valores de massa seca do caule (9,17 g planta⁻¹) foram alcançados sem aplicação de prolina, e a medida em que aumentava essa concentração 12,0 mM reduzia respectivamente (Figura 7a).

O maior acúmulo de massa seca da raiz foi observado nas plantas isentas da aplicação de prolina, com concentração de 0,0 mM alcançando o valor de (8,27 g planta⁻¹), e a medida em que se aumentava a concentração 12,0 mM, reduzia os valores (figura 7b). Enquanto a massa seca total, observou-se comportamento semelhante, foi maior quando não aplicadas com prolina na concentração 0,0 mM obtendo o valor de (21,17 g planta⁻¹), respectivamente, (Figura 7c).

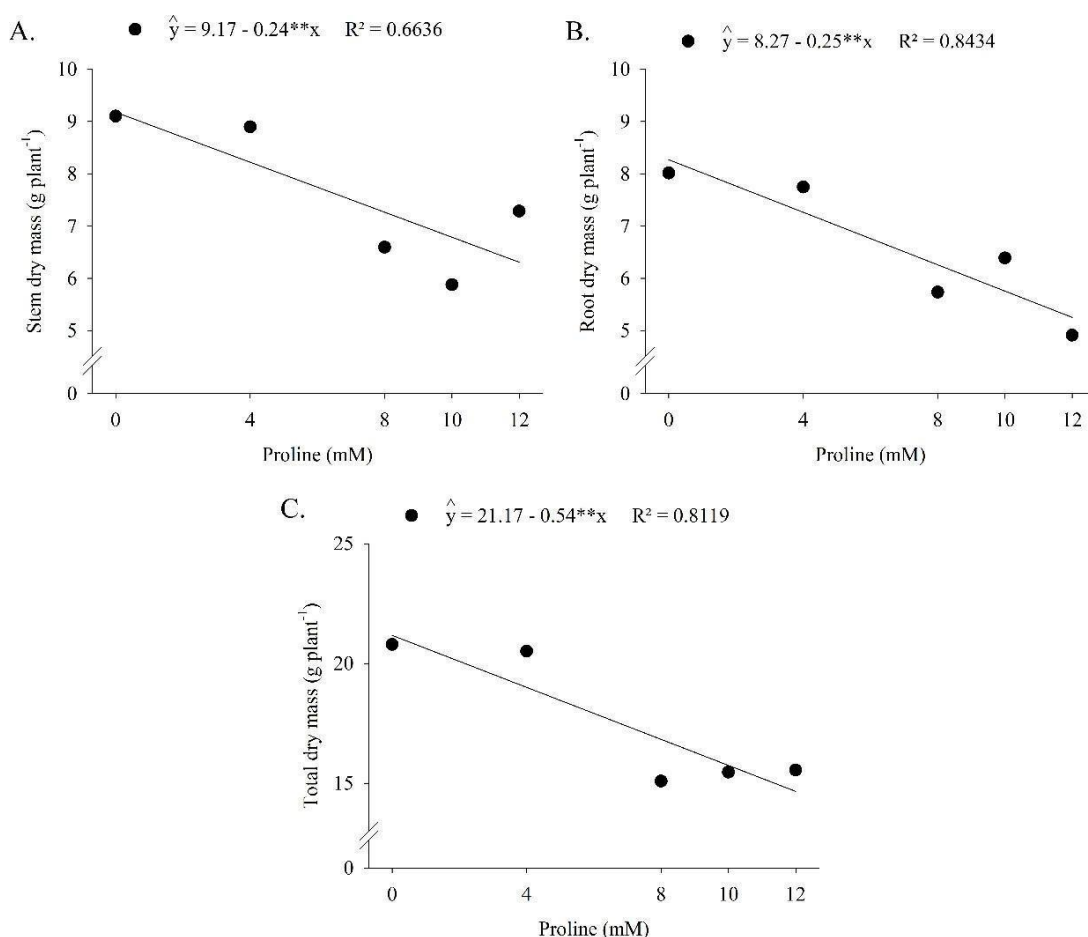


Figura 7. Produção de biomassa em plantas de pimenta biquinho cv. Iracema em resposta a diferentes concentrações de prolina (mM). Massa seca do caule (a); massa seca da raiz (b) e massa seca total (c). ^{ns}, *, ** não significativo, significativo a $P \leq 0,05$ e $P \leq 0,01$ pelo teste F, respectivamente.

As variáveis de crescimento (altura de plantas, diâmetro do caule, número de folhas, área foliar e massas frescas e secas), foram positivamente correlacionadas entre si. Isso indica que plantas maiores e com maior biomassa tendem a ter valores mais altos para essas características. As trocas gasosas (taxa de assimilação líquida de CO₂, condutância estomática e concentração interna de CO₂), apresentam correlações positivas com a biomassa, sugerindo que uma maior capacidade fotossintética está associada a um maior crescimento. As variáveis de pigmentos (clorofila *a*, clorofila *b* e carotenoides), componentes importantes para a fotossíntese, apresentam correlações positivas com a biomassa e com a taxa de assimilação de CO₂. A eficiência no uso da água (WUE e iWUE) apresenta correlações variáveis com outras variáveis, sugerindo que a relação entre o crescimento e o uso da água pode ser complexa e dependente

de outras condições. Variáveis como extravasamento de eletrólitos (*EE*), que é um indicador de dano celular, apresentam correlações negativas com muitas variáveis de crescimento e fotossíntese, sugerindo que um maior estresse está associado a um menor crescimento e a uma menor eficiência fotossintética (Figura 8).

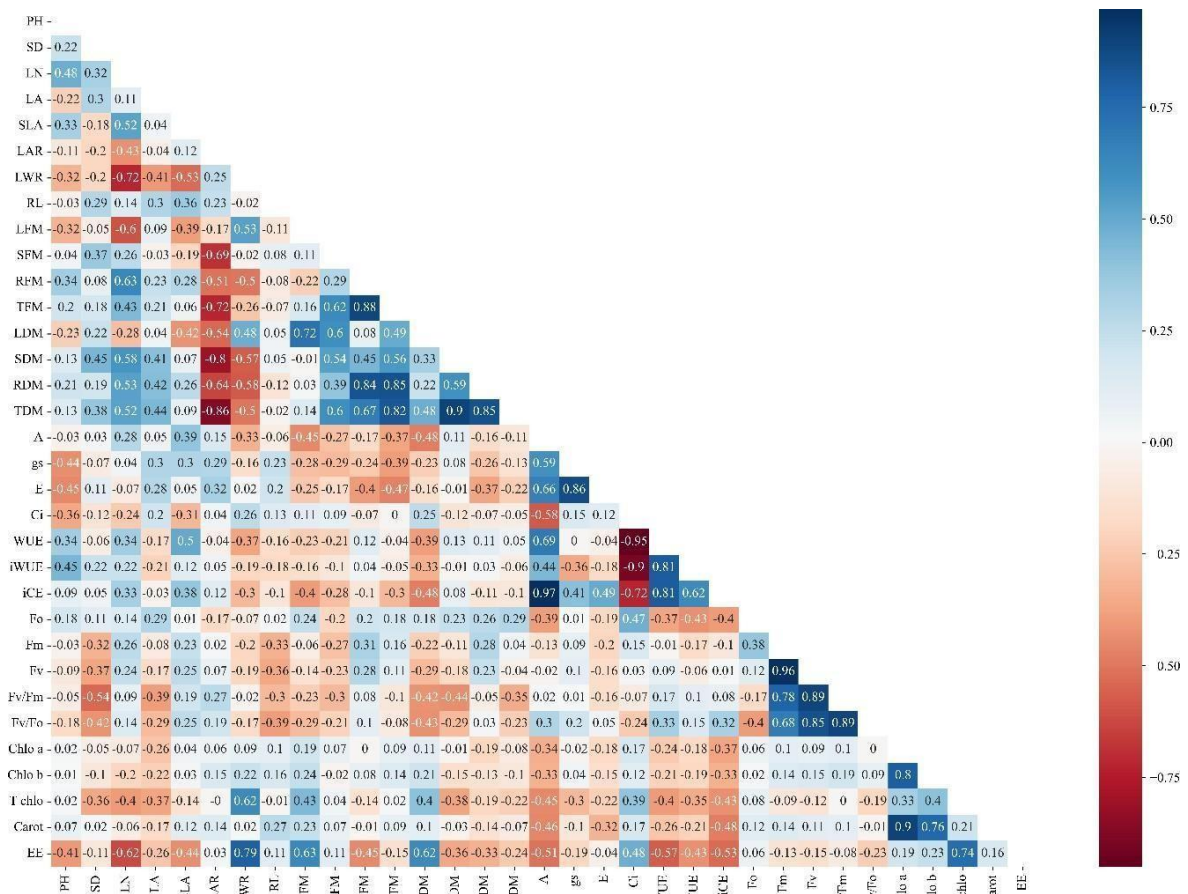


Figura 8. Correlação de Pearson entre crescimento, trocas gasosas e pós-colheita de *Capsicum chinense* cultivado sob diferentes condutividades elétricas da água de irrigação (CEa) e concentrações de prolina. PH = altura de plantas, SD = diâmetro do caule, LN = número de folhas, LA = área foliar, SLA = área foliar específica, LAR = razão de área foliar, LWR = razão de peso foliar, RL = comprimento de raiz, LFM = massa fresca de folhas, SFM = massa fresca de caule, RFM = massa fresca de raiz, TFM = massa fresca total, LDM = massa seca de folhas, SDM = massa seca de caule, RDM = massa seca de raiz, TDM = massa seca total, A = taxa de assimilação líquida de CO₂, gs = condutância estomática, E = transpiração, Ci = concentração interna de CO₂, WUE = eficiência instantânea no uso da água, iWUE = eficiência intrínseca no uso da água, iCE = eficiência de carboxilação, Fo = fluorescência inicial, Fm = fluorescência máxima, Fv = fluorescência variável, Fv/Fm = rendimento quântico do PSII, Fv/Fo = razão

entre Fv e Fo, Chlo a = clorofila a, Chlo b = clorofila b, T chlo = clorofila total, Carot = carotenoides, EE = extravasamento de eletrólitos. ^{ns}, *, ** não significativo, significativo a $P \leq 0,05$ e $P \leq 0,01$ pelo teste F, respectivamente.

7 DISCUSSÃO

Os osmoprotetores, como a prolina, têm o potencial de aumentar a tolerância das plantas ao estresse salino (Saleem et al., 2021). Contudo, existem poucas informações sobre como esse aminoácido age em pimenta cultivada em condições de salinidade. Neste estudo, a aplicação de prolina mitigou os efeitos adversos do estresse salino no crescimento e na fisiologia da pimenta biquinho. Além disso, a utilização de prolina levou ao aumento da massa fresca das raízes (Figura 5 c) e à diminuição dos impactos negativos da salinidade na fotossíntese líquida e na transpiração (Figuras 3a, 3b). Isso se deve ao fato de que a prolina funciona como um antioxidante e regulador de sinais, desempenhando diversas funções essenciais para a adaptação das plantas ao estresse (Sharma et al., 2021).

Vários estudos mostraram que a absorção de CO₂, a condutância estomática, a transpiração e a concentração interna de CO₂ em hortaliças, como manjerição (Nóbrega et al., 2021), tomate (Batista et al., 2021) e melão (Sousa et al., 2018; Sousa et al., 2019), foram reduzidas em resposta a estresses abióticos. Nesse contexto, os efeitos da salinidade nas trocas gasosas variaram de acordo com a condutividade elétrica da água de irrigação, resultando em um aumento da fotossíntese líquida e da transpiração em níveis de condutividade de até 1,50 dS m⁻¹, mas com redução em condutividades mais altas (4,5 dS m⁻¹). Além disso, a prolina também aumentou as trocas gasosas até a concentração de 12,0 mM.

A fotossíntese líquida (A) foi maior em plantas que receberam aplicação de prolina e diferentes níveis de condutividade elétrica da água de irrigação (Figura 3a). Isso pode ter ocorrido porque a salinidade não teve impacto na taxa de transpiração. Em contrapartida, a combinação de altas concentrações de prolina com maiores condutividades da água resultou em uma diminuição nas trocas gasosas. O fato de que a maior fotossíntese líquida foi registrada em plantas sob salinidade está associado ao controle estomático, que é considerado o principal fator fisiológico para otimizar o uso da água durante períodos de déficit hídrico, prevenindo perdas excessivas em condições de seca prolongada (Nadeem et al., 2019) e, consequentemente, uma redução no transporte de assimilados (Dąbrowski et al., 2019).

Observamos um incremento nos teores de clorofila em plantas submetidas a salinidade moderada (3,50 dS m⁻¹). Essa resposta pode estar associada à ativação de mecanismos de

tolerância, como a upregulação de genes envolvidos na biossíntese e a estabilização das moléculas de clorofila (Kalaji et al., 2018; Sá et al., 2018). A maior eficiência do fotossistema II, evidenciada pelo aumento da fluorescência variável corrobora essa hipótese. No entanto, em condições de salinidade elevada ($4,50 \text{ dS m}^{-1}$), a integridade das membranas celulares foi comprometida, como indicado pelo aumento do extravasamento de eletrólitos. Essa perda de compartimentalização pode ter sido desencadeada pela produção excessiva de espécies reativas de oxigênio (EROs) e pela desregulação da homeostase iônica, levando à peroxidação lipídica e à desestabilização das membranas dos tilacóides.

Neste estudo, a aplicação de prolina não conseguiu minimizar os efeitos negativos do estresse salino moderado na produção de biomassa em pimenta, apenas favorecendo o acúmulo de biomassa na ausência desse estresse. Esse efeito pode ser explicado pela função dos aminoácidos em estimular a divisão celular, melhorar a eficiência fotossintética e aumentar o acúmulo de fotoassimilados (Baniasadi et al., 2018). Além disso, os resultados mostraram que a prolina elevou o peso das folhas e a massa fresca das raízes (Figuras 2c, 5c), tanto em plantas de pimenta expostas ao estresse salino moderado quanto em aquelas que não passaram por essa condição. O maior valor de massa fresca, de $47,06 \text{ g}$ por planta, foi obtido com a concentração de $12,0 \text{ mM}$ de prolina (Figura 5c).

A irrigação de plantas com água salina geralmente resulta na redução do crescimento e no acúmulo de massa seca (Pan et al., 2021; Fernandes et al., 2022). No entanto, a aplicação de água salina na concentração de 4.50 dS m^{-1} promoveu o aumento da massa fresca das folhas até $26,30 \text{ g planta}^{-1}$ (Figura 5a). Este efeito pode estar associado à elevada concentração de nitrogênio presente na prolina (Severino et al., 2021), que, como componente de diversos compostos, provavelmente contribuiu para o crescimento e metabolismo das plantas de pimenta, aumentando também sua tolerância ao estresse salino (Ashraf et al., 2018; Ahanger et al., 2019). Resultados semelhantes foram observados em plantas de capuchinha submetidas a déficit hídrico, onde o nitrogênio de baixo peso molecular, suplementado com espermina, atenuou os efeitos adversos da salinidade no crescimento das plantas, na taxa fotossintética e na absorção de nutrientes (Silva et al., 2022; Silva et al., 2023).

A influência da prolina na redução dos efeitos adversos da salinidade sobre a massa seca do caule em pimenta (Figura 6a) está relacionada à capacidade desse aminoácido de atuar de maneira crucial no mecanismo de osmorregulação. Esse mecanismo envolve a interação de elementos não tóxicos com diversos componentes celulares, favorecendo a regulação osmótica e a manutenção do turgor, o que garante o teor hídrico das células (Slama et al., 2015). O

acúmulo de solutos compatíveis é uma estratégia fundamental para a osmorregulação e o ajuste osmótico em resposta ao estresse salino (Majumdar et al., 2016).

A redução linear da massa seca do caule em resposta a prolina (Figura 7a) sugere que este aminoácido pode estar interferindo na síntese de biomassa, possivelmente através da inibição da divisão celular ou da alteração do metabolismo (Hosseinifard et al., 2022). Além disso, não se pode descartar a possibilidade de que a prolina esteja induzindo um estresse oxidativo, danificando os tecidos e comprometendo o crescimento e ou o motivo pelo qual as plantas estavam bem nutridas, levando em consideração que foi realizado a adubação de fundação. O aumento da concentração de prolina resultou em uma diminuição na massa seca da raiz (Figura 7b), uma vez que sua alta concentração pode gerar toxicidade, afetando negativamente a estrutura e a funcionalidade das raízes, o que, por sua vez, resulta na diminuição da massa seca (Vettore et al., 2021).

A aplicação de prolina resultou em uma redução do acúmulo total de massa seca nas plantas (Figura 8). A prolina em altas concentrações pode desviar a alocação de recursos metabólicos, limitando o crescimento da raiz em vez de promovê-lo, especialmente sob condições de estresse salino (Mahmud et al., 2023). O mecanismo pode envolver a competição por recursos metabólicos e a alteração do balanço redox, levando a uma menor disponibilidade de energia e nutrientes para o crescimento das raízes (Vettore et al., 2021).

8 CONCLUSÕES

1. A aplicação de 12,0 mM de prolina influenciou positivamente, aumentando o peso de folhas e a massa fresca das raízes.
2. A concentração de 12,0 mM associada à salinidade moderada da água de irrigação 1,50 dS m⁻¹ estimula as trocas gasosas, resultando em maior fotossíntese líquida e transpiração.
3. O uso de prolina em concentrações de até 12,0 mM não resultou melhorias para massa seca do caule, da raiz e a massa seca total.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Laboratório de Solos do Centro de Ciências Agrárias e ao Setor de Biotecnologia e Melhoramento Vegetal da Universidade Federal da Paraíba, Programa de Educação Tutorial - PET e a Pró-Reitoria de Pesquisa da Universidade Federal da Paraíba pela infraestrutura para desenvolvimento da pesquisa.

REFERÊNCIAS

- AHANGER, M. A.; QIN, C.; BEGUM, N.; MAODONG, Q.; DONG, X.; EL-ESAWI, M.; EL-SHEICK, M. A.; ALATAR, A.; ZHANG, L. Nitrogen availability prevents oxidative effects of salinity on wheat growth and photosynthesis by up-regulating the antioxidants and osmolytes metabolism, and secondary metabolite accumulation. **BMC Plant Biol**, v. 19, p. 479, 2019. Doi: <https://doi.org/10.1186/s12870-019-2085-3>.
- ALAVI, S. A.; GHEHSAREH, A. M.; SOLEYMANI, A.; PANAHPOUR, E.; MOZAFARI, M. Pepermint (*Mentha piperita* L.) growth and biochemical properties affected by magnetized saline water. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v.201, p. 775, 2020. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.110775>.
- ALVAREZ, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L.; DE, M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v.22, p.711-728, 2013. Doi: <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>
- AOAC - Association of Official Analytical Chemistry. Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemistry. 17th ed.: **AOAC**, p. 1115, 2005.
- ASHRAF, M.; SHAHZAD, S. M.; IMTIAZ, M.; RIZWAN, M. S. Salinity effects on nitrogen metabolism in plants – focusing on the activities of nitrogen metabolizing enzymes: A review. **J Plant Nutr**, v. 41, p. 1065-1081, 2018. Doi: <https://doi.org/10.1080/01904167.2018.1431670>.
- BAJJI, M.; KINET, J. M.; LUTTS, S. The use of the electrolyte leakage method for assessing cell membrane stability as a water stress tolerance test in durum wheat. **Plant Growth Regulation**, v.36, p.61–70, 2002. Doi: <https://doi.org/10.1023/A%3A1014732714549>.
- BANIASADI, F.; SAFFARI, V. R.; MOUAD, A. A. M. Physiological and growth responses of *Calendula officinalis* L. plants to the interaction effects of polyamines and salt stress. **Scientia Horticulturae**, v. 234, p. 312–317, 2018. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.02.069>.
- BASÍLIO, A. G. S., DIAS, T. J., MEDEIROS, W. J. F., SANTOS, L. W. O., TARGINO, V. A., HENSCHER, J. M. Respostas de pigmentos fotossintéticos em plantas de capsicum chinense ao estresse salino. VII Inovagri International Meeting e XXX CONIRD, 2021.
- DABROWSKI, P.; BACZEWSKA-DABROWSKA, A. H.; KALAJI, H. M.; GOLTSEV, V.; PAUNOV, M.; RAPACZ, M.; WÓJCIK-JAGLA, M.; PAWLUSKIEWICZ, B.; BABA, W.; BRESTIC, M. Chlorophyll *a* fluorescence and plant gas exchange parameters as indicators of drought tolerance in perennial ryegrass. **Sensors**, v.19, p. 27-36, 2019. Doi: <https://doi.org/10.3390/s19122736>.
- FAGHIH, S.; ZAREI, A.; GHOBADI, C. Positive effects of plant growth regulators on physiology responses of *Fragaria × ananassa* cv. 'Camarosa' under salt stress. **International Journal of Fruit Science**, v.19, p.104-114, 2019. Doi: <https://doi.org/10.1080/15538362.2018.1462291>.

FERNANDES, C. S.; SÁ, F. V. S.; FERREIRA NETO, M.; DIAS, N. S.; REGES, L. B. L.; GHEYI, H. R.; PAIVA, E. P.; SILVA, A. A.; MELO, A. S. Ionic homeostasis, biochemical components and yield of *Italian zucchini* under nitrogen forms and salt stress. **Braz J Biol**, v. 82, p. 567, 2022. Doi: <https://doi.org/10.1590/1519-6984.233567>.

FOLIN, O.; CIOATEAL, V. On tyrosine and tryptophane determinations in proteins. **Journal of Biological Chemistry**, v. 73, n. 2, p. 627-650, 1957.

FLORES, J. S., SILVA, A. N. E., THEODORO, Â. C. C., NETO, J. A. B., GUIMARÃES, R. C. A., DONADON, J. R. Pimenta biquinho cristalizada: desenvolvimento e caracterização sensorial. In: CIÊNCIA e Tecnologia de Alimentos: pesquisa e práticas contemporâneas -. [S. l.: s. n.], 2022. ISBN 978-65-5360-105-5.

HENRIQUE, V. A.; FERREIRA, L. P.; NUNES, C. R. Análise físico-químicas e antioxidante de manjerição (*Ocimum basilicum* L.) orgânico. **Revista Interdisciplinar Pensamento Científico**, v.3, n.2, 2018. Doi: <http://dx.doi.org/10.20951/2446-6778/v3n2a6>.

HENSCHER, J. M.; DANTAS, E. F. O.; SOARES, V. A.; SANTOS, S. K. D.; SANTOS, L. W. O.; DIAS, T. J.; BATISTA, D. S. Salicylic acid mitigates the effects of mild drought stress on radish (*Raphanus sativus*) growth. **Funct Plant Biol**, v. 49, p. 822-831, 2022. Doi: <https://doi.org/10.1071/FP22040>. PMID: 35697057.

HOSSEINIFARD, M.; STEFANIAK, S.; GHORBANI JAVID, M.; SOLTANI, E.; WOJTYLA, L.; GARNCZARSKA, M. Contribuição da prolina exógena para a tolerância a estresses abióticos em plantas: uma revisão. *Int. J. Mol. Sci.* **2022** , 23 , 5186. <https://doi.org/10.3390/ijms23095186>.

IRIGOYEN, J. J.; EMERICH, D. W.; SANCHEZ-DÍAZ, M. Water stress induced changes in concentrations of proline and total soluble sugars in *nodulated alfalfa* (*Medicago 45 sativa*) plants. **Physiol Plant**, v. 84, p. 67-72, 1992. Doi : <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1992.tb08764.x>.

KALAJI, H. M.; RACKOVÁČ, L.; PAGANOVÁČ, V.; SWOCZYNA, T.; RUSINOWSKI, S.; SITKOF, K. Can chlorophyll-*a* fluorescence parameters be used as bio-indicators to distinguish between drought and salinity stress in *Tilia cordata* Mill? **Environmental and Experimental Botany**, v.152, p.149-157, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2017.11.001>.

KHALID, M.; REHMAN, H. M.; AHMED, N.; NAWAZ, S.; SALEEM, F.; AHMAD, S.; UZAIR, M.; RANA, I. A.; ATIF, R. M.; Zaman, Q. U. Using Exogenous Melatonin, Glutathione, Proline, and Glycine Betaine Treatments to Combat Abiotic Stresses in Crops. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 23, p. 129, 2022. Doi: <https://doi.org/10.3390/ijms232112913>.

MAHMUD, S.; KAMRUZZAMAN, M.; BHATTACHARYYA, S.; ALHARBI, K.; EL MONEIM, D.; MOSTOFA, M. G. Acetic acid positively modulates proline metabolism for mitigating PEG-mediated drought stress in Maize and Arabidopsis. *Frontiers in Plant Science*, v. 14, 2023. Doi: <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1167238>

MAJUMDAR, R.; BARCHI, B.; TURLAPATI, S. A.; GAGNE, M.; MINOCHA, R.; LONG, S.; MINOCHA, S. C. Glutamate, ornithine, arginine, proline, and polyamine metabolic interactions: the pathway is regulated at the post-transcriptional level. **Frontiers in Plant Science**, v.7, p. 78, 2016. Doi: <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00078>.

MENDES, E. C., MODESTO, A. O., SILVA, F. B., BORGES, D. F. Avaliação agronômica de mudas de pimenta biquinho (*Capsicum chinense*) em diferentes substratos. Getec, [s. l.], 2024. Disponível em: <file:///C:/Users/maria/Downloads/3369-Texto%20do%20Artigo-13207-1-10-20240403.pdf>.

MILLER, G. L. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugars. **Analytical Chemistry**, v. 31, p. 228-426, 1959. Doi: <http://dx.doi.org/10.1021/ac60147a030>.

MONTEIRO, S. S., MONTEIRO, S. S., BARROS, S. L., SANTOS, N. C., CRUZ, O. N. Influência da composição na elaboração da geleia de pimenta biquinho enriquecida com farinha de maracujá. IV congresso internacional das Ciências Agrárias, [S. l.]. 2019 <https://doi.org/10.31692/2526-7701.IVCOINTERPDVAgro.2019.0112>

NOBREGA, J. S.; BEZERRA, A. C.; RIBEIRO, J. E. S.; SILVA, E. C.; SILVA, T. Y.; COSTA, R. N. M.; SILVA, A. V.; LOPES, A. S.; DIAS, T. J. Growth and gas exchange of purple basil submitted to salinity and foliar nitrogen fertilization. **J Plant Nutr**, v. 44, p. 2729-2738 2021. Doi: <https://doi.org/10.1080/01904167.2021.1927080>.

NOREEN, S.; FAIZ, S.; AKHTER, S.; SHAH, H. Influence of foliar application of osmoprotectants to ameliorate salt stress in sunflower (*Helianthus annuus* L.). **Sarhad J. Agric**, v.35, p.1316–1325, 2019. Doi: <http://dx.doi.org/10.17582/journal.sja/2019/35.4.1316.1325>.

OJEWUMI, A. W.; JUNAID, O. E.; FEYIBUNMI, G. O. Morpho-Physiological Assessment of Water Stress Ameliorative Potential of Some Osmoprotectants on Growth Performance and Chlorophyll Contents of Cayenne Pepper (*Capsicum annum*). **Journal of Pure and Applied Sciences**, v. 7, p. 13–20, 2022. Doi: <https://doi.org/10.55518/fjpas.uord3136>.

OLIVEIRA, L. S. Especiarias Na Gastronomia Mato-Grossense. Biodiversidade, v. 19, n. 3, 2020. Disponível em: <https://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/biodiversidade/article/view/10821>

PAN, T.; LIU, M.; KRESLASKI, V. D.; ZHARMUKHAMEDOV, S. K.; NIE, C.; YU, M.; KUZSNETSOV, V. V.; ALLAKHVERDIEV, S. I.; SHABALA, S. Non-stomatal limitation of photosynthesis by soil salinity. **Reviews in Environmental Science and Technology**, v. 5, p. 791–825, 2021. Doi: <https://doi.org/10.1080/10643389.2020.1735231>.

PEARSON, D.; COX, H. E. The chemical analysis of foods. New York: **Chemical Publication**, 1976.

PEREIRA, A. G., HUNGRIA, L. C., ROSÁRIO, R. R., DAVID, E. C., NAZRE, J. V., SOUZA, L. C., SOUSA, M. S., BARROS, M. N., VIANA, J. A., CAMPINAS, D. S. Potencial De Comercialização De Pimentas In Natura Na Central De Abastecimento Do Estado Do Pará. Em: Extensão Rural: práticas e pesquisas para o fortalecimento da agricultura familiar - Volume 2. [s.l.] Editora Científica Digital, 2021. p. 290–300.

ROSÁRIO, V. N. M., CHAVES, R. P. F., PIRES, I. V., FILHO, A. F. S., TORO, M. J. U. *Capsicum annum Capsicum chinense*: características físicas, físico-químicas, bioativas e atividade antioxidante. *Brazilian Journal of Development*, [s. l.], 20 maio 2021. DOI 10.34117/bjdv7n5-441.

R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. *R Foundation for Statistical Computing*, **Vienna, Austria**. 2020. <http://www.R-project.org/>.

SÁ, F. V. S., SOUTO, L. S., PAIVA, E. P., TORRES, S. B., OLIVEIRA, F. A. Initial development and tolerance of pepper species to salinity stress. *Rev. Caatinga*, [s. l.], 2019. DOI <http://dx.doi.org/10.1590/1983-21252019v32n327rc>.

SÁ, F. V. S.; GHEYI, H. R.; LIMA, G. S.; PAIVA, E. P.; MOREIRA, R. C. L.; SILVA, L. A. Water salinity, nitrogen and phosphorus on photochemical efficiency and growth of west indian cherry. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola**, v.22, n.3, p.158-163, 2018. Doi: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v22n3p158-163>.

SANTOS, L. F. S., LIMA, G. S. DE, LIMA, V. L. A. DE, SILVA, A. A. R., SOARES, L. A. dos A., Nóbrega, J. S., ... Caetano, E. J. M. (2023). Foliar application of proline on the mitigation of salt stress in the physiological indices of sour passion fruit. *Semina: Ciências Agrárias*, 44(5), 1637–1660. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2023v44n5p1637>

SANTOS, R. P.; CRUZ, A. C. F.; IAREMA, L.; KUKI, K. N.; OTONI, W. C. Protocolo para extração de pigmentos foliares em porta-enxertos de videira micropropagados. **Revista Ceres**, v.55, p.356-364, 2008.

SEVERINO, L. S.; MENDES, B. S. S.; SABOYA, R. C. C.; BARROS, L. A.; MARINHO, D. R. F. Nutrient content of solvent-extracted castor meal separated in granulometric fractions by dry sieving and applied as organic fertilizer. **Ind Crops Prod**, v. 161, p. 113-178, 2021. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.113178>.

SILVA, T. I.; LOPES, A. S.; SILVA RIBEIRO, J. E.; NOBREGA, J. S.; MELO GONÇALVES, A. C.; MELO FILHO, J. S.; DIAS, T. J. Salicylic acid decreases salt stress damage on photosynthetic processes and increases essential oil content in basil ‘*Cinnamon*’. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v.23, p.4318-4327, 2023. Doi: <https://doi.org/10.1007/s42729-023-01351-y>.

SILVA, T. I.; DIAS, M. G.; ARAUJO, N. O.; SANTOS, M. N. S.; CRUZ, R. R. P.; DIAS, T. J., RIBEIRO, W. S.; GROSSI, J. A. S.; BARBOSA, J. G. Spermine reduces the harmful effects of salt stress in *Tropaeolum majus*. **Physiology and Molecular Biology of Plants**, v. 28, p. 687–696, 2022. Doi: <https://doi.org/10.1007/s12298-022-01165-9>.

SILVA, T. I., GONÇALVES, A. C. M., MELO FILHO, J. S., ALVES, W. S., BASÍLIO, A. G. S., FIGUEIREDO, F. R. A., DIAS, T. J. Echophysiological aspects of *Ocimum basilicum* under saline stress and salicylic acid. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v. 14, n. 2, p. e5633, 2019.

SHARMA, A.; THAKUR, S.; KUMAR, V.; KESAVAN, A. K.; THUKRAL, A. K.; BHARDWAJ, R. 24-epibrassinolide stimulates imidacloprid detoxification by modulating the

gene expression of *Brassica juncea* L. **BMC Plant Biology**, v.17, p.1–10, 2021. Doi: <https://doi.org/10.1186/s12870-017-1003-9>.

SLAMA, I.; ADBELLY, C.; BOUCHEREAU, A.; FLOWERS, T.; SAVOUARE, A. Diversity, distribution and roles of osmoprotective compounds accumulated in halophytes under abiotic stress. **Annals of Botany**, v.115, p. 433–447, 2015. Doi: <https://doi.org/10.1093/aob/mcu239>.

SOUSA, V. F. O.; COSTA, C. C.; DINIZ, G.L.; SANTOS, J. B.; BONFIM, M. P.; LOPES, K. P. Growth and gas changes of melon seedlings submitted to water salinity. **Agriambi**, v. 23, p. 90-96, 2019. Doi: <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v23n2p90-96>.

SOUSA, V. F. O.; COSTA, C. C.; DINIZ, G.L.; SANTOS, J. B.; BONFIM, M. P. Physiological behavior of melon cultivars submitted to soil salinity. **Pesq Agropec Trop**, v. 48, p. 271-279, 2018. Doi: <https://doi.org/10.1590/1983-40632018v4852495>.

VETTORE, L. A; WESTBROOK, R. L; TENNANT, D. A. Metabolismo da prolina e redox; mantendo um equilíbrio na saúde e na doença. **Amino Acids** **53** , 1779–1788 (2021). <https://doi.org/10.1007/s00726-021-03051-2>

WELLBURN, A. R. The spectral determination of chlorophylls *a* and *b*, as well as total carotenoids, using various solvents with spectrophotometers of different resolution. **Journal of Plant Physiology**, v.144, p.307-313, 1994. Doi: [https://doi.org/10.1016/S0176-1617\(11\)81192-2](https://doi.org/10.1016/S0176-1617(11)81192-2).

YEMN, E. W.; WILLIS, A. J. The estimation of carbohydrate in plant extracts by anthrone. **The Biochemical Journal**, v. 57, p. 508-514, 1954. Doi: <https://doi.org/10.1042/bj0570508>.

ZHU, Y., JIANG, X., ZHANG, J., ELE, Y., ZHU, X., ZHOU, X., GONG, H., YIN, J., LIU, Y. O silício confere resistência ao pepino ao estresse salino através da regulação da prolina e das citocininas. **Fisiologia Vegetal e Bioquímica**, 156(1), 209-220, 2020. doi: 10.1016/j.plaphy.2020.09.014.