

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MATO GROSSO DO SUL
UNIDADE UNIVERSITÁRIA DE CASSILÂNDIA
PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

**VITAMINAS ALTERAM AS CARACTERÍSTICAS
MORFOFISIOLÓGICAS DA ALFACE E DO PIMENTÃO
CULTIVADOS SOB IRRIGAÇÃO COM ÁGUA SALINA**

AKIM AFONSO GARCIA

CASSILÂNDIA – MS
JUNHO/2022

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MATO GROSSO DO SUL
UNIDADE UNIVERSITÁRIA DE CASSILÂNDIA
PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

**VITAMINAS ALTERAM AS CARACTERÍSTICAS
MORFOFISIOLÓGICAS DA ALFACE E DO PIMENTÃO
CULTIVADOS SOB IRRIGAÇÃO COM ÁGUA SALINA**

AKIM AFONSO GARCIA

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Pradi Vendruscolo

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Agronomia, com área de concentração em Sustentabilidade na Agricultura.

CASSILÂNDIA – MS
JUNHO/2022

G198v Garcia, Akim Afonso

Vitaminas alteram as características morfofisiológicas da alface e do pimentão cultivados sob irrigação com água salina / Akim Afonso Garcia. – Cassilândia, MS: UEMS, 2021. 33p.

Dissertação (Mestrado) – Agronomia: Sustentabilidade na Agricultura – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, 2022.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Pradi Vendruscolo.

1. Bioestimulantes 2. Agricultura regenerativa 3. Proteção vegetal I. Vendruscolo, Eduardo Pradi II. Título

CDD 23. ed. - 633.3



Governo do Estado de Mato Grosso do Sul
Fundação Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
PROPP - Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação
UEMS - Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul - Sede Dourados
UUCass - Unidade Universitária de Cassilândia
Programa de Pós-Graduação em Agronomia
PGAC - Área de Concentração em Sustentabilidade na Agricultura



CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: VITAMINAS ALTERAM AS CARACTERÍSTICAS MORFOFISIOLÓGICAS DA ALFACE E DO PIMENTÃO CULTIVADOS SOB IRRIGAÇÃO COM ÁGUA SALINA

AUTOR(A): AKIM AFONSO GARCIA

ORIENTADOR(A): EDUARDO PRADI VENDRUSCOLO

Aprovado como parte das exigências para obtenção de MESTRE EM AGRONOMIA, Área de concentração: “**Sustentabilidade na Agricultura**”, pela Comissão Examinadora



Documento assinado digitalmente
EDUARDO PRADI VENDRUSCOLO
Data: 23/06/2022 12:42:26-0300
Verifique em <https://verificador.itl.br>

Prof. Dr. Eduardo Pradi Vendruscolo

Orientador(a)



Documento assinado digitalmente
EDUARDO PRADI VENDRUSCOLO
Data: 23/06/2022 12:44:05-0300
Verifique em <https://verificador.itl.br>

Prof. Dr. Cássio de Castro Seron - UEMS

Participação via webconferência



Documento assinado digitalmente
EDUARDO PRADI VENDRUSCOLO
Data: 23/06/2022 12:45:57-0300
Verifique em <https://verificador.itl.br>

Prof. Dr. Sebastião Ferreira de Lima - UFMS

Participação via webconferência

Data da realização: 23 de junho de 2022.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Ana Maria e Agnaldo Garcia, pelo amor, paciência, carinho e suporte que ofereceram ao longo da vida. As minhas irmãs, Adriana Afonso e Adriely Afonso, que acompanharam meus passos e abraçaram meus sonhos.

Ao meu orientador acadêmico Prof. Dr. Eduardo Pradi Vendruscolo, pela confiança, paciência e apoio, e por trazer seu primoroso olhar científico a esta pesquisa.

Ao meu amigo Lucas Carneiro, pelo grande apoio e confiança.

A Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, pelo apoio financeiro por meio do Programa Institucional de Bolsas (PIBAP). Ao Programa de Pós-graduação em Agronomia (PGAC), pelo acolhimento e pelas grandes oportunidades de aprendizado. E aos meus colegas de turma Pamela Jennings e Wengler Garcia, pelo suporte e parceria ao longo do curso.

E aos demais, que participaram de forma direta ou indireta, partilho todos os méritos resultantes da minha formação, agradeço toda confiança em meus projetos.

Gratidão, a todos os momentos de felicidade!

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| LISTA DE ABREVIACÕES E SÍMBOLOS..... | 8 |
| CAPÍTULO 1. VITAMINAS ALTERAM AS CARACTERÍSTICAS MORFOFISIOLÓGICAS DA ALFACE CULTIVADA SOB IRRIGAÇÃO COM ÁGUA SALINA..... | 9 |
| 1.1 INTRODUÇÃO | 10 |
| 1.2 MATERIAL E MÉTODOS | 11 |
| 1.2.1 Material vegetal e tratamentos | 11 |
| 1.2.2 Atributos de troca gasosa e morfológicas | 13 |
| 1.2.2 Análise estatística..... | 13 |
| 1.3 RESULTADOS..... | 13 |
| 1.4 DISCUSSÃO | 15 |
| 1.5. CONCLUSÕES | 17 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 17 |
| CAPÍTULO 2. VITAMINAS ALTERAM AS CARACTERÍSTICAS MORFOFISIOLÓGICAS DO PIMENTÃO CULTIVADO SOB IRRIGAÇÃO COM ÁGUA SALINA..... | 20 |
| 2.1 INTRODUÇÃO | 21 |
| 2.2 MATERIAL E MÉTODOS | 22 |
| 2.2.1 Material vegetal e tratamentos | 22 |
| 2.2.2 Atributos de troca gasosa e Índice relativo de clorofila..... | 24 |
| 2.2.3 Atributos morfológicos | 24 |
| 2.2.4 Análise estatística..... | 24 |
| 2.3 RESULTADOS..... | 25 |
| 2.4 DISCUSSÃO | 27 |
| 2.5 CONCLUSÕES | 28 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 29 |

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Caracterização das condições ambientais quanto à temperatura máxima, média e mínima e umidade relativa do ar durante o período de condução do experimento. 12
- Figura 2.** (A) Fotossíntese líquida, (B) concentração intracelular de CO₂, (C) transpiração e (D) trocas gasosas em plantas de alface submetidas à aplicação foliar com vitaminas e irrigação com solução salina. Barras representam média \pm DP; n = 4). Controle: irrigado com água e sem aplicação de vitaminas; NaCl: irrigado com solução salina e sem aplicação de vitaminas; NaCl+B1: irrigado com solução salina e com aplicação da vitamina tiamina (NaCl+B1); NaCl+B3: irrigado com solução salina e com aplicação da vitamina niacina (NaCl+B3). 14
- Figura 3.** (A) Eficiência do uso da água e (B) eficiência instantânea de carboxilação em plantas de alface submetidas à aplicação foliar com vitaminas e irrigação com solução salina. Barras representam média \pm DP; n = 4). Controle: irrigado com água e sem aplicação de vitaminas; NaCl: irrigado com solução salina e sem aplicação de vitaminas; NaCl+B1: irrigado com solução salina e com aplicação da vitamina tiamina (NaCl+B1); NaCl+B3: irrigado com solução salina e com aplicação da vitamina niacina (NaCl+B3)..... 15
- Figura 4.** (A) massa seca de parte aérea e (B) perda de massa seca em plantas de alface submetidas à aplicação foliar com vitaminas e irrigação com solução salina. Barras representam média \pm DP; n = 4). Controle: irrigado com água e sem aplicação de vitaminas; NaCl: irrigado com solução salina e sem aplicação de vitaminas; NaCl+B1: irrigado com solução salina e com aplicação da vitamina tiamina (NaCl+B1); NaCl+B3: irrigado com solução salina e com aplicação da vitamina niacina (NaCl+B3)..... 15
- Figura 5.** Características climáticas de temperatura máxima, média e mínima, precipitação e umidade relativa durante o período experimental. 23
- Figura 6.** (A) fotossíntese líquida, (B) transpiração, (C) eficiência de uso de água (A/E) e (D) eficiência de carboxilação instantânea (A/Ci) e (E) índice relativo de clorofila em plantas de pimentão submetidas à aplicação foliar de vitaminas e irrigação com água salina (Bar representou média \pm SE.; n = 4). Controle: irrigado com água e sem aplicação de vitaminas; NaCl: irrigado com solução salina e sem aplicação de vitaminas; NaCl+B1: irrigado com solução salina e com aplicação da vitamina tiamina (NaCl+B1); NaCl+B3: irrigado com solução salina e com aplicação da vitamina niacina (NaCl+B3); NaCl+B6: irrigado com solução salina e com aplicação da vitamina piridoxina (NaCl+B6)..... 26
- Figura 7.** (A) altura da planta, (B) diâmetro do caule e (C) massa seca da parte aérea em plantas de pimentão submetidas à aplicação foliar de vitaminas e irrigação com água salina (Bar representou média \pm SE.; n = 4). Controle: irrigado com água e sem aplicação de vitaminas;

NaCl: irrigado com solução salina e sem aplicação de vitaminas; NaCl+B1: irrigado com solução salina e com aplicação da vitamina tiamina (NaCl+B1); NaCl+B3: irrigado com solução salina e com aplicação da vitamina niacina (NaCl+B3); NaCl+B6: irrigado com solução salina e com aplicação da vitamina piridoxina (NaCl+B6).....26

Figura 8. Rede de correlação entre as variáveis altura (Alt), diâmetro do caule (DC), massa seca (MS), fotossíntese líquida (A), transpiração (E), conteúdo de CO₂ (Ci), eficiência de uso de água (WUE), eficiência de carboxilação instantânea (EICI) e índice relativo de clorofila (Clr) de plantas de pimentão submetidas à aplicação foliar de vitaminas e irrigação com água salina.
.....27

LISTA DE ABREVIACÕES E SÍMBOLOS

% - Porcentagem

Dm³ - Decímetro Cúbico

pH - Potencial Hidrogeniônico

mg dm⁻³ - Miligrama por decímetro cúbico

NaCl - Cloreto de sódio

B1 - Tiamina

B3 – Niacina

CO₂ - Dióxido de carbono

A - Fotossíntese Líquida

gs - Condutância estomática

E - Transpiração

Ci - Concentração de CO₂

mg L⁻¹ – Miligrama por litro

mM – Milímetro

mmolc - Centimol de carga (unidade de capacidade de troca)

g dm⁻³ - gramas / decímetro cúbico

g kg⁻¹ - gramas / quilograma

Aw - clima quente com chuva de verão

mm - milímetro

°C - grau celsius

T°C max - Temperatura máxima

T°C ave - Temperatura média

T°C min - Temperatura mínima

RH - Umidade Relativa

mg L⁻¹ - miligrama/Litro

mL - mililitro

ds m⁻¹ - decímetro/metro

NaCl+B1 - cloreto de sódio + Tiamina

NaCl+B3 - cloreto de sódio + Niacina

A/gs - Eficiência do sua da água

A/Ci - Eficiência instantânea de carboxilação

SDW - massa seca

CAPÍTULO 1. VITAMINAS ALTERAM AS CARACTERÍSTICAS MORFOFISIOLÓGICAS DA ALFACE CULTIVADA SOB IRRIGAÇÃO COM ÁGUA SALINA

RESUMO: Águas com elevada concentração salina ocasiona perdas no desenvolvimento e na produtividade das espécies, elevando a importância da busca por técnicas mitigadoras dos efeitos deletérios. Nesse sentido, as vitaminas são compostas que apresentam potencial de utilização, proporcionando melhores condições de desenvolvimento vegetal. O objetivo do estudo foi avaliar os efeitos do uso de vitaminas em plantas de alface submetidas à irrigação com solução salina. Foi utilizado o delineamento estatístico inteiramente casualizados em esquema fatorial 2 x 5. Os tratamentos foram constituídos por um controle, irrigação com solução salina e outro com solução salina (50 mM NaCl, 5,18 ds m⁻¹), além de dois tratamentos em que as plantas foram tratadas pela aplicação foliar com solução de tiamina (100 mg L⁻¹) ou niacina (100 mg L⁻¹), estes tratamentos foram aplicados a duas cultivares de alface. Ambas as vitaminas proporcionaram aumento da fotossíntese líquida em relação ao tratamento com controle irrigado com solução salina, no entanto, apenas a aplicação de tiamina resultou em efeito mitigador quanto ao acúmulo de massa seca das plantas. Assim, concluiu-se que a aplicação de tiamina atua de forma protetiva sobre as plantas de alface submetidas à irrigação com água salina, elevando a atividade fotossintética e diminuindo os efeitos deletérios da salinidade.

PALAVRAS-CHAVE: Proteção vegetal, água residual, manejo da água, agricultura regenerativa, bioestimulantes.

VITAMINS CHANGE THE MORPHOPHYSIOLOGICAL CHARACTERISTICS OF LETTUCE GROWN UNDER IRRIGATION WITH SALINE WATER

ABSTRACT: Water with high saline concentration causes losses in the development and productivity of the species, raising the importance of the search for techniques to mitigate the deleterious effects. In this sense, vitamins are compounds that have potential for use, providing better conditions for plant development. The objective of the study was to evaluate the effects of the use of vitamins in lettuce plants submitted to irrigation with saline solution. A completely randomized statistical design was used in a 2 x 5 factorial scheme. The treatments consisted of a control, irrigation with saline solution and another with saline solution (50 mM NaCl, 5.18 ds m⁻¹), in addition to two treatments in that the plants were treated by foliar application with

thiamine solution (100 mg L⁻¹) or niacin (100 mg L⁻¹), these treatments were applied to two lettuce cultivars. Both vitamins provided an increase in net photosynthesis in relation to the control treatment irrigated with saline solution, however, only the application of thiamine resulted in a mitigating effect on the accumulation of dry mass of the plants. Thus, it was concluded that the application of thiamine acts in a protective way on lettuce plants subjected to irrigation with saline water, increasing photosynthetic activity and reducing the deleterious effects of salinity.

KEY WORDS: Plant protection, wastewater, water management, regenerative agriculture, biostimulants.

1.1 INTRODUÇÃO

As demandas crescentes por alimento no mundo levaram a um aumento na utilização dos corpos hídricos, esgotando ou contaminando rios, lagos e lençóis freáticos superficiais, tornando o acesso a água potável mais difícil, principalmente para o consumo humano (Santos e Spolador, 2022). Esse fato reflete em restrições ao uso da água potável na agricultura, aumentando o uso de águas com qualidade inferior, ou salinas, na irrigação. Assim, a dificuldade no acesso e o comprometimento dos corpos hídricos têm acelerado as pesquisas por alternativas viáveis à produção de alimentos (Zhang e Shen, 2019; Singh, 2021).

Verifica-se que para a produção de hortaliças a utilização contínua do solo e o elevado número de ciclos produtivos pode acarretar no aumento das concentrações salinas no solo. Também, águas residuais dos processos agroindustriais ou água de baixa qualidade proveniente de outras fontes tem sido cada vez mais frequente na agricultura. Isso resulta em perdas significativas da produtividade pela presença de resíduos que podem limitar o desenvolvimento do vegetal, inclusive para a cultura da alface (Adhikari et al., 2019; Zhang et al., 2021).

A irrigação com água salina é possível para muitas espécies vegetais, as quais apresentam diferentes níveis de tolerância à esta condição. Porém, uma grande parte das espécies com importância comercial possui baixa tolerância a salinidade, e o excesso de sais provoca anomalias (Hajihashemi et al., 2020), podendo ocasionar a morte em alguns casos. Para essas espécies, a redução da fertilidade, mudanças nas características físicas e químicas do solo, além do acúmulo do elemento Na⁺, tanto na planta quanto no solo, reduz a eficiência germinativa e promove distúrbios fisiológicos, afetando as atividades relacionadas ao sistema fotossintético, divisão celular e, conseqüentemente, o desenvolvimento das estruturas vegetais (Singh, 2021).

O uso excessivo do solo e dos recursos hídricos vêm limitando as fontes naturais, favorecendo o uso de técnicas que reduzam esse impacto a partir da aplicação de soluções alternativas, que permitam manter o desenvolvimento, sem maiores prejuízos aos recursos naturais. A aplicação exógena de vitaminas em plantas tem se destacado pelo aumento do vigor, maiores índices reprodutivos, resistência as condições edafoclimáticas (Vendruscolo et al., 2019; Contieri et al., 2018), dentre outros incrementos fisiológicos que possibilitam o cultivo em condições de maior estresse.

A tiamina, conhecida como vitamina B1, tem sido utilizada como um bioestimulante potencial na produção vegetal (Vendruscolo et al., 2019; Vendruscolo e Seleguini, 2020; Jabeen et al., 2021). Essa vitamina age diretamente nas organelas vegetais como cofator enzimático, atuando indiretamente nos ciclos respiratórios e de geração de energia da planta (Goyer, 2010; Taiz et al., 2017). A aplicação da tiamina por meio exógeno pode estimular a ação de mecanismos de defesa na planta, além de promover seu desenvolvimento e crescimento (Kaya et al., 2015).

Outra substância com aplicação nas culturas é a niacina (vitamina B3), também encontrada em diversos sistemas fisiológicos na planta. Ela auxilia no crescimento vegetativo, acúmulo de reservas e contribui para minimizar adversidades que a planta possa sofrer por ocorrência de estresses (Taiz et al., 2017; Colla et al., 2021) e sua aplicação apresentou acréscimos na produção de NADPH no início de crescimento dos frutos de kiwi, aumentando a resistência a estresses abióticos (Zhu et al., 2018).

Com base na hipótese de que a aplicação de vitaminas do complexo B podem alterar as características morfofisiológicas dos vegetais e mitigar os efeitos dos estresses abióticos, o objetivo do estudo foi avaliar os efeitos do uso de vitaminas do complexo B em plantas de alface submetidas à irrigação com água salina.

1.2 MATERIAL E MÉTODOS

1.2.1 Material vegetal e tratamentos

O experimento foi conduzido em ambiente protegido, em abril de 2021, na área experimental da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, Unidade Universitária de Cassilândia, Brasil.

O clima da região, segundo classificação de Köppen, é do tipo tropical chuvoso (Aw), com verão chuvoso e inverno seco (precipitação no inverno menor que 60 mm), com precipitação e temperatura média anual de 1.520 mm e 24,1 °C, respectivamente. Durante o

período experimental, os dados climáticos foram coletados diariamente, por equipamento instalado na unidade universitária onde ocorreu a condução do experimento (Figura 1).

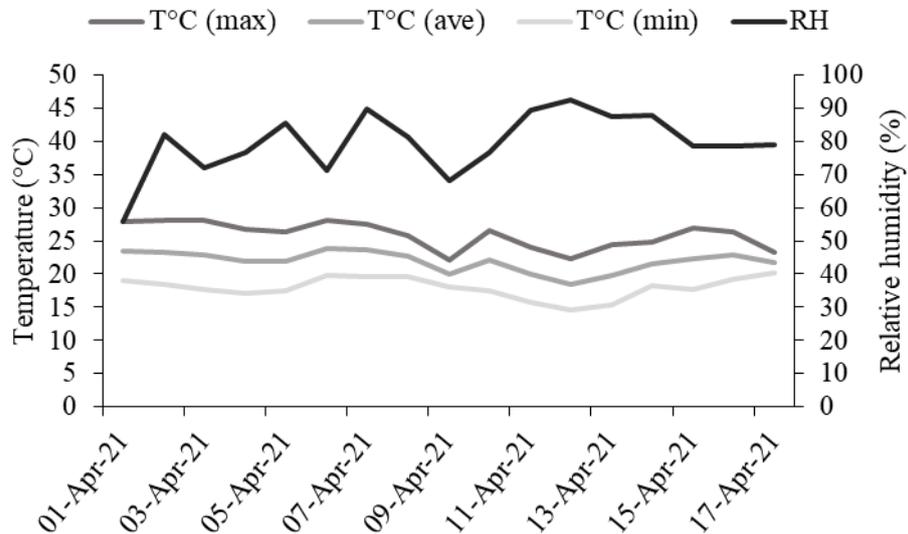


Figura 1. Caracterização das condições ambientais quanto à temperatura máxima, média e mínima e umidade relativa do ar durante o período de condução do experimento.

Para tanto, utilizou-se um delineamento inteiramente casualizado (DIC), no esquema fatorial 2x4, com duas cultivares de alface, Pira Roxa e Valentina, e quatro tratamentos: Tratamento 1: irrigado com água e sem aplicação de vitaminas; tratamento 2: irrigado com solução salina e sem aplicação de vitaminas; tratamento 3 = irrigado com solução salina e com aplicação de tiamina (NaCl+B1); tratamento 4 = irrigado com solução salina e com aplicação de niacina (NaCl+B3).

As mudas de alface foram adquiridas de produtor certificado, garantindo a qualidade fitossanitária e homogeneidade quanto ao tamanho. Para o estabelecimento dos tratamentos, antes do plantio nos recipientes, as mudas receberam a aplicação foliar de água (controle) e soluções de tiamina (100 mg L^{-1}) e niacina (100 mg L^{-1}). As soluções vitamínicas foram preparadas em água, e a aplicação dos tratamentos foi realizada com um spray foliar, utilizando uma bomba manual de plástico. Um total de 1 mL de solução foi aplicado por planta e por tratamento. Após 24h da aplicação, as plantas foram transferidas para os recipientes com substrato. Apenas um tratamento sem aplicação de vitaminas foi irrigado com água ($0,48 \text{ ds m}^{-1}$) (controle), enquanto outro tratamento sem vitaminas foi irrigado com solução salina (50 mM

NaCl, 5,18 ds m⁻¹), utilizado como controle de estresse (NaCl), os demais tratamentos contendo tiamina (NaCl+B1) e niacina (NaCl+B3) foram irrigados com a solução salina.

Para o crescimento das plantas foram utilizados recipientes (0,35 dm³) contendo uma mistura de Neosolo Quartzarênico (pH 5,0, P 14,0 mg dm⁻³, K 3,0 mmolc dm⁻³, Ca 24,0 mmolc dm⁻³, Mg 14,0 mmolc dm⁻³, capacidade de troca de cátions 58,0 mmolc dm⁻³, saturação por bases 71,0% e matéria orgânica 13,0 g dm⁻³, 95 g kg⁻¹ de argila, 50 g kg⁻¹ de silte e 855 g kg⁻¹ de areia), vermiculita e esterco bovino curtido, em proporção de 3:1:1.

1.2.2 Atributos de troca gasosa e morfológicas

Quatorze dias após a aplicação das vitaminas foi avaliado, durante a parte da manhã, a fotossíntese líquida (A), condutância estomática (gs), concentração de CO₂ intracelular (Ci) e transpiração (E), quando as plantas estão em plena atividade de troca gasosa, por meio de um medidor de fotossíntese portátil (LCi, ADC Bioscientific, Hertfordshire, Reino Unido). E foi calculada a eficiência do uso da água (A/g_s) e a eficiência instantânea de carboxilação (A/Ci).

Após a obtenção das características fisiológicas, a parte aérea das plantas foi colhida e colocada para secar em estufa de ventilação forçada a 65°C, até a obtenção de massa constante, obtendo-se a massa seca (SDW). Também, foi calculada a perda percentual de massa seca em relação ao tratamento controle.

1.2.2 Análise estatística

Os dados foram submetidos aos testes preliminares de normalidade e homocedasticidade. Em seguida, as médias foram submetidas a análise de variância (ANOVA) e ao teste de Scott-Knott, ao nível de 10% de probabilidade. As análises foram realizadas utilizando o software estatístico SISVAR (Ferreira et al., 2014).

1.3 RESULTADOS

Os tratamentos afetaram a variável de fotossíntese líquida, com maior média obtida no tratamento controle, seguido pelos tratamentos compostos pela aplicação das vitaminas B1 e B3, os quais diferiram significativamente do tratamento composto apenas pela irrigação com solução salina (Figura 2A), enquanto para a concentração intracelular de CO₂, ocorreu a diferença apenas entre as cultivares, com superioridade da Pira Roxa. Em complemento, tanto para transpiração quanto para a condutância estomática, foi observada a superioridade do tratamento controle sobre os demais, e da cultivar Pira Roxa sobre a Valentina (Figura 2C, 2D).

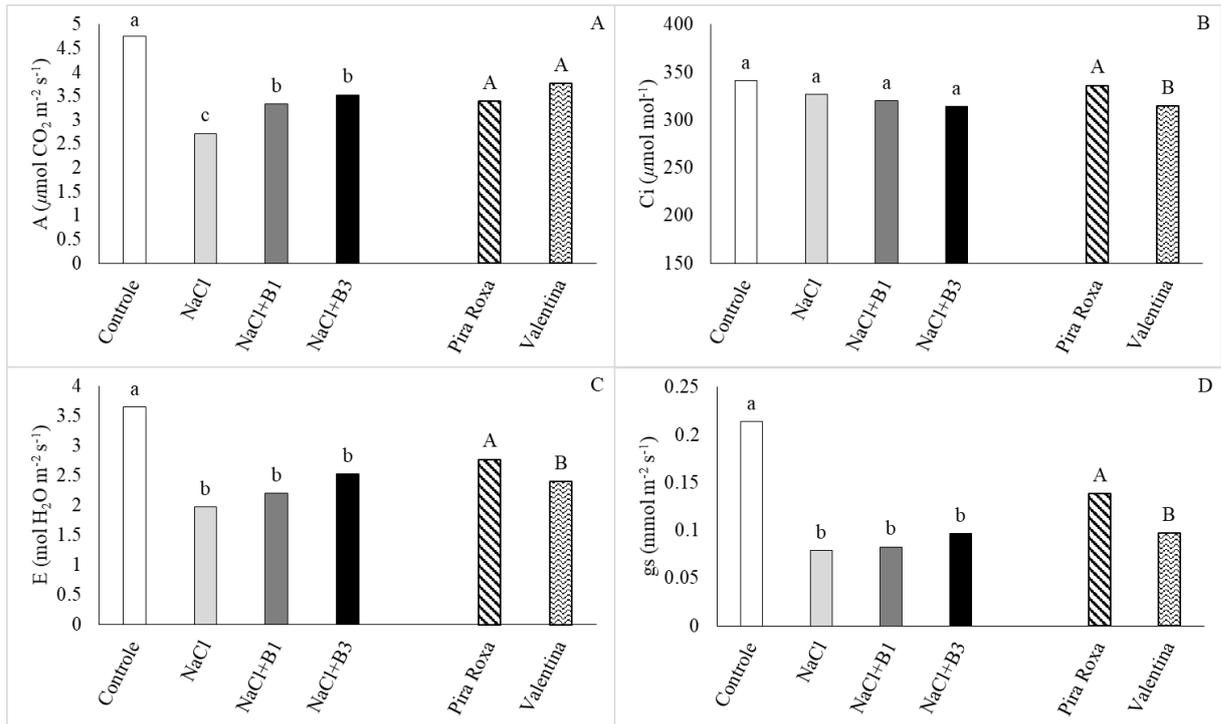


Figura 2. (A) Fotossíntese líquida, (B) concentração intracelular de CO₂, (C) transpiração e (D) trocas gasosas em plantas de alface submetidas à aplicação foliar com vitaminas e irrigação com solução salina. Barras representam média ± DP; n = 4). Controle: irrigado com água e sem aplicação de vitaminas; NaCl: irrigado com solução salina e sem aplicação de vitaminas; NaCl+B1: irrigado com solução salina e com aplicação da vitamina tiamina (NaCl+B1); NaCl+B3: irrigado com solução salina e com aplicação da vitamina niacina (NaCl+B3).

Para eficiência do uso da água, constatou-se maiores valores para os tratamentos em que foi empregada a irrigação com solução salina e, entre as cultivares, a superioridade foi da Valentina (Figura 3A). Em complemento, para a eficiência de carboxilação instantânea, destacou-se o tratamento controle, seguido pelos tratamentos compostos pela aplicação das vitaminas, ambos superiores ao tratamento composto apenas pela irrigação com solução salina, enquanto entre as cultivares se destacou a Valentina (Figura 3B).

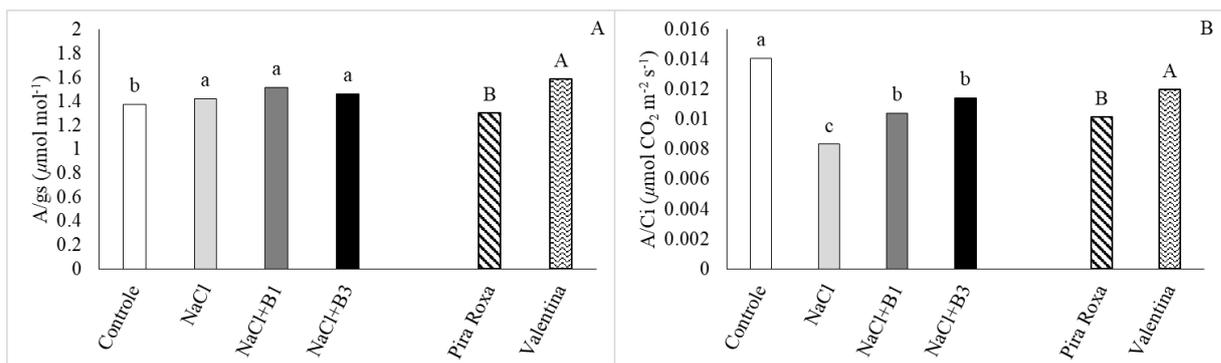


Figura 3. (A) Eficiência do uso da água e (B) eficiência instantânea de carboxilação em plantas de alface submetidas à aplicação foliar com vitaminas e irrigação com solução salina. Barras representam média \pm DP; n = 4). Controle: irrigado com água e sem aplicação de vitaminas; NaCl: irrigado com solução salina e sem aplicação de vitaminas; NaCl+B1: irrigado com solução salina e com aplicação da vitamina tiamina (NaCl+B1); NaCl+B3: irrigado com solução salina e com aplicação da vitamina niacina (NaCl+B3).

As cultivares tiveram resposta similar para o acúmulo de massa seca, enquanto, entre os tratamentos, verificou-se a superioridade do controle. Porém, entre os tratamentos em que houve irrigação com solução salina, constatou-se a superioridade daquele composto pela aplicação de tiamina (Figura 4A), o qual resultou, conseqüentemente em menores perdas percentuais de massa seca (Figura 4B).

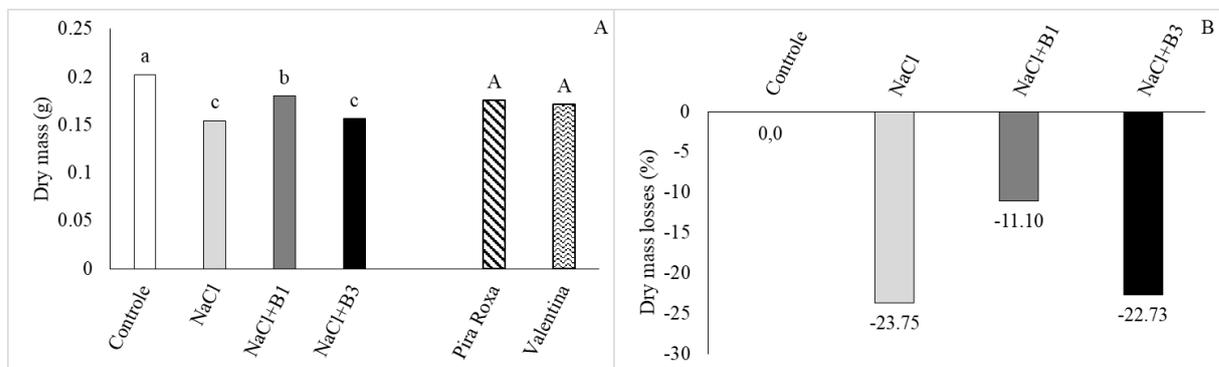


Figura 4. (A) massa seca de parte aérea e (B) perda de massa seca em plantas de alface submetidas à aplicação foliar com vitaminas e irrigação com solução salina. Barras representam média \pm DP; n = 4). Controle: irrigado com água e sem aplicação de vitaminas; NaCl: irrigado com solução salina e sem aplicação de vitaminas; NaCl+B1: irrigado com solução salina e com aplicação da vitamina tiamina (NaCl+B1); NaCl+B3: irrigado com solução salina e com aplicação da vitamina niacina (NaCl+B3).

1.4 DISCUSSÃO

Nessa pesquisa foi observado que a presença de concentrações salinas na água provocou perdas para a maioria dos parâmetros avaliados em relação ao controle, esse estresse osmótico ocasiona diminuição da área foliar, da evapotranspiração, do potencial osmótico, da biomassa seca e da taxa fotossintética (JUNIOR, et al., 2018; COELHO et al., 2013), a aplicação de vitaminas atenuou alguns desses efeitos provocados pela salinidade.

A tiamina é responsável pela sinalização da presença do estresse atuante sobre as plantas, seus teores naturais nos tecidos vegetais decrescem conforme o estresse continua atuando ao longo do tempo. A tiamina possui funções chaves nos processos metabólicos no vegetal, incluindo assimilação do carbono e processos respiratórios (Fitzpatrick e Chapman, 2020). No entanto, a aplicação de tiamina, de maneira exógena, atua como um *priming*,

potencializando as respostas à atuação dos estresses, pela produção de metabólitos secundários, por exemplo, e favorecendo a autoproteção do vegetal (Goyer, 2010; Kaya et al., 2015). Foi observado que os tratamentos que houve aplicação dessa vitamina apresentaram menores perdas da massa seca, o que pode ser uma indicação da autoproteção do vegetal em resposta ao estresse. Assim como, dentre os tratamentos com irrigação com água salina, houve resposta positiva em relação aos índices da fotossíntese líquida.

Quando a planta é submetida a um fator de estresse, a aplicação de tiamina resulta em incremento de glicina-betaína, dos teores totais de fenóis, da atividade das enzimas catalase e peroxidase e dos teores de prolina, os quais atuam diretamente sobre a proteção das plantas através do efeito da anulação das espécies reativas de oxigênio, auxiliando para a manutenção dos pigmentos fotossintéticos (Jabeen et al., 2021)

Outro fator que é potencializado pela aplicação de tiamina é a elevação de reservas energéticas e nutricionais nos tecidos vegetais (Kaya et al., 2015). Este incremento resulta em maior resiliência do vegetal frente aos efeitos deletérios exercidos pelos estresses no ambiente de cultivo (Taiz et al., 2017).

O efeito positivo observado para a aplicação de niacina sobre a atividade fotossintética está relacionado à participação desta como constituinte do NAD e do NADP, atuando diretamente no transporte de elétrons no metabolismo celular e respiratório (Meyer-ficca e Kirkland, 2018), incremento dos pigmentos fotossintetizantes e proteção da camada lipídica das folhas (Hussein et al., 2014). No entanto, apesar do efeito positivo relatado na literatura, a aplicação de niacina pouco amenizou os efeitos da salinidade no presente estudo. Isso pode estar relacionado à composição das plantas de alface, em que há elevados teores de niacina. Desta maneira, a aplicação exógena dessa vitamina pode não ter sido suficiente para resultar em alterações significativas na planta. Resultados similares foram obtidos com a cultura da mostarda crespa, em que a aplicação de niacina em concentrações próximas à 485,20 mg L⁻¹ foram as que proporcionaram maior desenvolvimento das plantas (Vendruscolo et al., 2017).

Verifica-se que a aplicação de tiamina em diferentes concentrações afeta de maneira efetiva e favorece o desenvolvimento de plantas de arroz (Vendruscolo et al., 2019), milho doce (Vendruscolo et al., 2018), principalmente quando as plantas são submetidas à estresses abióticos ou em condições de produção a campo, onde o conjunto de fatores ambientais atua sobre os vegetais. Por outro lado, a aplicação da niacina possui efeito bioestimulante, promovendo o desenvolvimento e a produtividade de espécies como o milho (Colla et al., 2021) e o feijão (Abreu et al., 2020) em ambiente de produção a campo.

1.5. CONCLUSÕES

A aplicação exógena de vitaminas auxilia para a mitigação dos efeitos provocados pela irrigação com água salina em plantas de alface reduzindo os estresses nos mecanismos fotossintéticos, elevando a atividade fotossintética. Em complemento, a tiamina auxilia para a diminuição dos efeitos deletérios da salinidade sobre o acúmulo de massa nas plantas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, M. S.; LIMA, S. F.; DE OLIVEIRA NETO, F. M.; GARCIA, D. H.; TAVEIRA, A. C.; THOMÉ, S. E. N.; QUIRINO, T. S. *Ascophyllum nodosum* e nicotinamida afetam produtividade do feijoeiro comum. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 9, p. e597997628-e597997628, 2020. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i9.7628>.

ADHIKARI, N. D.; SIMKO, I.; MOU, B. Phenomic and physiological analysis of salinity effects on lettuce. **Sensors**, v. 19, n. 21, p. 4814, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3390/s19214814>

COELHO, J. B. M.; BARROS, M. F. C.; NETO, E. G.; CORREA, M. M. Comportamento hídrico e crescimento do feijão vigna cultivado em solos salinizados. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 4, p. 379-385, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662013000400004>.

COLLA, R. E. S.; DE LIMA, S. F.; VENDRUSCOLO, E.; SECCO, V. A.; PIATI, G. L.; DOS SANTOS, O. F. Does foliar nicotinamide application affect second crop corn (*Zea mays*). **Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias UNCuyo**, v. 53, n. 2, p. 64-70, 2021.

CONTIERI, G. A.; CHINI, M. A.; MARGARIDO, V. O.; PELEGRINI, R. T. Desenvolvimento de técnica de clonagem de plantas por processo de estaquias in vitro empregando vitamina b1 como regulador de enraizamento. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, v. 12, n. 4, p. 383-393, 2018.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a Guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons. **Ciência e agrotecnologia**, v. 38, n. 2, p. 109-112, 2014.

GOYER, A. Thiamine in plants: aspects of its metabolism and functions. **Phytochemistry**, v. 71, n. 14-15, p. 1615-1624, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2010.06.022>

HAIJHASHEMI, S.; MBARKI, S.; SKALICKY, M.; NOEDOOST, F. Effect of wastewater irrigation on photosynthesis, growth, and anatomical features of two wheat cultivars (*Triticum aestivum* L.). **Water**, v. 12, n. 2, p. 607, 2020.

HUSSEIN, M. M., FAHAM, S. Y., & ALVA, A. K. Role of foliar application of nicotinic acid and tryptophan on onion plants response to salinity stress. **Journal of Agricultural Science**, v.6, n. 8, p. 41-51, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.5539/jas.v6n8p41>

KAYA, C., ASHRAF, M., SONMEZ, O., TUNA, A. L., POLAT, T., & AYDEMIR, S. Exogenous application of thiamin promotes growth and antioxidative defense system at initial phases of development in salt-stressed plants of two maize cultivars differing in salinity

tolerance. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 37, n. 1, p. 1-12, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11738-014-1741-3>

JABEEN, M., AKRAM, N. A., ASHRAF, M., ALYEMENI, M. N., & AHMAD, P. Thiamin stimulates growth and secondary metabolites in turnip (*Brassica rapa* L.) leaf and root under drought stress. **Physiologia Plantarum**, v. 172, n. 2, p. 1399-1411, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1111/ppl.13215>.

JÚNIOR, E. G. S.; SILVA, A. F.; LIM, J. S.; MAIA, J. M.; SOUZA, D. S.; DINIZ, J. P. C. Metabolismo bioquímico de plântulas de mamoeiros sob estresse salino. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 13, n. 5, p. 595-599, 2018.

SANTOS, P. F. A.; SPOLADOR, H. F. S. Valoração econômica da água na suplementação hídrica da agricultura brasileira em um modelo multissetorial de crescimento. **Revista de Economia e Sociologia Rural** [online], v. 60, n. 1, p. e238057, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1590/1806-9479.2021.238057>.

SINGH, A. A review of wastewater irrigation: Environmental implications. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 168, p. 105454, 2021.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MØLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 2017. 761 p.

VENDRUSCOLO, E. P.; DE OLIVEIRA, P. R.; SELEGUINI, A. Aplicação de niacina ou tiamina promovem incremento no desenvolvimento de mostarda. **Revista Cultura Agrônômica**, v. 26, n. 3, p. 433-442, 2017. DOI: <https://doi.org/10.32929/2446-8355.2017v26n3p433-442>.

VENDRUSCOLO, E. P.; RODRIGUES, A. H. A.; CORREA, S. R.; SELEGUINI, A.; LIMA, S. F. Different soaking times and niacin concentrations affect yield of upland rice under water deficit conditions. **Agronomía Colombiana**, n. 37, v. 2, p. 166-172, 2019. DOI: <https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v37n2.72765>.

VENDRUSCOLO, E. P., SIQUEIRA, A. P. S., FURTADO, J. P. M., CAMPOS, L. F. C., & SELEGUINI, A. Development and quality of sweet maize inoculated with diazotrophic bacteria and treated thiamine. **Revista de Agricultura Neotropical**, n. 5, v. 4, p. 45-51, 2018. DOI: <https://orcid.org/0000-0002-3404-8534>.

VENDRUSCOLO, E. P.; SELEGUINI, A. Effects of vitamin pre-sowing treatment on sweet maize seedlings irrigated with saline water. **Acta Agronômica**, v. 69, n. 1, p. 20-25, 2020. DOI: <https://doi.org/10.15446/acag.v69n1.67528>.

ZHANG, L.; MARTINELLI, E.; SENIZZA, B.; MIRAS-MORENO, B.; YILDIZTUGAY, E.; ARIKAN, B.; LUCINI, L. The combination of mild salinity conditions and exogenously applied phenolics modulates functional traits in lettuce. **Plants**, v. 10, n. 7, p. 1457, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants10071457>.

ZHANG, Y.; SHEN, Y. Wastewater irrigation: past, present, and future. **Wiley Interdisciplinary Reviews: Water**, v. 6, n. 3, p. e1234, 2019.

ZHU, X., PAN, L., XIAO, T., REN, X., & LIU, Z. Exogenous niacin treatment increases NADPH oxidase in kiwifruit. **Brazilian Journal of Biology**, v. 78, n. 4, p. 644, 2018.

CAPÍTULO 2. VITAMINAS ALTERAM AS CARACTERÍSTICAS MORFOFISIOLÓGICAS DO PIMENTÃO CULTIVADO SOB IRRIGAÇÃO COM ÁGUA SALINA

RESUMO: Muitas espécies com importância comercial possuem baixa, ou nenhuma, tolerância a condição salina, o acúmulo de sais no meio de cultivo provoca anomalias e perdas na produtividade para essas espécies. A aplicação exógena de vitaminas em plantas tem se destacado pelo aumento do vigor das plantas, aumento dos índices reprodutivos, maior resistência as adversidades edafoclimáticas. Com base na hipótese de que a aplicação de vitaminas do complexo B podem alterar as características morfofisiológicas dos vegetais e mitigar os efeitos dos estresses abióticos, o objetivo do estudo foi avaliar os efeitos da aplicação de vitaminas do complexo B na cultura do pimentão submetidos à irrigação com água salina. Foram realizados 5 tratamentos, com o controle, sendo: irrigação com água e sem aplicação de vitaminas; irrigação com solução salina e sem aplicação de vitaminas; irrigação com solução salina e com aplicação da vitamina tiamina (NaCl+B1); irrigação com solução salina e com aplicação da vitamina niacina (NaCl+B3); e, irrigação com solução salina e com aplicação da vitamina piridoxina (NaCl+B6). A utilização da água salina durante a irrigação teve apresentou efeitos significativos sobre a fotossíntese líquida, eficiência do uso da água e eficiência instantânea de carboxilação, quando comparado ao tratamento controle, irrigado com água, sem que houvessem diferenças para as características de transpiração e teor relativo de clorofila. Foi observado que a aplicação exógena de vitaminas mitiga os efeitos provocados pela irrigação com água salina em mudas de pimentão, atenuando as perdas de massa seca e reduzindo os estresses nos mecanismos fotossintéticos, elevando a atividade fotossintética e diminuindo os efeitos deletérios da salinidade sobre o acúmulo de massa.

PALAVRAS-CHAVE: Proteção vegetal, água residual, manejo da água, agricultura regenerativa, bioestimulantes.

VITAMINS CHANGE THE MORPHOPHYSIOLOGICAL CHARACTERISTICS OF CHILLI GROWN UNDER IRRIGATION WITH SALINE WATER

ABSTRACT: Many species with commercial importance have low or no tolerance to saline conditions, the accumulation of salts in the culture medium causes anomalies and losses in productivity for these species. The exogenous application of vitamins in plants has been highlighted by the increase in plant vigor, increase in reproductive rates, greater resistance to

edaphoclimatic adversities. Based on the hypothesis that the application of B-complex vitamins can change the morphophysiological characteristics of plants and mitigate the effects of abiotic stresses, the objective of the study was to evaluate the effects of the application of B-complex vitamins on pepper crops submitted to irrigation with saline water. Five treatments were performed, with the control, as follows: irrigation with water and without application of vitamins; irrigation with saline solution and without application of vitamins; irrigation with saline solution and application of vitamin thiamine (NaCl+B1); irrigation with saline solution and application of vitamin niacin (NaCl+B3); and, irrigation with saline solution and application of vitamin pyridoxine (NaCl+B6). The use of saline water during irrigation had significant effects on net photosynthesis, water use efficiency and instantaneous carboxylation efficiency, when compared to the control treatment, irrigated with water, with no differences for transpiration characteristics and relative content of chlorophyll. It was observed that the exogenous application of vitamins mitigates the effects caused by irrigation with saline water in pepper seedlings, attenuating the loss of dry mass and reducing the stresses on photosynthetic mechanisms, increasing photosynthetic activity and decreasing the deleterious effects of salinity on the accumulation of starch.

KEY WORDS: Plant protection, wastewater, water management, regenerative agriculture, biostimulants.

2.1 INTRODUÇÃO

O uso de águas com qualidade inferior, ou salinas, na irrigação tem sido cada vez mais discutido no meio científico e considerando a dificuldade no acesso e o comprometimento dos corpos hídricos, têm acelerado as pesquisas por alternativas viáveis à produção de alimentos (Zhang e Shen, 2019; Singh, 2021). O uso de água salina na irrigação é possível para muitas espécies vegetais, que apresentam diferentes níveis de tolerância.

Muitas espécies com importância comercial possuem baixa tolerância a essa condição, e o excesso de sais no meio de cultivo causa anomalias ao longo do desenvolvimento da cultura (Hajihashemi et al., 2020), podendo ocasionar a morte em alguns casos.

Concentrações salinas, no solo ou na água, reduzem a eficiência germinativa e promovem distúrbios fisiológicos na planta, afetando o sistema fotossintético, divisão celular e, conseqüentemente, o desenvolvimento das estruturas vegetais (Singh, 2021), além de promover o acúmulo de Na^+ . Para a cultura do pimentão, a salinidade tolerável sem perdas de frutos é de $1,5 \text{ dS m}^{-1}$, produções com concentrações acima disso podem promover perdas de 14% na produção de frutos para a cultura (Lima et al., 2018).

A aplicação exógena de vitaminas em plantas tem se destacado pelo aumento do vigor das plantas, aumento dos índices reprodutivos, maior resistência as adversidades edafoclimáticas (Vendruscolo et al., 2019; Contieri et al., 2018), dentre outros incrementos fisiológicos que possibilitam o cultivo da cultura em condições de maior estresse.

A vitamina B1, ou tiamina, tem sido utilizada no fortalecimento das culturas agrícolas em condições de maior estresse (Vendruscolo et al., 2019; Vendruscolo e Seleguini, 2020; Jabeen et al., 2021), a aplicação ao longo do desenvolvimento da planta fortalece sua estrutura fisiológica e possibilita o cultivo nessas condições. A vitamina participa dos ciclos respiratórios e de geração de energia na planta, atuando como um cofator, auxiliando os processos enzimáticos (Goyer, 2010; Taiz et al., 2017).

A niacina (vitamina B3), também encontrada em diversos sistemas fisiológicos na planta, auxilia no crescimento vegetativo, acúmulo de reservas e contribui minimizando os efeitos adversos que a planta possa sofrer por ocorrência de estresses (Taiz et al., 2017; Colla et al., 2021), sua aplicação apresenta acréscimos na produção de NADPH, aumentando a resistência a estresses abióticos (Zhu et al., 2018).

A vitamina B6 participa de processos ligados a biossíntese na planta (Colinas et al., 2016), podendo melhorar a germinação (Dolatabadian Sanavy, 2008), atuar na degradação de hormônios vegetais (Mooney e Hellman, 2010), e participar de importantes ciclos. A deficiência da vitamina pode tornar a planta mais sensível a estresses abióticos (Raschke et al., 2011; Havaux et al., 2009).

Com base na hipótese de que a aplicação de vitaminas do complexo B podem alterar as características morfofisiológicas dos vegetais e mitigar os efeitos dos estresses abióticos, o objetivo do estudo foi avaliar os efeitos da aplicação de vitaminas do complexo B na cultura do pimentão submetidos à irrigação com água salina.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

2.2.1 Material vegetal e tratamentos

Para avaliar o efeito das vitaminas aplicadas exogenamente na cultura do pimentão cultivado sob irrigação com água salina, foi realizado um experimento em ambiente protegido. O experimento foi realizado em abril de 2021, na área experimental da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, Unidade Universitária de Cassilândia, Brasil. Para tanto, utilizou-se um delineamento inteiramente casualizado (DIC), com quatro repetições, sendo cada planta uma repetição.

O clima da região, segundo classificação de Köppen, é do tipo tropical chuvoso (Aw), com verão chuvoso e inverno seco (precipitação no inverno menor que 60 mm), com precipitação e temperatura média anual de 1.520 mm e 24,1 °C, respectivamente. Durante o período experimental, os dados climáticos foram coletados diariamente, por equipamento instalado à 50 m da de condução do experimento (Figura 5).

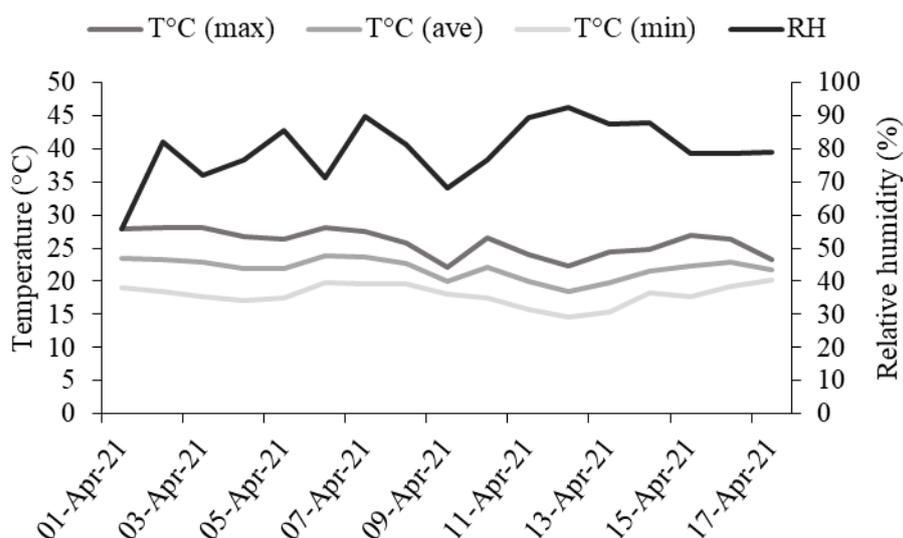


Figura 5. Características climáticas de temperatura máxima, média e mínima, precipitação e umidade relativa durante o período experimental.

As mudas de pimentão foram adquiridas de produtor certificado, garantindo a qualidade fitossanitária e homogeneidade quanto ao tamanho. Para o crescimento das plantas foram utilizados recipientes (0,35 dm³) contendo uma mistura de Neosolo Quartzarênico (pH 5,0, P 14,0 mg dm⁻³, K 3,0 mmolc dm⁻³, Ca 24,0 mmolc dm⁻³, Mg 14,0 mmolc dm⁻³, capacidade de troca de cátions 58,0 mmolc dm⁻³, saturação por bases 71,0% e matéria orgânica 13,0 g dm⁻³, 95 g kg⁻¹ de argila, 50 g kg⁻¹ de silte e 855 g kg⁻¹ de areia), vermiculita e esterco bovino curtido, em proporção de 3:1:1.

Para o estabelecimento dos tratamentos, antes do plantio nos recipientes, as mudas receberam a aplicação foliar de água (controle) e soluções de tiamina (100 mg L⁻¹), niacina (100 mg L⁻¹) e piridoxina (100 mg L⁻¹). As soluções vitamínicas foram preparadas em água e a aplicação dos tratamentos foi realizada com o auxílio de um pulverizador. Um total de 1 mL de solução foi aplicado por planta e por tratamento. Após 24 h da aplicação, as plantas foram transferidas para os recipientes com substrato.

Foram realizados 5 tratamentos, com o controle, sendo: tratamento 1 - irrigado com água e sem aplicação de vitaminas; tratamento 2 - irrigado com solução salina e sem aplicação de vitaminas; tratamento 3 - irrigado com solução salina e com aplicação da vitamina tiamina (NaCl+B1); tratamento 4 - irrigado com solução salina e com aplicação da vitamina niacina (NaCl+B3); e, tratamento 5 - irrigado com solução salina e com aplicação da vitamina piridoxina (NaCl+B6).

2.2.2 Atributos de troca gasosa e Índice relativo de clorofila

Quatorze dias após a aplicação das vitaminas foram avaliadas as características de fotossíntese líquida (A), condutância estomática (gs), concentração de CO_2 intracelular (Ci) e transpiração (E) durante a parte da manhã, quando as plantas estão em plena atividade de troca gasosa, entre 8 e 10 am, utilizando-se um medidor de fotossíntese portátil (LCi, ADC Bioscientific, Hertfordshire, Reino Unido), também foi calculado a eficiência do uso da água (A/E) e a eficiência instantânea de carboxilação (A/Ci). Utilizando-se de um clorofilômetro digital (CCM-200, Opti-Sciences, Hudson, USA) foi obtido o teor relativo de clorofilas (CLOR).

2.2.3 Atributos morfológicos

Após a obtenção das características fisiológicas as plantas foram medidas quanto à altura (PH) e o diâmetro do caule (SD). Para isso foram utilizadas uma trena graduada e um paquímetro digital, respectivamente. A altura foi obtida medindo-se desde a base da planta (nível do substrato) até o ponto mais alto, enquanto que o diâmetro foi obtido 1 cm acima do nível do solo. Em seguida, a parte aérea das plantas foi colhida e colocada para secar em estufa de ventilação forçada a $65^\circ C$, até a obtenção de massa constante, obtendo-se a massa seca (SDW).

2.2.4 Análise estatística

Os dados foram submetidos aos testes preliminares de normalidade e homocedasticidade. Posteriormente, as médias foram submetidas a análise de variância (ANOVA) e ao teste de LSD, ao nível de 5% de probabilidade. As análises foram realizadas por meio do software estatístico SISVAR (Ferreira et al., 2014).

Foi gerada uma matriz da análise de correlação de Pearson para visualizar todas as características medidas neste experimento simultaneamente. Correlações positivas foram

expressas em linhas verdes e correlações negativas foram expressas em linhas vermelhas, e a magnitude da correlação é proporcional à espessura das linhas.

2.3 RESULTADOS

A utilização da água salina durante a irrigação teve um efeito significativo sobre as características fotossíntese líquida, eficiência do uso da água e eficiência instantânea de carboxilação, quando comparado ao tratamento controle, irrigado com água, sem que houvesse diferenças para as características de transpiração e teor relativo de clorofila.

No entanto, a aplicação de tiamina, niacina e piridoxina mitigaram os efeitos da salinidade sobre as características de fotossíntese líquida e eficiência instantânea de carboxilação, elevando de maneira significativa a transpiração, em relação ao tratamento irrigado apenas com água salina. Também, a aplicação de niacina e piridoxina incrementaram os teores relativos de clorofila (Figura 6)

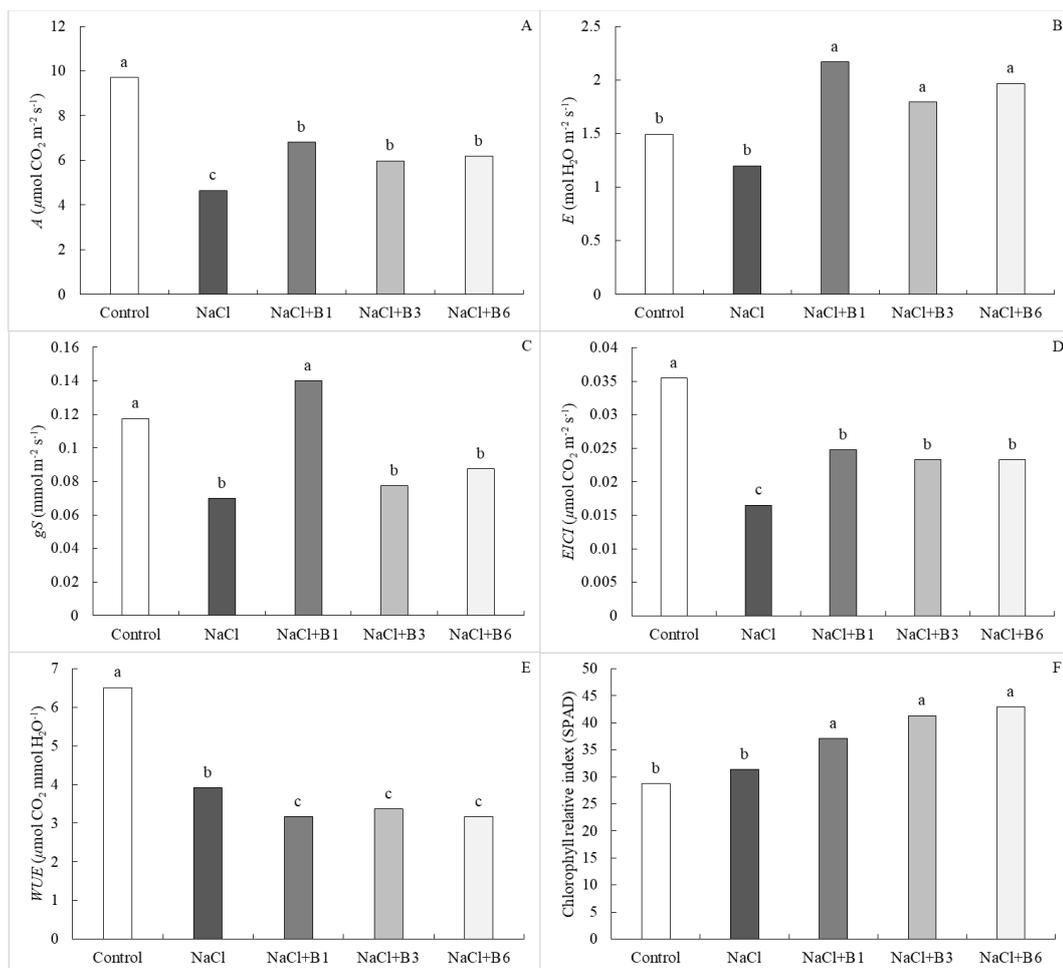


Figura 6. (A) fotossíntese líquida, (B) transpiração, (C) eficiência de uso de água (A/E) e (D) eficiência de carboxilação instantânea (A/Ci) e (E) índice relativo de clorofila em plantas de pimentão submetidas à aplicação foliar de vitaminas e irrigação com água salina (Bar representou média \pm SE.; n = 4). Controle: irrigado com água e sem aplicação de vitaminas; NaCl: irrigado com solução salina e sem aplicação de vitaminas; NaCl+B1: irrigado com solução salina e com aplicação da vitamina tiamina (NaCl+B1); NaCl+B3: irrigado com solução salina e com aplicação da vitamina niacina (NaCl+B3); NaCl+B6: irrigado com solução salina e com aplicação da vitamina piridoxina (NaCl+B6).

Para variável altura de plantas houve diferença apenas do tratamento controle para os demais tratamentos irrigados com água salina (Figura 7A). No entanto, apesar deste mesmo tratamento ter se destacado também para o diâmetro de colmo e massa seca de parte aérea, verificou-se que entre os tratamentos irrigados com água salina, houve superioridade da aplicação de niacina sobre tiamina e piridoxina, sem haver diferença para o tratamento apenas irrigado com água salina, sem aplicação de vitaminas (Figura. 7B; 7C).

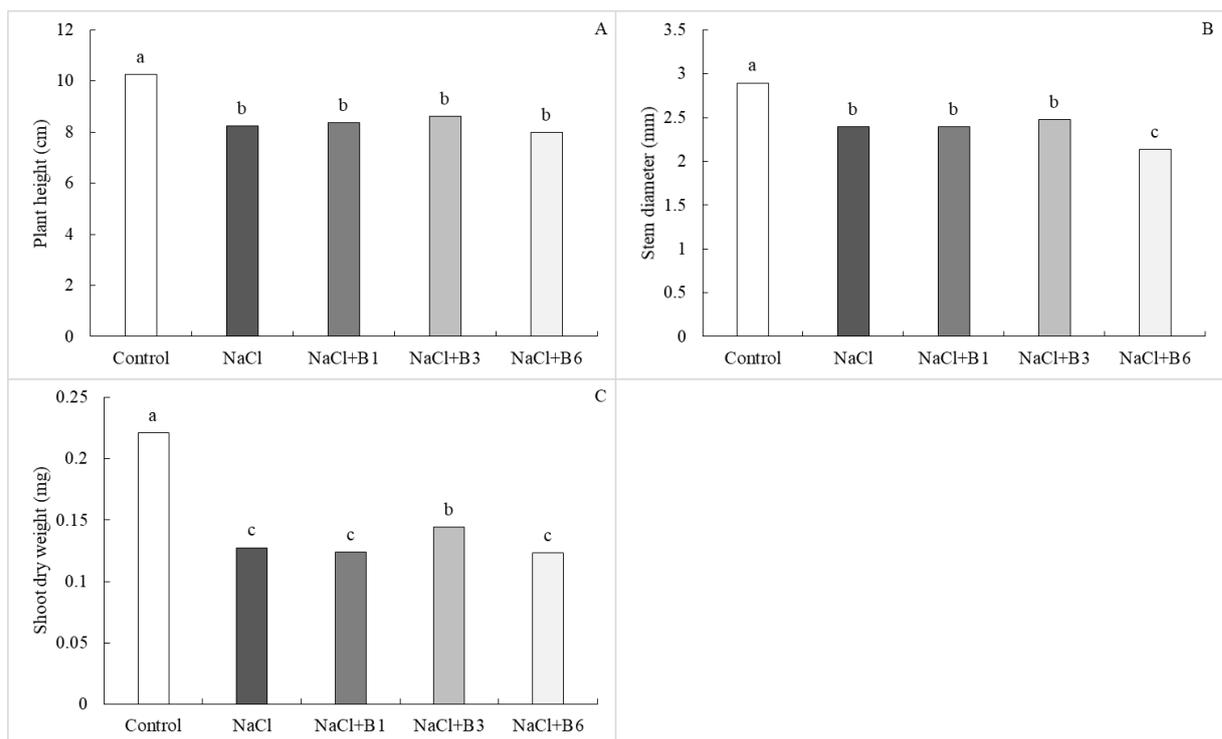


Figura 7. (A) altura da planta, (B) diâmetro do caule e (C) massa seca da parte aérea em plantas de pimentão submetidas à aplicação foliar de vitaminas e irrigação com água salina (Bar representou média \pm SE.; n = 4). Controle: irrigado com água e sem aplicação de vitaminas; NaCl: irrigado com solução salina e sem aplicação de vitaminas; NaCl+B1: irrigado com solução salina e com aplicação da vitamina tiamina (NaCl+B1); NaCl+B3: irrigado com

solução salina e com aplicação da vitamina niacina (NaCl+B3); NaCl+B6: irrigado com solução salina e com aplicação da vitamina piridoxina (NaCl+B6).

A análise de correlação permitiu verificar a interação positiva entre as características de altura, diâmetro do caule, massa seca, fotossíntese líquida, eficiência de uso de água e eficiência de carboxilação instantânea. Também, constatou-se a correlação negativa entre a característica de teor relativo de clorofila com o diâmetro de colmo e a eficiência de uso de água.

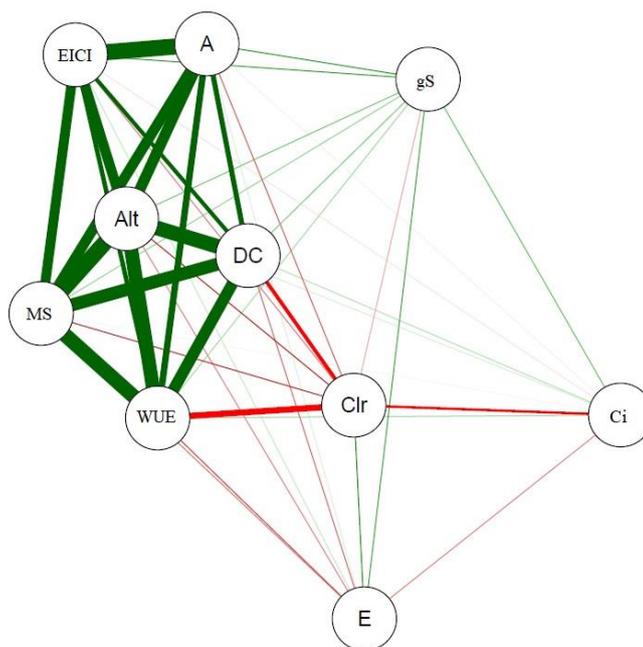


Figura 8. Rede de correlação entre as variáveis altura (Alt), diâmetro do caule (DC), massa seca (MS), fotossíntese líquida (A), transpiração (E), conteúdo de CO₂ (Ci), eficiência de uso de água (WUE), eficiência de carboxilação instantânea (EICI) e índice relativo de clorofila (Clr) de plantas de pimentão submetidas à aplicação foliar de vitaminas e irrigação com água salina.

2.4 DISCUSSÃO

Estudos que avaliaram as potencialidades de cultivo considerando a salinidade, para espécies intolerantes a essa condição, têm apontado perdas na eficiência dos mecanismos fisiológicos, resultando em menor desenvolvimento e produtividade, como observado em culturas pertencentes à família das Solanáceas, tais como tomate (Guedes et al., 2015), pimentas (Silva et al., 2021) e pimentões (Santos et al., 2020).

Concentrações superiores ao ponto de tolerância de cada cultura podem interferir na absorção hídrica e de nutrientes, além de causar a degradação dos tecidos por meio do acúmulo (Adhikari et al., 2019; Zhang et al., 2021). A aplicação exógena das vitaminas mitigou alguns dos efeitos deletérios provocados pela irrigação com água salina na cultura do pimentão,

constando ganhos em parâmetros fisiológicos que possibilitou o desenvolvimento da planta nessa condição.

A irrigação com água salina promove um aumento de Na^+ que em consequência reduz a área foliar disponível, limitando a abertura estomática (Silva et al., 2011). Ao longo do estresse há um acúmulo de espécies de oxigênio reativas, que são responsáveis pela oxidação das organelas envolvidas na atividade fotossintética (Sousa et al., 2021), afetando o desenvolvimento da planta. Os tratamentos que tiveram aplicação de vitaminas reduziram os estresses causados pela salinidade, houve um fortalecimento fisiológico com a produção de metabólitos secundários, que diminuíram os danos causados pela presença de espécies de oxigênio reativas.

O aumento da concentração de sais no reduz o potencial osmótico do solo acionando na planta mecanismos de defesa (Dias et al., 2018) que limitam abertura estomática, reduzindo a transpiração e ocasionando perdas na assimilação do CO_2 atmosférico (Taiz et al., 2017; Silva et al., 2011). A aplicação das vitaminas promoveu uma proteção das células estomáticas, o que melhorou a eficiência de carboxilação instantânea, permitindo que as plantas assimilem de maneira mais eficiente o CO_2 atmosférico (Figura 6D).

Em contrapartida, a elevada transpiração, quando não acompanhada em mesma proporção pela fotossíntese líquida, resulta em menor eficiência do uso da água (Freire et al., 2021; Taiz et al., 2017). Isso ocorre em consequência da manutenção da abertura dos estômatos, mesmo em uma condição de estresse, devido a sinalização realizada pelas vitaminas (Santos et al., 2018). Nesse sentido, corroborando os dados obtidos no presente estudo, Ramos et al. (2022) verificaram que a aplicação de tiamina aumenta a funcionalidade estomática de plantas submetidas ao estresse hídrico, as quais também tiveram incrementos significativos da fotossíntese líquida e da eficiência de carboxilação.

Em plantas submetidas à estresses, vitaminas como a tiamina têm sua concentração reduzida conforme o estresse continua atuando sobre a planta (Bosco et al., 2009). No entanto, em plantas tratadas com essa vitamina de maneira exógena, é provável que as concentrações internas permaneçam em níveis mais altos, mascarando o efeito do estresse (Kaya et al., 2015). Desta maneira, em condições hídricas adequadas, as plantas tratadas com vitaminas manterão sua atividade metabólica, novamente possibilitando a maior assimilação de C atmosférico.

2.5 CONCLUSÕES

A aplicação exógena de vitaminas ameniza os efeitos provocados pela irrigação com água salina em mudas de pimentão, reduzindo os efeitos do estresse sobre o mecanismo

fotossintético e elevando os teores de clorofila das folhas. Destaca-se ainda o uso da niacina para a amenização das perdas de massa dos órgãos aéreos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BOSCO, M. R.; OLIVEIRA, A. B.; HERNANDEZ, F. F. F.; LACERDA, C. F. Efeito do NaCl sobre o crescimento, fotossíntese e relações hídricas de plantas de berinjela. **Revista Ceres**, v. 56, n. 3, p. 296-302, 2009.

COLLA, R. E. S.; DE LIMA, S. F.; VENDRUSCOLO, E.; SECCO, V. A.; PIATI, G. L.; DOS SANTOS, O. F. Does foliar nicotinamide application affect second crop corn (*Zea mays*). **Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias UNCuyo**, v. 53, n. 2, p. 64-70, 2021.

COLINAS, M.; EISENHUT, M.; TOHGE, T.; PESQUERA, M.; FERNIE, A. R.; WEBER, A. P. M.; FITZPATRICK, T. B. O balanceamento dos vitâmeros B6 é essencial para o desenvolvimento e metabolismo da planta em Arabidopsis. **The Plant Cell**, v. 28, n. 2, p. 439-453, 2016.

CONTIERI, G. A.; CHINI, M. A.; MARGARIDO, V. O.; PELEGRINI, R. T. Desenvolvimento de técnica de clonagem de plantas por processo de estaquias in vitro empregando vitamina b1 como regulador de enraizamento. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, v. 12, n. 4, p. 383-393, 2018.

DIAS, A. S.; LIMA, G. S. de; GHEYI, H. R.; NOBRE, R. G.; FERNANDES, P. D.; SILVA, F. A. da. Trocas gasosas e eficiência fotoquímica do gergelim sob estresse salino e adubação com nitrato-amônio. **Irriga**, v. 23, n. 2, p. 220-234, 2018. DOI: 10.15809/irriga.2018v23n2p220-234.

DOLATABADIAN, A.; SANAVY, S. A. M.; CHASHMI, N. A. Efeitos da aplicação foliar de ácido ascórbico (vitamina C) sobre as atividades de enzimas antioxidantes, peroxidação lipídica e acúmulo de prolina da canola (*Brassica napus L.*) sob condições de estresse salino. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 194, n. 3, pág. 206-213, 2008.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a Guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons. **Ciência e agrotecnologia**, 38(2), 109-112, 2014.

FREIRE, M. H. DA C., SOUSA, G. G. DE, CEITA, E. D. R. DE, BARBOSA, A. S., GOES, G. F., LACERDA, C. F. (2021). Trocas gasosas de variedades de fava sob condições de salinidade da água de irrigação. **Agrarian**, v. 14, n. 51, p. 61-70. DOI: <https://doi.org/10.30612/agrarian.v14i51.11958>.

GOYER, A. Thiamine in plants: aspects of its metabolism and functions. **Phytochemistry**, v. 71, n. 14-15, p. 1615-1624, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2010.06.022>

HAJIHASHEMI, S.; MBARKI, S; SKALICKY, M.; NOEDOOST, F. Effect of wastewater irrigation on photosynthesis, growth, and anatomical features of two wheat cultivars (*Triticum aestivum L.*). **Water**, v. 12, n. 2, p. 607, 2020.

HAVAUX, M.; KSAS, B.; SZEWCZYK, A.; RUMEAU, D.; FRANCK, F.; CAFFARRI, S.; TRIANTAPHYLIDÈS, C. Vitamin B6 deficient plants display increased sensitivity to high light and photo-oxidative stress. **BMC Plant Biol**, v. 9, n. 130, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1186/1471-2229-9-130>.

JABEEN, M., AKRAM, N. A., ASHRAF, M., ALYEMENI, M. N., & AHMAD, P. Thiamin stimulates growth and secondary metabolites in turnip (*Brassica rapa* L.) leaf and root under drought stress. **Physiologia Plantarum**, v. 172, n. 2, p. 1399-1411, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1111/ppl.13215>.

KAYA, C., ASHRAF, M., SONMEZ, O., TUNA, A. L., POLAT, T., & AYDEMIR, S. Exogenous application of thiamin promotes growth and antioxidative defense system at initial phases of development in salt-stressed plants of two maize cultivars differing in salinity tolerance. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 37, n. 1, p. 1-12, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11738-014-1741-3>

LIMA, N. S.; SILVA, Ê. F. F.; MENEZES, D.; CÂMARA, T. R.; WILLADINO, L. G. FRUIT YIELD AND NUTRITIONAL CHARACTERISTICS OF SWEET PEPPER GROWN UNDER SALT STRESS IN HYDROPONIC SYSTEM. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 31, n. 2, p. 297-305, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1590/1983-21252018v31n205rc>.

MOONEY, S.; HELLMANN, H. Vitamina B6: Matar dois coelhos com uma cajadada só?. **Fitoquímica**, v. 71, n. 5-6, p. 495-501, 2010.

RAMOS, E. B.; RAMOS, S. B.; RAMOS, S. B.; DE FIGUEIREDO, P. A. M.; DA SILVA VIANA, R.; VENDRUSCOLO, E. P.; DE LIMA, S. F. Does Exogenous Vitamins Improve the Morphophysiological Condition of Sugarcane Subjected to Water Deficit?. **Sugar Tech**, p. 1-6, 2022. <https://doi.org/10.1007/s12355-022-01177-5>

RASCHKE, M., BOYCHEVA, S., CRÈVECOEUR, M., NUNES-NESE, A., WITT, S., FERNIE, A.R., AMRHEIN, N.; FITZPATRICK, T.B. Enhanced levels of vitamin B6 increase aerial organ size and positively affect stress tolerance in Arabidopsis. **The Plant Journal**, n. 66, p. 414-432, 2011. <https://doi.org/10.1111/j.1365-313X.2011.04499>.

RODOLFO A. A.; OLIVEIRA, G. F. A.; ALVES, R. C.; MEDEIROS, A.; GOMES, L. P.; COSTA, L. P. Estratégias de irrigação com água salina no tomateiro cereja em ambiente protegido. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 10, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n10p913-919>.

SANTOS, O. F.; BROETTO, F.; DE OLIVEIRA, D. P. F.; GALVÃO, ÍCARO M.; DE SOUZA, M. L. C.; BASÍLIO, J. J. N. Ácido ascórbico, uma alternativa para minimizar os efeitos da deficiência hídrica em rabanete. **IRRIGA**, v. 1, n. 1, p. 79-91, 2018. DOI: [10.15809/irriga.2018v1n1p79-91](https://doi.org/10.15809/irriga.2018v1n1p79-91).

SANTOS, L. J. S.; DIVINCULA, J. S.; SANTOS, L. A.; VIEIRA, J. H.; CARNEIRO, P. T. Efeito da salinidade na produção de mudas de pimentão. **Brazilian journal of development**, v. 6, n. 5, p. 29354-29363, 2020.

SANTOS, P. F. A.; SPOLADOR, H. F. S. Valoração econômica da água na suplementação hídrica da agricultura brasileira em um modelo multissetorial de crescimento. **Revista de**

Economia e Sociologia Rural [online], v. 60, n. 1, p. e238057, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1590/1806-9479.2021.238057>.

SILVA, J. C.; SILVA, T. V.; SANTOS, J. W. S.; PAVÃO, J. M. S. J.; LÚCIO, J. C. B.; CARNEIRO, P. T. Germinação e crescimento inicial de pimenta submetida ao estresse salino e substratos em região semiárida. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada-RBAI**, v. 15, n. 1, 2021.

SILVA, E. N.; RIBEIRO, R. V.; SILVA, S. L. F.; VIÉGAS, R. A.; SILVEIRA, J. A. G. Salt stress induced damages on the photosynthesis of physic nut young plants. **Scientia Agricola**, v. 68, n. 1, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-90162011000100010>.

SINGH, A. A review of wastewater irrigation: Environmental implications. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 168, p. 105454, 2021.

SOUSA, F. C. A.; SANTOS, I. G.; SOUSA, M. W.; SILVA, E. G.; SANTOS, B. N. G.; MEDEIROS, M. G. F.; BRITO, M. R. M.; SILVA, W. C.; SIQUEIRA, H. D. S.; SIQUEIRA, F. F. F. S. In vitro antioxidant activity of *Lippia origanoides* H.B.K. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 8, p. e2810816716, 2021. DOI: 10.33448/rsd-v10i8.16716.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MØLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 2017. 761 p.

VENDRUSCOLO, E. P.; RODRIGUES, A. H. A.; CORREA, S. R.; SELEGUINI, A.; LIMA, S. F. Different soaking times and niacin concentrations affect yield of upland rice under water deficit conditions. **Agronomía Colombiana**, n. 37, v. 2, p. 166-172, 2019. DOI: <https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v37n2.72765>.

VENDRUSCOLO, E. P.; SELEGUINI, A. Effects of vitamin pre-sowing treatment on sweet maize seedlings irrigated with saline water. **Acta Agronómica**, v. 69, n. 1, p. 20-25, 2020. DOI: <https://doi.org/10.15446/acag.v69n1.67528>.

ZHANG, Y.; SHEN, Y. Wastewater irrigation: past, present, and future. **Wiley Interdisciplinary Reviews: Water**, v. 6, n. 3, p. e1234, 2019.

ZHU, X., PAN, L., XIAO, T., REN, X., & LIU, Z. Exogenous niacin treatment increases NADPH oxidase in kiwifruit. **Brazilian Journal of Biology**, v. 78, n. 4, p. 644, 2018.