



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AGROALIMENTAR  
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
CURSO DE AGRONOMIA**

**INFLUÊNCIA DE NANOPARTICULAS DE ZINCO E  
BIOINOCULANTES NA FITOMASSA E PRODUÇÃO DO PIMENTÃO  
SOB DÉFICIT HÍDRICO**

**LAURENIO VENTURA FERREIRA**

**POMBAL-PB  
2023**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA AGROALIMENTAR  
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
CURSO DE AGRONOMIA**

**INFLUÊNCIA DE NANOPARTICULAS DE ZINCO E  
BIOINOCULANTES NA FITOMASSA E PRODUÇÃO DO PIMENTÃO  
SOB DÉFICIT HÍDRICO**

**LAURENIO VENTURA FERREIRA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Centro de Ciência e Tecnologia Agroalimentar da Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, como parte das exigências do curso de graduação em Agronomia, para obtenção do título de Bacharel em Agronomia.

**Orientador:** Prof. Dr. Josinaldo Lopes Araújo Rocha

**POMBAL-PB  
2023**

F383i Ferreira, Laurenio Ventura.

Influência de nanopartículas de zinco e bioinoculantes na fitomassa e produção do pimentão sob déficit hídrico / Laurenio Ventura Ferreira – Pombal, 2023.  
64 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar, 2023.  
“Orientação: Prof. Dr. Josinaldo Lopes Araújo Rocha”. Referências.

1. Cultivo do pimentão. 2. Microrganismos benéficos. 3. Eficiência agrônômica. 3. *Capsicum annuum* L. I. Rocha, Josinaldo Lopes Araújo.

Ficha catalográfica elaborada pela bibliotecária Auxiliadora Costa (CRB 15/716)

**LAURENIO VENTURA FERREIRA**

**INFLUÊNCIA DE NANOPARTICULAS DE ZINCO E  
BIOINOCULANTES NA FITOMASSA E PRODUÇÃO DO PIMENTÃO  
SOB DÉFICIT HÍDRICO**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado a Universidade Federal  
de Campina Grande no Centro de  
Ciência e Tecnologia Agroalimentar  
como requisito obrigatório para  
obtenção do título de bacharel em  
Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Josinaldo  
Lopez Araujo Rocha

Aprovado em: 14 de julho de 2023

**BANCA EXAMINADORA:**



Orientador - Prof. Dr. Josinaldo Lopes Araujo Rocha

(Universidade Federal de Campina Grande – CTRN – UAEA)



Membro – Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Adriana Silva Lima

(Universidade Federal de Campina Grande – CCTA – UAGRA)



Membro – Prof. Dr. Francisco Hevilasio Freire Pereira

(Universidade Federal de Campina Grande – CCTA – UAGRA)

**POMBAL-PB**

**2023**

## DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a meus pais Lauro Gonçalves Ferreira e Patrícia Ventura Ferreira e aos meus irmãos Alana Ventura Ferreira e José Laurindo Ventura Ferreira. Por todo apoio, persistência e perseverança que tive para fazer essa graduação.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente a Deus por ouvir e atender às minhas orações e por me abençoar incessantemente;

A minha família que sempre me apoiou bastante, diante de todas as dificuldades que tive que enfrentar;

Ao meu orientador Josinaldo Lopes Araújo Rocha, por todo comprometimento e disponibilidade, durante o período de orientação;

Ao Centro de Ciência e Tecnologia Agroalimentar, por me acolher durante todo esse tempo;

A todos os professores da graduação, pelas amizades que desenvolvi e pela extrema contribuição na minha formação;

A todos os funcionários do campus e da fazenda experimental, por sempre ter a boa vontade de ajudar;

A todos os amigos que pude desenvolver durante essa jornada de aprendizado;

A Fapesq, devido ao apoio financeiro Outorga 3071/2021-Fapesq/PB Edital Universal 09/2021 SEECT/Fapesq;

A todos vocês o meu muito obrigado.

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Tratamentos aplicados como atenuantes do déficit hídrico no pimentão (kolima) Fazenda Experimental CCTA/UFCG, SÃO DOMINGOS, 2023.....	27
<b>Tabela 2.</b> Atributos químicos e físicos do solo na camada de 0-20 cm do solo.....	29
<b>Tabela 3.</b> Quadrados médios para as variáveis, massa seca de folhas (MSF), massa seca de caule (MSC), massa seca da parte aérea (MSPA) de plantas de pimentão 'Kolima', aos 164 dias após o transplante. E referente ao número de frutos comerciais (NFC), número de frutos não comerciais (NFNC), número de frutos total (NFT) produção de frutos comerciais (PFC), produção de frutos não comerciais (PFNC) e produção de frutos total (PFT). .....	36

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Dados climatológicos de temperatura (C°), umidade relativa do ar e (%) precipitação (mm) durante o período experimental no campo (AGRITEMPO, 2023). .....	27
<b>Figura 2.</b> Disposição das parcelas experimentais no campo, na Fazenda Experimental do CCTA/UFCG, São Domingos - PB, 2023. ....	29
<b>Figura 3.</b> Mudanças de pimentão (A) e aplicação da solução nutritiva (B).....	31
<b>Figura 4.</b> Preparo da área com arado de disco acoplado ao trator e levantamento das leiras (A), adubação de plantio (B). ....	31
<b>Figura 5.</b> Pesagem dos fertilizantes (A) e caixa para mistura para a fertirrigação (B). .....	32
<b>Figura 6.</b> Instalação do sistema de irrigação por gotejamento (A), teste do sistema de irrigação por gotejamento (B). ....	32
<b>Figura 7.</b> Colheita do pimentão para encaminhar ao laboratório (A), pimentões prontos para pesagem e medição (B). ....	35
<b>Figura 8.</b> Massa seca de folhas (A), de pimentão em função dos tratamentos atenuantes do déficit hídrico sob irrigação plena (100% da Eto) e déficit de irrigação (50% da Eto). (T1 = ZnSO <sub>4</sub> 7H <sub>2</sub> O via foliar, T2 = NPZnO via foliar, T3 = NPZnO via foliar + Bio, T4 = ZnSO <sub>4</sub> 7H <sub>2</sub> O via solo + Bio e C = controle). Letras minúsculas comparam os tratamentos (T) dentro de cada lâmina de irrigação e letras maiúsculas comparam as lâminas de irrigação dentro de cada tratamento (T) pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de significância. ....	38
<b>Figura 8.</b> Massa seca de caule (B) de pimentão em função dos tratamentos atenuantes do déficit hídrico sob irrigação plena (100% da Eto) e déficit de irrigação (50% da Eto). (T1 = ZnSO <sub>4</sub> 7H <sub>2</sub> O via foliar, T2 = NPZnO via foliar, T3 = NPZnO via foliar + Bio, T4 = ZnSO <sub>4</sub> 7H <sub>2</sub> O via solo + Bio e C = controle). Letras minúsculas comparam os tratamentos (T) dentro de cada lâmina de irrigação e letras maiúsculas comparam as lâminas de irrigação dentro de cada tratamento (T) pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de significância. ....	39
<b>Figura 8.</b> Massa seca da parte aérea (C) de pimentão em função dos tratamentos atenuantes do déficit hídrico sob irrigação plena (100% da Eto) e déficit de irrigação (50% da Eto). (T1 = ZnSO <sub>4</sub> 7H <sub>2</sub> O via foliar, T2 = NPZnO via foliar, T3 = NPZnO via	

foliar + Bio, T4 = ZnSO<sub>4</sub> 7H<sub>2</sub>O via solo + Bio e C = controle). Letras minúsculas comparam os tratamentos (T) dentro de cada lâmina de irrigação e letras maiúsculas comparam as lâminas de irrigação dentro de cada tratamento (T) pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de significância. ....40

**Figura 9.** Número de frutos comerciais (A), frutos não comerciais (B) e número total de frutos (C) de pimentão em função dos tratamentos atenuantes do déficit hídrico sob irrigação plena (100% da Eto) e déficit de irrigação (50% da Eto). (T1 = ZnSO<sub>4</sub> 7H<sub>2</sub>O via foliar, T2 = NPZnO via foliar, T3 = NPZnO via foliar + Bio, T4 = ZnSO<sub>4</sub> 7H<sub>2</sub>O via solo + Bio e C = controle). Letras minúsculas comparam os tratamentos (T) dentro de cada lâmina de irrigação e letras maiúsculas comparam as lâminas de irrigação dentro de cada tratamento (T) pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de significância.....42

**Figura 9.** Números de frutos não comerciais (B) de pimentão em função dos tratamentos atenuantes do déficit hídrico sob irrigação plena (100% da Eto) e déficit de irrigação (50% da Eto). (T1 = ZnSO<sub>4</sub> 7H<sub>2</sub>O via foliar, T2 = NPZnO via foliar, T3 = NPZnO via foliar + Bio, T4 = ZnSO<sub>4</sub> 7H<sub>2</sub>O via solo + Bio e C = controle). Letras minúsculas comparam os tratamentos (T) dentro de cada lâmina de irrigação e letras maiúsculas comparam as lâminas de irrigação dentro de cada tratamento (T) pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de significância.....42

**Figura 9.** Número total de frutos (C) de pimentão em função dos tratamentos atenuantes do déficit hídrico sob irrigação plena (100% da Eto) e déficit de irrigação (50% da Eto). (T1 = ZnSO<sub>4</sub> 7H<sub>2</sub>O via foliar, T2 = NPZnO via foliar, T3 = NPZnO via foliar + Bio, T4 = ZnSO<sub>4</sub> 7H<sub>2</sub>O via solo + Bio e C = controle). Letras minúsculas comparam os tratamentos (T) dentro de cada lâmina de irrigação e letras maiúsculas comparam as lâminas de irrigação dentro de cada tratamento (T) pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de significância. ....43

**Figura 10.** Produção de frutos comerciais (A), frutos não comerciais (B) e número total de frutos (C) de pimentão em função dos tratamentos atenuantes do déficit hídrico sob irrigação plena (100% da Eto) e déficit de irrigação (50% da Eto). (T1 = ZnSO<sub>4</sub> 7H<sub>2</sub>O via foliar, T2 = NPZnO via foliar, T3 = NPZnO via foliar + Bio, T4 = ZnSO<sub>4</sub> 7H<sub>2</sub>O via solo + Bio e C = controle). Letras minúsculas comparam os tratamentos (T) dentro de cada lâmina de irrigação e letras maiúsculas comparam as

lâminas de irrigação dentro de cada tratamento (T) pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de significância.....44

**Figura 10.** Frutos não comerciais (B) e número total de frutos (C) de pimentão em função dos tratamentos atenuantes do déficit hídrico sob irrigação plena (100% da Eto) e déficit de irrigação (50% da Eto). (T1 = ZnSO<sub>4</sub> 7H<sub>2</sub>O via foliar, T2 = NPZnO via foliar, T3 = NPZnO via foliar + Bio, T4 = ZnSO<sub>4</sub> 7H<sub>2</sub>O via solo + Bio e C = controle). Letras minúsculas comparam os tratamentos (T) dentro de cada lâmina de irrigação e letras maiúsculas comparam as lâminas de irrigação dentro de cada tratamento (T) pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de significância. ....45

FERREIRA, L. V. **Influência de nanopartículas de zinco e bioinoculantes na fitomassa e produção do pimentão sob déficit hídrico**, 2023. Monografia (Graduação em Agronomia) – Universidade Federal de Campina Grande, Pombal, 2023.

## RESUMO

O pimentão (*Capsicum annum L.*) encontra-se entre as dez hortaliças mais cultivadas e de maior importância econômica no mercado brasileiro, além disso, é notório que a água é fundamental no seu metabolismo, com demanda hídrica variável em cada fase fenológica, ocasionando alteração no crescimento e desenvolvimento da cultura. A escassez de água é um dos fatores que mais limita o crescimento e a produtividade das culturas. O estresse hídrico afeta negativamente os processos fisiológicos e bioquímicos das plantas que restringem o crescimento, desenvolvimento e a produtividade das plantas. O uso de nanofertilizantes e bioinoculantes pode ser uma alternativa para a redução do uso dos adubos químicos na produção do pimentão, além de aumentar a eficiência da biota do solo devido à adição de microrganismos benéficos. Diante disso, objetivou-se com esse trabalho, avaliar a influência de nanopartículas de óxido de zinco (NPZnO) e sulfato de zinco ( $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ ), associados ou não a bactérias promotoras de crescimento de plantas (BPCP) como atenuantes do estresse hídrico. O trabalho foi conduzido na Fazenda Experimental Rolando Henrique Rivas Castellón, da Universidade Federal de Campina Grande, no município de São Domingos-PB, a 30 Km do Campus de Pombal, PB. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, em esquema de parcelas subdivididas no espaço, onde as parcelas compreenderam dois níveis de irrigação (100% e 50% da evapotranspiração potencial -Eto) e as subparcelas por cinco tratamentos, compostos pela combinação de nanopartículas de óxidos de zinco, sulfato de zinco e bioinoculantes (Bio), composto pela mistura do produto comercial Biobaci® (*Bacillus subtilis* BV-09, contendo  $1,0 \times 10^8$  UFC/mL) e Nonema® (*B. amyloliquefaciens*, contendo  $1,0 \times 10^9$  UFC/mL), sendo estes (T1 =  $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$  via foliar, T2 = NPZnO via foliar, T3 = NPZnO via foliar + Bio, T4 =  $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$  via solo + Bio e C = Controle), com 4 repetições. As variáveis avaliadas foram a massa seca de folhas, caule e parte aérea, número de frutos totais, comerciais e não; e produção total. A aplicação de NPZnO via foliar, NPZnO via foliar + Bio e  $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$  via solo + Bio, sob lâmina de 100% da ETo promoveram maiores ganhos no acúmulo de fitomassa, produção e produtividade do pimentão.

**Palavras-chave:** Microrganismos benéficos; eficiência agrônômica; *Capsicum annum L.*

FERREIRA, L. V. **Influência de nanopartículas de zinco e bioinoculantes na fitomassa e produção do pimentão sob déficit hídrico**, 2023. Monografia (Graduação em Agronomia) – Universidade Federal de Campina Grande, Pombal, 2023.

## ABSTRACT

Bell pepper (*Capsicum annum* L.) is among the ten most cultivated vegetables and of greatest economic importance in the Brazilian market. change in crop growth and development. Water scarcity is one of the factors that most limit crop growth and productivity. Water stress negatively affects physiological and biochemical processes in plants that restrict plant growth, development and productivity. The use of nanofertilizers and bioinoculants can be an alternative to reduce the use of chemical fertilizers in sweet pepper production, in addition to increasing the efficiency of soil biota due to the addition of beneficial microorganisms. Therefore, the objective of this work was to evaluate the influence of nanoparticles of zinc oxide (NPZnO) and zinc sulfate ( $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ ), associated or not with plant growth promoting bacteria (BPCP) as attenuator of water stress. The work was carried out at the Experimental Farm Rolando Henrique Rivas Castellón, at the Federal University of Campina Grande, in the municipality of São Domingos-PB, 30 km from the Pombal Campus, PB. The experimental design used was randomized blocks, in a split-plot scheme in space, where the plots comprised two levels of irrigation (100% and 50% of potential evapotranspiration -Eto) and the subplots comprised five treatments, composed of the combination of nanoparticles of zinc oxides, zinc sulfate and bioinoculants (Bio), composed of a mixture of the commercial product Biobaci® (*Bacillus subtilis* BV-09, containing  $1.0 \times 10^8$  CFU/mL) and Nonema® (*B. amyloliquefaciens*, containing  $1,0 \times 10^9$  CFU/mL), these being (T1 =  $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$  via foliar, T2 = NPZnO via foliar, T3 = NPZnO via foliar + Bio, T4 =  $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$  via soil + Bio and C = Control), with 4 replications. The evaluated variables were the dry mass of leaves, stems and shoots, number of total fruits, commercial and not; and total production. The application of NPZnO via foliar, NPZnO via foliar + Bio it is  $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$  via soil + Bio, under a depth of 100% of ETo promoted greater gains in the accumulation of phytomass, production and productivity of bell pepper.

**Key-Words:** Beneficial microorganisms; agronomic efficiency; *Capsicum annum* L.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>14</b>
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>17</b>
2.1 Aspectos gerais da cultura do pimentão ( <i>capsicum annuum L.</i> ) .....	17
2.2 Influência do déficit hídrico sobre a produtividade de hortaliças .....	19
2.3 Efeito do déficit hídrico na produção de hortaliças de frutos .....	21
2.4 Nanofertilizantes e seus efeitos como atenuantes do estresse hídrico .....	23
2.5 Bactérias promotoras do crescimento vegetal como atenuantes do estresse hídrico.....	24
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>26</b>
3.1 Caracterização da área experimental.....	26
3.2 Delineamento experimental e tratamentos .....	27
3.3 Preparo da área, produção de mudas e plantio .....	29
3.4 Manejo das lâminas de irrigação.....	32
3.5 Características avaliadas .....	34
3.6 Análise estatística .....	36
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>36</b>
<b>5 CONCLUSÃO .....</b>	<b>46</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>47</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O pimentão (*Capsicum annuum* L.) encontra-se entre as dez hortaliças mais cultivadas e de maior importância econômica no mercado brasileiro (CASAIS et al., 2018; ALVES et al., 2021). Na região Nordeste, além de apresentar grande potencial de exploração dessa cultura, o cultivo de pimentão é uma atividade que ocupa lugar de destaque na economia e na agricultura nordestina, por gerar emprego e renda, principalmente, para pequenos e médios produtores, ocupando uma área de 13 mil hectares no território brasileiro, produzindo cerca de 350 mil toneladas no ano. (COSTA, 2020; BRAINER, 2021).

A cultura é bastante exigente no que se refere às características químicas e físicas do meio de cultivo, contudo, os produtores enfrentam fatores adversos como má disponibilidade de água, altas temperaturas, baixa precipitação e baixa umidade relativa, que ocasionam estresse hídrico à planta, o qual associado a falta de aplicação de novas tecnologias de produção, limitam a produtividade da cultura e a qualidade do produto (MELO, 2018).

Salienta-se que o pimentão, como as hortaliças em geral, possui desenvolvimento influenciado pelas condições de umidade do solo. A deficiência hídrica é normalmente, o fator mais limitante à obtenção de produtividades elevadas e produtos de boa qualidade, mas o excesso também pode ser prejudicial, sendo que a reposição de água ao solo por irrigação, na quantidade e no momento oportuno, é decisiva para obter a maximização da produção (CAMPOS et al., 2021).

O déficit hídrico pode ser definido como a falta de água no solo abaixo da demanda da planta, no qual reduz a absorção de água e alguns nutrientes por meio do sistema radicular. Isso pode afetar negativamente todos os estágios de desenvolvimento da cultura, por meio de alterações na morfologia, fisiologia e bioquímica das plantas, acarretando prejuízos na produtividade das culturas (CAMPOS et al., 2021). Na cultura do pimentão o déficit hídrico é um fator limitante na produção, por ocasionar redução do crescimento e desenvolvimento da planta e frutos, menor produtividade e baixa qualidade dos frutos e um maior desenvolvimento radicular com menor eficiência de absorção de nutrientes (ROCHA, 2017). Pode ainda, causar abortamento e queda de flores, sendo essa uma das principais causas de perda de produção (NASCIMENTO, 2014).

Fontes alternativas de nutrientes têm sido estudadas nos últimos anos com o objetivo de reduzir o uso de adubos químicos na agricultura. Os fertilizantes mais estudados e empregados na agricultura são os fertilizantes orgânicos, por vezes, denominados adubos naturais, em razão de sua origem, animal ou vegetal. Dentre eles, tem-se ganhado destaque o uso de nanofertilizantes na agricultura, sendo fertilizantes inteligentes, principalmente por ter uma alta eficiência no uso de nutrientes pois possuem a capacidade de aumentar o rendimento e a qualidade das culturas através de uma maior eficiência no uso de nutrientes, promovendo dessa forma, sustentabilidade na produção agrícola (CIESCHI et al., 2019; NASEEM et al., 2020; CARMONA et al. 2020; COTA-RUIZ et al., 2020; SHARMA et al., 2020; LÓPEZ-RUEDA, 2022). Além disso, os nanofertilizantes apresentam potencial de redução dos efeitos negativos do estresse hídricos em algumas culturas (GHOLINEZHAD 2017; AHMADIAN et al., 2021; SUN et al., 2020).

Diversas pesquisas tem aprovado o uso de produtos que contém em sua composição nanofertilizantes (GARCIA-LÓPEZ et al., 2019; AHMADIAN et al., 2021). A utilização destes produtos está entre as mais promissoras tecnologias para se alcançar a sustentabilidade da produção agrícola, devido serem constituídos por polímeros semipermeáveis de liberação lenta e controlada, aonde não ocasiona acúmulo além da concentração necessária pela planta, possibilitando melhorias nas suas características (PORTO et al., 2022).

O uso de nanopartículas (materiais com tamanho menor que 100 nm) na agricultura tem se tornando cada vez mais frequente, especialmente aquelas contendo micronutrientes de plantas, como o zinco (GARCIA-LÓPEZ et al., 2019; AHMADIAN et al., 2021). Alguns trabalhos demonstraram que a aplicação de nanofertilizantes em milho, trigo e em soja, pode diminuir os efeitos estressantes do déficit hídrico (GHOLINEZHAD 2017; AHMADIAN et al., 2021; SUN et al., 2020). Entretanto, em hortaliças de frutos os trabalhos desta natureza são escassos (GARCIA-LÓPEZ et al., 2019).

Dentre as possíveis estratégias para atenuar o estresse hídrico nas culturas, tem recebido atenção da pesquisa, as bactérias promotoras do crescimento de plantas (VURUKONDA et al., 2016; CHANDRA et al., 2018; OJUEDERIE et al., 2019; Lima et al., 2019; AKHTAR et al., 2020).

O entendimento das interações entre microrganismos e plantas, que proporcionam importantes papéis para a manutenção do ecossistema, possuindo a capacidade de promover o crescimento de plantas, seja pela produção de hormônios vegetais, disponibilização de nutrientes ou até mesmo pela inibição de fitopatógenos, os agentes causadores de doenças em plantas (VINCI et al., 2018; MATOS et al., 2019).

O uso de bactérias promotoras do crescimento de plantas (BPCP) na agricultura é uma tecnologia ambientalmente amigável, uma vez que pode aumentar a produtividade das culturas, a fertilidade do solo, a exemplo dos solublizadores de fosfato, sem exercer nenhum efeito tóxico no ambiente. Além disso, podem diminuir a disponibilidade de substâncias tóxicas e metais pesados no solo (RAMAKRISHNA et al., 2019).

Vários microrganismos já foram identificados por seus comportamentos que possibilitam um maior desenvolvimento vegetal, dentre eles, evidencia-se com aspectos relacionados as bactérias do gênero *Bacillus* e fungos do gênero *Trichoderma*, que realizam a fixação e solubilização de determinados nutrientes e ajudam os vegetais a tolerar o déficit hídrico por meio da metabolização desses nutrientes (CHAGAS et al., 2017; SU et al., 2017, CAMARGO et al., 2017). Algumas pesquisas já relataram, que bactérias *B. amyloliquefaciens* e o fungo *Trichoderma asperellum*, são responsáveis por aumentar o desenvolvimento de vegetais mesmo sob condições de estresses abióticos e proporcionar resistência das culturas a estresses bióticos (CHAGAS et al., 2017).

Segundo Mendes et al. (2022) as espécies do gênero *Bacillus*, atuam como importantes agentes na secreção de diversos metabólitos bioativos, fabricação de endósporos altamente tolerantes as condições edafoclimáticas do ambiente em que estão, possuindo alta facilidade de armazenamento e reprodução. Ainda conforme os autores, o mesmo gênero possui muitas linhagens citadas como benéficas amplamente difundidas no mundo, incluindo *Bacillus amyloliquefaciens* e *Bacillus licheniformis*. As bactérias *B. amyloliquefaciens* e *B. Licheniformis* tem ampla aptidão de produzir enzimas com espectro de ação fitossanitárias e fitormônais, conseqüentemente pela regulação do desenvolvimento do vegetal (MURAS et al., 2021; ABREU et al., 2022).

Dessa forma, a difusão dessas tecnologias pode proporcionar o aumento da produção e qualidades dos frutos do pimentão, atuando, seja de forma independente ou através de interações, afim de minimizar os efeitos negativos do déficit hídrico presente principalmente nas regiões semiáridas nordestina. Esse comportamento pode resultar em melhor aproveitamento dos resíduos orgânicos na agricultura, que pode constituir-se de uma prática ambientalmente saudável.

Diante disso, o objetivo desse estudo foi testar a hipótese de que nanopartículas de zinco e bioinoculantes aplicados via foliar ou via solo, pudessem influenciar os efeitos negativos causados pelo estresse hídrico na qualidade dos frutos de pimentão.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 Aspectos gerais da cultura do pimentão (*Capsicum annuum* L.)**

O cultivo do pimentão (*Capsicum annuum* L.), apresenta elevada importância econômica, social e nutricional. Apresenta nutrientes essenciais como antioxidantes, licopeno, ácido ascórbico e carotenoides, sendo o mesmo comercializadas em quatro cores, incluindo verde, vermelho, laranja e amarelo (MOHI-ALDEN et al., 2022). Todavia a coloração influencia no sabor, aroma e no preço (LEME, 2012). Além do conteúdo nutricional, os atributos sensoriais como cheiro e sabor que agradam muito o ser humano, sendo uma razão para serem utilizados em salada, como condimento, seco e moído ou cozido de diversas formas (SILVA, 2021).

O pimentão pertence à família das solanáceas, originário do continente americano, sendo considerado como centro primário o México e América Central, já os centros secundários incluem sudeste e centro da Europa, África, Ásia e partes da América Latina (GUIMARAES; MOURA, 2018). No Brasil o pimentão é cultivado em praticamente todo território nacional, explorando as diversas variedades, sendo os maiores produtores a região Sudeste e Nordeste, de acordo com o último censo agropecuário (IBGE, 2017).

A planta apresenta porte arbustivo, caule semilenhoso, que pode alcançar mais de um metro de altura, podendo suportar uma carga leve de frutos. Porém no caso de híbridos, se faz necessário realizar a prática do tutoramento, em virtude da

alta produtividade, garantindo assim frutos de qualidade. As flores são pequenas, solitárias e hermafroditas, sendo uma planta autógama, apesar disso, pode ocorrer certo nível de polinização cruzada. O fruto é classificado como do tipo baga oca, que possui polpa firme, podendo apresentar variação de cores e formas dependendo da variedade, já as sementes possuem coloração branca amarelada (CASALI & COUTO, 1984; SILVA, 2021). Em relação ao sistema radicular, o maior volume de raízes se concentra nos primeiros 30 cm do perfil do solo, apresentando pouco desenvolvimento lateral (COSTA, 2020).

O metabolismo fotossintético do pimentão é classificado como C3, diante disso, a temperatura ideal para seu ciclo vegetativo é entorno de 17 °C, sendo a temperatura abaixo de 10°C e acima de 30°C são prejudiciais ao seu desenvolvimento (PÁDUA et al., 1984). Já Henz et al. (2007) classificou os estágios de desenvolvimento dessa cultura em faixas ideais de temperatura para, em que a germinação de sementes e a emergência das plântulas ideal, ocorre entre 25° e 30°C. O seu florescimento ótimo acontece entre 21° e 27°C, porém abaixo de 15°C ocorre abortamento das flores. O pegamento e desenvolvimento dos frutos ocorre melhor entre 19° a 21°C, enquanto temperaturas acima de 35°C são prejudiciais. Os autores ainda ressaltam que a umidade relativa do ar deve estar entre 50-70% para um melhor florescimento e desenvolvimento dos frutos de pimentão.

Quanto aos tratos culturais, a adubação e a irrigação estão entre os mais importantes fatores para uma elevada produtividade e melhoria na qualidade dos frutos. Devido essa cultura possuir elevada exigência quanto à fertilidade do solo, sendo necessário a reposição de nutrientes por meio de adubações orgânica ou mineral para suprir as exigências da planta (CASALS et al., 2018). Com relação a irrigação, por ser uma cultura muito sensível ao excesso ou déficit de água, é necessário o cuidado quanto ao fornecimento de água às plantas (KAISER, 2020). Sendo que o acúmulo de água favorecer o surgimento de doenças que podem causar apodrecimento do colo e raízes, abortamento e queda de flores, enquanto a falta, durante os estádios de floração e pegamento de frutos, reduz a produtividade em decorrência da queda de flores e abortamento dos frutos, além de provocar o aparecimento de podridão apical nos frutos (SILVA, 2021).

## **2.2 Influência do déficit hídrico sobre a produtividade de hortaliças**

A água é um recurso indispensável para as plantas, por estar relacionada à diversos processos fisiológicos, como por exemplo, fotossíntese, transporte e absorção de nutrientes, no qual sua ausência ou má disponibilidade, acarretam o estresse hídrico que pode ser responsável por causar prejuízos a planta, sendo assim, essencial para o desenvolvimento dos vegetais (CAMPOS, 2021). A deficiência hídrica provoca alterações no comportamento vegetal cuja irreversibilidade vai depender do genótipo, da duração, da severidade e do estágio de desenvolvimento da planta (BISPO et al., 2017).

O déficit hídrico é um dos principais fatores que podem causar distúrbios nas culturas agrícolas. Podendo ser definido como a disponibilidade de água no solo em quantidades insuficientes para atender a demanda da planta, resultando na redução do conteúdo de água e alguns nutrientes que são absorvidos pelo sistema radicular (CAMPOS, 2021).

Solos com alta disponibilidade de água afetam negativamente o teor de sólidos solúveis, aumentando, principalmente, os gastos com energia durante o processo de concentração da polpa (MARQUELLI et al., 2012), além de reduzir o valor agregado ao produto. Quando ocorre o oposto, ou seja, em solos em situações de déficit hídrico, ocorre redução na taxa de divisão e de alongamento celulares, em razão da redução da pressão de turgescência, notadamente pelo menor conteúdo de água, resultando, conseqüentemente, em menor expansão da parede celular, crescimento vegetal, abertura dos estômatos e movimentos de folhas e flores (TAIZ & ZEIGER, 2009).

Dentre os efeitos causados pelo estresse hídrico, pode ser citado a desidratação da célula vegetal, que conseqüentemente ocasiona a redução do potencial hídrico e da resistência hidráulica nos vasos do xilema, além de promover prejuízos no decréscimo da produção, da área foliar, do fechamento dos estômatos, da aceleração da senescência e da abscisão das folhas (BISPO et al., 2017).

Quando as plantas são expostas a situações de déficit hídrico exibem, frequentemente, respostas fisiológicas que resultam, de modo indireto, na conservação da água no solo, como se estivessem economizando para períodos posteriores (TAIZ et al., 2017; NUNES et al., 2019). Esse estresse pode afetar todos

os seus estágios de desenvolvimento da planta, desde germinação até seu crescimento total (CAMPOS, 2021).

Ao momento que a planta explora o volume e o contato íntimo entre a superfície das raízes e o solo são essenciais para a absorção efetiva da água pelas raízes. O contato é maximizado pela emissão dos pelos radiculares, com consequente aumento na área superficial e na capacidade de absorção da água. Além disso, o déficit hídrico estimula a expansão do sistema radicular para zonas mais profundas e úmidas do perfil do solo. Porém, em condições de déficit hídrico há maior expansão das raízes, devido ao secamento da superfície do solo (BISPO et al., 2017). Durante o desenvolvimento das plantas, a densidade e o comprimento de raízes aumentam até o início da floração das plantas, decrescendo posteriormente, com diminuição na eficiência de absorção de água (DUARTE, 2012).

A deficiência hídrica limita a produtividade das culturas, principalmente no cultivo de hortaliças. Na cultura do pimentão, em particular, a falta de água durante a fase inicial de frutificação pode limitar a translocação de nutrientes, especialmente o cálcio, onde sua ausência ocasiona má formação do meristema apical consequentemente provocará redução da área foliar, contribuindo, respectivamente, para o surgimento das anomalias fisiológicas, como podridão apical e escaldadura, resultando em perdas relevantes de qualidade e produção dos frutos (HARTZ et al., 2008).

Porém o tomateiro porta sensibilidade sob o déficit hídrico, sendo que a planta se adapta a este fator pelo ajuste osmótico, ou seja, redução do potencial osmótico celular, pelo acúmulo de solutos compatíveis, gerando, assim, uma tolerância. Várias moléculas estão associadas a este mecanismo, incluindo diversos tipos de açúcares, ácidos orgânicos, aminoácidos, além de alguns íons (GRANT, 2012).

As práticas com o déficit hídrico aumentam os níveis de ácido abscísico (ABA) nas plantas. Numerosos estudos demonstraram que uma maior concentração de ABA na seiva do xilema, induz o fechamento estomático parcial e reduz a expansão foliar, reduzindo, assim, o uso da água da planta, melhorando a eficiência do seu uso (DODD, 2009). Sob déficit de água, o aumento da concentração de citocinina no xilema diminui a sensibilidade estomática à ABA e promove abertura estomática, enquanto uma atenuação nos níveis de citocinina eleva o fechamento estomático

(DAVIES et al., 2005).

Segundo Patanè et al. (2011), constataram que a acidez titulável não é influenciada pelos regimes de irrigação, sendo obtido maiores valores do ácido cítrico em frutos submetidos ao déficit hídrico. Já Campagnol et al. (2014), ressaltam que não encontraram diferenças significativas da acidez titulável em função de níveis de reposição da ETc (60% a 140%).

### **2.3 Efeito do déficit hídrico na produção de hortaliças de frutos**

A deficiência hídrica é um dos principais fatores causadores de estresse nas culturas e responsável por alterações nas características de crescimento e produção das plantas. Nunes (2019) refere-se ao estresse em plantas como uma situação fisiológica induzida quando ocorre intensa ou constante variação do meio ambiente, alterando o padrão fisiológico e adaptativo normal da planta. Essa opinião confirma justamente os achados de Madrid et al. (2009) e de Santos (2019), pois o déficit hídrico reduz o acúmulo de água pelos frutos e conseqüentemente o seu peso.

Para Flores (2020), a extensão dos efeitos do déficit hídrico nas espécies vegetais depende de sua intensidade e duração e da capacidade genética das plantas em responder às mudanças do ambiente. Como também ocasiona no efeito do déficit hídrico sobre a produção das culturas, estando vinculado ao período de ocorrência durante o desenvolvimento das plantas. Diante disso, segundo LIMA et al. 2012, analisando os diferentes níveis de irrigação de 50%, 75%, 100% e 125% da ETc, utilizando a cultivar de pimentão Konan R, em ambiente protegido, observou que o diâmetro de caule não foi significativamente influenciado pelos tratamentos, como também, baseados na evapotranspiração da cultura, concluíram que a produção, a altura das plantas e o diâmetro dos frutos, foram significativamente influenciados pelos tratamentos de irrigação, sendo que os maiores valores de produção observados, foram nos tratamentos compreendidos com lâmina de irrigação de 125% da ETc. No entanto, SANTANA et al. (2004) avaliou o efeito de diferentes tensões de água no solo (10, 30, 50 e 60 kPa) para o pimentão Lygia e observou-se que quando as irrigações foram feitas diariamente, elevando-se a umidade do solo próxima à capacidade de campo (10 kPa), a cultura apresentou as melhores médias para produção total e comercial de frutos, como também o

diâmetro do caule das plantas foi maior quando a irrigação foi realizada com menor tensão de água no solo. Desse modo, com o aumento da umidade do solo, houve uma diminuição na quantidade de cálcio no solo, devido, provavelmente, a uma maior absorção do nutriente pela planta.

Todos os processos de crescimento e desenvolvimento das plantas são afetados pela deficiência hídrica nos tecidos, causada pela excessiva demanda evaporativa ou pelo limitado suprimento de água. A resposta mais proeminente das plantas ao déficit hídrico, segundo Chavira et al. (2018), consiste no decréscimo da produção da área foliar, do fechamento dos estômatos, da aceleração da senescência e da abscisão das folhas. Segundo Monteiro et al. (2014) como consequência da deficiência hídrica, verifica-se uma desidratação do protoplasto, diminuição da turgescência, sendo o processo de crescimento o primeiro a ser afetado. A redução na atividade fotossintética pela redução na assimilação de CO<sub>2</sub> e a senescência das folhas e em condições de déficit hídrico, há maior expansão das raízes, devido ao secamento da camada superficial do solo, sendo esses indicadores do efeito do déficit hídrico de uma cultura.

A deficiência hídrica é um dos fatores mais limitantes para a obtenção de elevadas produtividades, principalmente no cultivo de hortaliças em campo (PATANÈ e COSENTINO, 2010). Segundo Souza et al. (2011) o pimentão é altamente sensível a deficiências hídricas, resultando em crescimento reduzido e desuniformidade dos frutos, também ocorrendo diminuição considerável do peso dos frutos. Para Sousa et al., (2011) as plantas apresentam períodos em que a falta de água ocasionam quedas na produtividade e na qualidade do produto colhido. Já em outros períodos, déficits hídricos moderados não afetam significativamente a produção.

Segundo Souza et al. (2011) a falta de água durante a floração causa redução do pegamento dos frutos, enquanto durante as fases iniciais de frutificação pode restringir a translocação de nutrientes como o cálcio e reduzir a cobertura foliar das plantas de pimentão. Essa deficiência hídrica pode contribuir para o surgimento de anomalias fisiológicas, como a podridão apical e escaldadura, causando perdas significativas na qualidade e produção dos frutos (SOUZA et al., 2011). Diante disso, segundo Cantuário et al. (2014), que observou a temperatura acima de 30° C, pode proporcionar a deficiência de cálcio (Ca) em todos os tratamentos estudados, com

destaque para os tratamentos com maiores tensões, pois a baixa umidade no solo, maior intensidade de transpiração foliar e desequilíbrio nutricional, influenciam na absorção, translocação e acúmulo de Ca nas plantas, causando podridão apical nos frutos.

Conforme demonstrado Marouelli et al. (1996), o objetivo do manejo adequado da irrigação, que inclui decidir quando e quanto irrigar, e aumentar a eficiência do uso da água, podendo assim minimizar o consumo de energia e manter condições favoráveis de umidade, solo e saúde das plantas.

#### **2.4 Nanofertilizantes e seus efeitos como atenuantes do estresse hídrico**

Os nanofertilizantes são constituídos por nanopartículas contendo macro e micronutrientes de plantas, com tamanho menor que 100 nm. Estes materiais possuem características físicas e químicas distintas dos fertilizantes convencionais (MOSA et al., 2021), a exemplo de sua elevada superfície específica, reatividade e capacidade de interação com biomoléculas, podendo resultar em uma maior absorção de nutrientes como ferro (Fe), zinco (Zn) e elementos benéficos como o silício (Si).

Neste sentido, os nanofertilizantes são classificados com base na categorização de nutrientes. Portanto, existem dois tipos de nanofertilizantes de micro e macronutrientes (SANZARI et al., 2019). Além disso, a associação de nanofertilizantes com bactérias promotoras de crescimento de plantas, também tem sido considerado como uma outra estratégia importante (MARDALIPOUR et al., 2014; KUMARI & SINGH, 2020).

Uma das vantagens dos nanofertilizantes é o aumento da biodisponibilidade de micronutrientes para as plantas como o Fe e Zn, com taxa de liberação gradual (CHUCG et al., 2021). Estes nutrientes geralmente são encontrados em baixa concentração em áreas cultivadas com hortaliças de regiões semiáridas devido aos processos de precipitação química em função do pH elevado (geralmente superior a 6,5). Nestas áreas, os nanofertilizantes podem atuar como produtos de biofortificação eficazes e eficientes, melhorando assim a qualidade nutricional do produto colhido (AHMADIAN et al., 2021). Outra vantagem é que estes materiais não agredem o meio ambiente, uma vez que não deixam resíduo tóxicos no solo,

água, planta ou qualquer outro compartimento ambiental (ZULFIQAR et al., 2019). A eficiência dos nanofertilizantes tem sido comprovada em algumas pesquisas. Garcia-Lopez et al. (2019) observaram um significativo aumento do número de frutos, massa de frutos e sólido solúveis em pimenta (*Capsicum chinense* Jacq.), com a aplicação foliar de nanopartículas de ZnO na concentração de 1,0 g/L de Zn em comparação com a mesma concentração de Zn na forma de sulfato de zinco (fonte usual de Zn).

O efeito atenuante do estresse hídrico dos nanofertilizantes foram observados em algumas pesquisas. Gholinezhad (2017) observaram, em plantas de endro (*Anethum graveolens* L.) que a aplicação de nanofertilizante de ferro aumentou a produção de biomassa seca e o rendimento de óleo essencial, assim como diminuiu os efeitos negativos do estresse hídrico sobre a cultura.

Da mesma forma, Ahmadian et al. (2021) avaliaram o efeito de nanopartículas de silício, zinco e boro quando aplicado via foliar na cultura do trigo, na concentração de 2 g/L, em condição de adequado suprimento de água (100% da necessidade hídrica) e de déficit hídrico (50% da necessidade hídrica). Neste estudo, as nanopartículas promoveram aumento da produtividade de grãos, altura de plantas e promoveram um aumento da atividade de enzimas relacionadas com a atenuação do estresse hídrico como a SOD (superóxido dismutase).

Dessa maneira, a atenuação do estresse hídrico por nanopartículas de zinco (100 mg/L) tem sido atribuída ao aumento da atividade de enzimas antioxidantes como a SOD, catalase e peroxidases e pela modulação dos níveis hormonais associados com os estresses abióticos, como observado por Sun et al. (2020) em plantas de milho, aliviando os danos na mitocôndria e nos cloroplastos provocados pela seca.

## **2.5 Bactérias promotoras do crescimento de plantas como atenuantes do estresse hídrico**

Na agricultura, a vida do solo tem uma influência direta nas características físicas, químicas e biológicas, estando diretamente ligada à produtividade e qualidade das colheitas. A microbiologia constitui um dos cinco fatores que interagem na formação do solo, em conjunto com o clima, topografia, material parental e tempo. Dessa maneira, se destaca como um dos elementos essenciais

que ajudam ativamente na melhoria e manutenção da qualidade do solo, permitindo assim o desenvolvimento dos mais diversos tipos de culturas. (MEENA et al., 2017).

As bactérias promotoras de crescimento de plantas (BPCP) fazem parte da população residente das plantas como epifíticas ou endofíticas, não sendo fitopatogênicas. Que atuam de modo a promover diretamente o crescimento das plantas pela produção de ácido cianídrico, enzimas como a ACC-deaminase, fitohormônios (Auxinas, Citocininas, Giberelinas), agindo diretamente na mineralização de nutrientes, na solubilização de fosfatos, dentre outros (BALDOTTO et al., 2010).

As relações simbióticas que os microrganismos estabelecem com as plantas, são uma relação entre dois organismos de espécies diferentes, que permite uma convivência a longo prazo, podendo gerar benefícios para ambos. Enquanto as plantas são capazes de fornecer alimento, como os exsudatos radiculares para as diferentes comunidades de microrganismos que habitam o solo, eles retribuem, de modo a oferecer proteção e otimizar a absorção de água e nutrientes para a planta. (PELÁEZ-VICO et al., 2016).

Os microrganismos são decompositores facultativos, fotossintetizantes, entre outros, que podem promover o crescimento e desenvolvimento vegetal. A utilização de microrganismos naturalmente presentes em ambientes conservados, encarregados de realizar a ciclagem de nutrientes, em ambientes produtivos, podem aumentar a disponibilidade de nutrientes da matéria orgânica do solo para as plantas. Visando a promoção da sustentabilidade na produção agrícola, ao qual, impulsiona uma maior biodiversidade natural e de processos biológicos para atender as necessidades nutricionais das culturas, proteção contra pragas e doenças e redução dos processos erosivos que degradam os campos de produção. (ALTIERI, 2018).

Segundo Ávila (2019), os microrganismos contribuem para maior produção, melhor proteção fitossanitária. A manutenção da saúde do solo é fundamental para a sustentabilidade agrícola e um fator chave que reflete a produtividade. Desse modo, as bactérias, fungos e actinomicetos estão envolvidos nos processos de solubilização e mineralização de P no solo, desempenhando papel fundamental no ciclo biogeoquímico desse elemento. (RICHARDSON, 2001).

Os microrganismos ainda apresentam outros mecanismos de promoção de crescimento, como a solubilização de K, produção de fitormônios, enzimas, sideróforos, bioproteção contra patógenos e podem, por meio de mecanismos secundários, aumentar a absorção de outros nutrientes e água pelo estímulo ao sistema radicular das plantas (RIBEIRO et al., 2018). Segundo Utkhede et al. (2000) observaram que o produto formulado à base de *Bacillus subtilis*, além de aumentar a massa da matéria fresca da parte aérea das plantas e raízes, também reduziu o índice de doenças nas plantas.

Segundo Camele et al., (2019), o uso de microrganismos benéficos do solo, a exemplo das rizobactérias promotoras de crescimento de plantas (RPCPs), produzem grandes quantidades de substâncias que promovem o desenvolvimento das plantas. Eles são capazes de produzir exopolissacarídeos, fitormônios, compostos voláteis, que induzem o acúmulo de osmólitos e antioxidantes, que regulam positiva ou negativamente genes responsivos ao estresse e alterar a morfologia radicular (Lim; Kim, 2013).

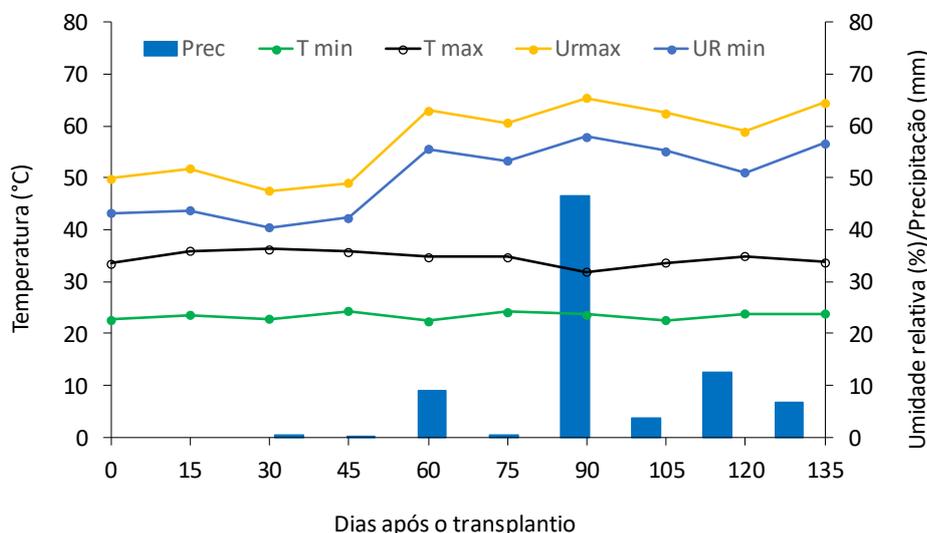
Muitos gêneros de bactérias são classificados como RPCPs, dentre estas se destacam as bactérias diazotróficas dos gêneros *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Rhizobium*, *Bacillus*, *Pseudomonas*, (Baldani; Baldani, 2005). A inoculação de rizobactérias promotoras de crescimento de plantas é tratada como uma abordagem inovadora na melhoria do rendimento e da qualidade das culturas (Marimuthu et al., 2002; Pereira et al., 2021).

### **3 MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1 Caracterização da área experimental**

O trabalho foi realizado na fazenda experimental, 'Rolando Enrique Rivas Catellón', no período de dezembro de 2022 a abril de 2023, utilizando a variedade de pimentão cv. 'Kolima', no Centro de Ciência e Tecnologia Agroalimentar, pertencente a Universidade Federal de Campina Grande, localizada no município de São Domingos (6° 48' 42" S, 37° 56' 10" W) e altitude de 190 m, a 30 km do campus do município de Pombal, Paraíba. Segundo a classificação de Köppen adaptada ao Brasil, o clima da região é classificado como BSh, ou seja, semiárido quente e seco, com precipitações anuais em torno de 800 mm ano<sup>-1</sup> (MOURA et al., 2011). O solo

da área experimental é classificado como PLANOSSOLO HÁPLICO e o relevo é plano (EMBRAPA, 2006).



Fonte: Autor 2023

**Figura 1.** Dados climatológicos de temperatura (C°), umidade relativa do ar e (%) precipitação (mm) durante o período experimental no campo (AGRITEMPO, 2023).

### 3.2 Delineamento experimental e tratamentos

O trabalho foi conduzido em delineamento em blocos casualizados (DBC), em esquema de parcelas subdivididas, compreendendo dois níveis de irrigação (100% e 50% da evapotranspiração potencial - Eto) e as subparcelas com cinco tratamentos, compostos pela combinação de nanopartículas de óxidos de zinco (NPZnO), sulfato de zinco (ZnSO<sub>4</sub> 7H<sub>2</sub>O) e bioinoculantes (Bio), sendo estes (T1 = ZnSO<sub>4</sub> 7H<sub>2</sub>O via foliar, T2 = NPZnO via foliar, T3 = NPZnO via foliar + Bio, T4 = ZnSO<sub>4</sub> 7H<sub>2</sub>O via solo + Bio e C = controle) em 4 blocos, totalizando 40 parcelas experimentais. O componente Bio foi constituído pela combinação dos produtos comerciais Biobaci® contendo *Bacillus subtilis* (BV-09, 1,0 x 10<sup>8</sup> UFC/mL) e No nema® contendo *Bacillus amyloliquefaciens* (1,0 x 10<sup>9</sup> UFC/mL), ambos na dose de 1,5 L/ha, totalizando 3L/ha. As doses referentes as fontes de Zn estão especificadas na (Tabela 1).

**Tabela 1.** Tratamentos aplicados como atenuantes do déficit hídrico no pimentão (kolima) Fazenda Experimental CCTA/UFCG, SÃO DOMINGOS, 2023.

Tratamentos	Fonte	Aplicação	Doses
-------------	-------	-----------	-------

T1	ZnSO <sub>4</sub> 7H <sub>2</sub> O	Via foliar	4,54 g L <sup>-1</sup> .
T2	NPZnO	Via foliar	0,125 g L <sup>-1</sup> .
T3	NPZnO	Via foliar + Bio	0,125 g L <sup>-1</sup> +9 mL L <sup>-1</sup>
T4	ZnSO <sub>4</sub> 7H <sub>2</sub> O	Via solo + Bio	4,54 g L <sup>-1</sup> +9 mL L <sup>-1</sup>
C	Controle	Nada aplicado	Sem aplicação

Fonte: Autor 2023

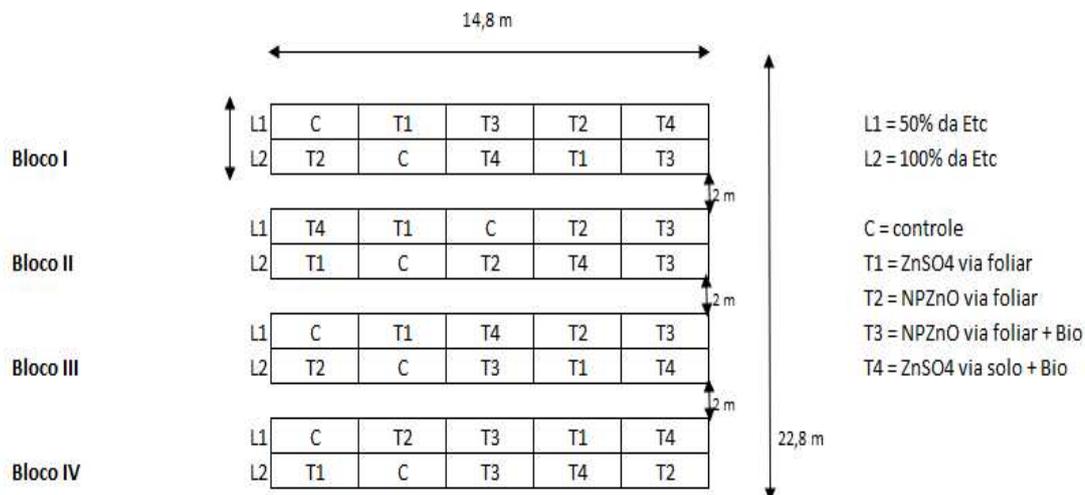
Os tratamentos usando fonte comercial de sulfato de Zn foram preparados na razão de 4,54 g L<sup>-1</sup> ZnSO<sub>4</sub>, antes da sua aplicação via solo ou via foliar (dependendo do tratamento), distribuídas nas parcelas, aplicando em média 35 mL por plantas da solução via foliar (T1), o que corresponde a 373 g/ha de Zn e um volume de calda por hectare equivalente a 337 litros. Para o tratamento via solo (T4) foi aplicado 50 mL da solução diluída de ZnSO<sub>4</sub> por plantas, correspondendo a um volume de aplicação por hectare de 2,42 kg de ZnSO<sub>4</sub>.

Para os tratamentos contendo nanofertilizantes T2 e T3 foi empregado no preparo o produto p.a nano-óxido de zinco (NZnO) da marca Sigma-Aldrich® que tem 97% de pureza, granulometria de tamanho menor que 100 nm e superfície específica de 10,8 m<sup>2</sup>/g. As suspensões de trabalho de NZnO foram preparadas na concentração de 0,1 g L<sup>-1</sup> de Zn. Antes da sua aplicação via foliar, estas suspensões foram diluídas em água na proporção de 0,125 g L<sup>-1</sup> de NPZnO, os quais são empregados nas aplicações via foliar na dose de 50 g de NPZnO por hectare. Sendo aplicado 35 mL em média por planta nos tratamentos. Foi utilizado com adjuvante detergente neutro na proporção de 1 mL L<sup>-1</sup> em todos os tratamentos via foliar.

Para composição dos tratamentos T3 e T4, o componente bioinoculantes (Bio) foi composto pela mistura do produto comercial Biobaci® (*Bacillus subtilis* BV-09, contendo 1,0 x 10<sup>8</sup> UFC/mL) e Nonema® (*B. amyloliquefaciens*, contendo 1,0 x 10<sup>9</sup> UFC/mL) na razão de 3 L/ha dos produtos. A suspensão diluída foi composta de 45 mL de Bobaci + 45 mL de Nonema em 10 L de água, sendo aplicado no solo próximo ao caule em média 30 mL da solução por plantas.

Os produtos, foram aplicados próximo a zona radicular das plantas, para aqueles aplicados via solo com o auxílio de um beque e a aplicação foliar se deu com o uso de um pulverizador costal com capacidade para 20 litros. Na forma de soluções diluídas do produto original 25 dias após o transplante das mudas.

A parcela útil, consistiu de uma área de 3,0 m x 3,0 m na parte central da parcela, onde foram avaliadas 6 plantas. O experimento contou com um espaço de 1,2 m entre subparcelas e 2,0 m entre os blocos (Figura 2).



Fonte: Autor 2023

**Figura 2.** Disposição das parcelas experimentais no campo, na Fazenda Experimental do CCTA/UFCG, São Domingos - PB, 2023.

### 3.3 Preparo da área, produção de mudas e plantio

Antes da instalação do experimento, foram retiradas 15 amostras de solo na camada de 0-20 cm, que foram misturadas para formar uma amostra composta. Em seguida, a amostra composta foi seca ao ar e peneirada em malha de 2 mm e analisadas química e fisicamente (Tabela 2), no Laboratório de Solos e Nutrição Mineral do CCTA/UFCG.

De posse da análise de solo, foi realizada a recomendação de adubação de acordo com o Manual de Recomendação de Adubação para o Estado de Pernambuco (CAVALCANTE, 2008), fornecendo os seguintes resultados (Tabela 2).

**Tabela 2.** Atributos químicos e físicos do solo na camada de 0-20 cm do solo. PLANOSSOLO HÁPLICO utilizado no experimento.

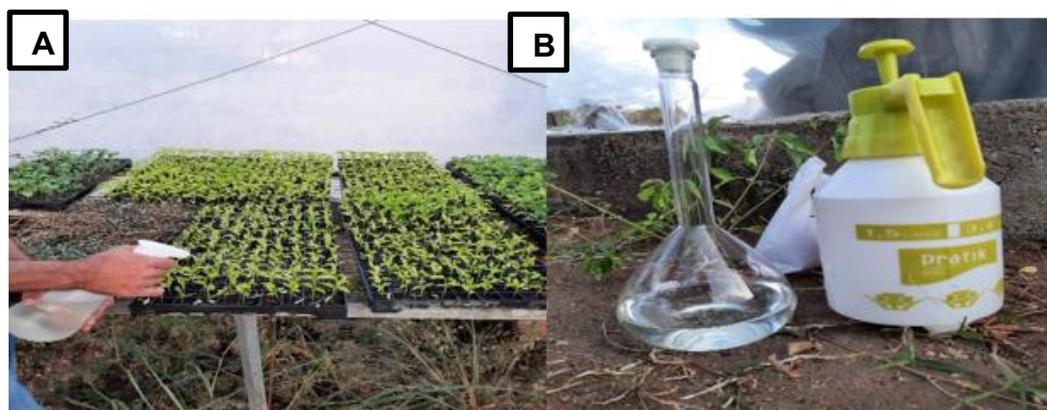
Atributos químicos								
pH	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	H <sup>+</sup> + Al <sup>3+</sup>	P	M.O	V
(CaCl <sub>2</sub> )	-----cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----					mg kg <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>	%
6,20	1,19	0,54	5,80	3,40	2,30	291	6,40	83
Atributos físicos								
Areia	Silte	Argila	DS	DP	Pt	CC	PMP	AD
-----g kg <sup>-1</sup> -----			----g cm <sup>-3</sup> ----			-----%		
444	353	203	1,4	2,65	47	12,87	5,29	7,58

P, K<sup>+</sup> e Na<sup>+</sup>: Extrator Mehlich<sup>-1</sup>; H<sup>+</sup>+Al<sup>3+</sup>: Extrator acetato de Ca<sup>+2</sup> 0,5 mol/L a pH 7; Ca<sup>+2</sup>, Mg<sup>+2</sup>: Extrator KCl 1mol L<sup>-1</sup>; Ds = Densidade do solo; Dp = Densidade de partícula; Pt = Porosidade total; Mo = Matéria orgânica; V (%) = valor de saturação por bases (100 × SB / CTC); PST (%) = Porcentagem de sódio trocável (100 × Na<sup>+</sup>/CTC). CC = capacidade de campo; PPM = Ponto de murcha permanente; AD = água disponível.

Fonte: Autor 2023

A caracterização física consistiu da determinação dos teores de areia, silte e argila, densidade do solo (densidade global), densidade de partículas. A análise granulométrica foi realizada pelo método do hidrômetro de Bouyoucos, utilizando o cloreto de sódio como dispersante (EMBRAPA, 2011). A densidade de partículas foi determinada pelo método do balão volumétrico e a densidade global pelo método do cilindro utilizando-se o amostrador de Uhland.

As mudas de pimentão (*Capsicum annuum* L.), cv 'kolima', foram adquiridas comercialmente, produzidas em bandejas de poliestireno expandido (Isopor®), utilizando como substrato fibra de coco. Foram feitas as adubações com solução nutritiva com micro e macro nutrientes e adubação foliar com ferro nas mudas, as mesmas foram irrigadas duas vezes ao dia de forma manual. O transplante foi realizado quando as mudas apresentarem 4 a 6 folhas verdadeiras, realizado no final da tarde, ocasião em que a temperatura e transpiração das plantas são menores (Figura 3).



Fonte: Autor 2023

**Figura 3.** Mudas de pimentão (A) e aplicação da solução nutritiva (B).

As leiras foram confeccionadas com arado de disco acoplado ao trator, medindo 0,4 m de largura e 0,30 m de altura (Figura 4). O sistema de irrigação utilizado foi o localizado, provido com fitas gotejadoras com espaçamento de 0,30 m entre gotejadores com vazão de no mínimo 1,6 L por hora, afim de suprir a necessidade hídrica da cultura.



Fonte: Autor 2023

**Figura 4.** Preparo da área com arado de disco acoplado ao trator e levantamento das leiras (A), adubação de plantio (B).

As plantas foram cultivadas no espaçamento de 1,2 m entre linhas e 0,5 m entre plantas da fileira. Cada subparcela foi constituída de quatro linhas de 3,0 m de comprimento nas quais foram cultivadas 20 plantas. Após o transplântio o controle das plantas daninhas foi realizado de manual.

A adubação de fundação foi realizada um dia antes do transplântio e quatro adubações de cobertura foram feitas ao longo do ciclo da cultura. Nas adubações de cobertura, foram utilizadas como fonte de nitrogênio ureia e cloreto de potássio (KCl). As doses foram recomendadas para todos os blocos de modo uniforme: a primeira com 3,56 kg de ureia ou 39,2 kg/ha e 1,37 kg ou 15,8 kg/ha de KCl realizada aos 15 dias após o transplântio (DAT), de acordo com a recomendação de adubação para o estado de Pernambuco para a cultura do pimentão, a segunda com 3,56 kg ou 39,2 kg/ha de ureia e 1,37 kg ou 15,8 kg/ha de KCl aos 30 DAT, a terceira com 3,56 kg de ureia ou 39,2 kg/ha e 1,37 kg ou 15,8 kg/ha de KCl aos 45 DAT e a quarta

com 3,56 kg de ureia ou 39,2 kg/há e 1,37 kg ou 15,8 kg/ha de KCl aos 60 DAT. As adubações de cobertura foram aplicadas via fertirrigação, seguindo um cronograma de aplicação das fontes de acordo com as recomendações técnicas para a cultura, que consideram a marcha de absorção e a relação N/K ao longo do seu ciclo. (Figura 5).



Fonte: Autor 2023

**Figura 5.** Pesagem dos fertilizantes (A) e caixa para mistura para a fertirrigação (B).

### 3.4 Manejo das lâminas de irrigação



Fonte: Autor 2023

**Figura 6.** Instalação do sistema de irrigação por gotejamento (A), teste do sistema de irrigação por gotejamento (B).

A irrigação total necessária (ITN) foi calculada pela seguinte expressão:

$$ITN = \frac{(Cc - Pm) \times Z \times Ds \times f}{10}$$

Em que:

ITN - corresponderá a lâmina total inicial de água a ser aplicada em mm;  
Cc – Umidade do solo correspondente a capacidade de campo, %;  
Pm – Umidade do solo correspondente ao ponto de murcha, %;  
Z-profundidade efetiva do sistema radicular (30 cm);  
Ds - Densidade do solo, g/cm<sup>3</sup>;  
f – fator de disponibilidade de água (0,5).

Os testes de uniformidade de aplicação de água foram realizados de acordo com a metodologia de avaliação do Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC), proposto por Christiansen (1942).

O controle do volume de água fornecido em cada lâmina foi realizado diariamente, em horário padronizado pela manhã, de acordo com a razão da vazão dos gotejadores pelo tempo para atingir as proporções da evaporação de referência (ETc). À medida que atingido o intervalo de tempo para cada volume das respectivas lâminas, foram feitos os sucessivos desligamentos das fitas de gotejamento, correspondentes a lâmina de 50% da ETc ficando as de 100% ligadas até atingir o tempo necessário. A lâmina de irrigação correspondente a 100% foi obtida por meio do cálculo da ETc, conforme a seguinte expressão (Jensen, 1968):

$$ETc = Kc \cdot ETo$$

Em que:

ETc - Evapotranspiração da cultura, mm/dia;

ETo - Evaporação de referência, mm/dia, e;

Kc - Coeficiente de cultura (adimensional).

Os valores de Kc adotados para cada cultura em função das suas fases fenológicas, e os valores diários da ETo são obtidos de acordo com o modelo FAO Penman-Monteith (ALLEN et al., 1998). Durante a condução do experimento os dados meteorológicos foram coletados da estação meteorológica automática do município de São Gonçalo, Paraíba, por ser a mais próxima ao local do experimento, através do site (AGRITEMPO, 2019; SISDAGRO, 2021).

O fornecimento diário das lâminas de irrigação foi realizado por meio do tempo de irrigação considerando as características do sistema de cultivo e do sistema de irrigação conforme a seguinte expressão:

$$T_i = \frac{E_{to} \cdot K_c \cdot A}{E_a \cdot n \cdot q}$$

Em que:

$T_i$  - tempo de irrigação, horas;

$E_{To}$  - Evaporação de referência, mm/dia;

$K_c$  - Coeficiente de cultura (adimensional);

$A$  - área ocupada por uma planta, m<sup>2</sup>;

$n$  - número de gotejadores por planta;

$q$  - vazão do gotejador, L/h;

$E_a$  – eficiência da aplicação (0,90).

### **3.5 Características avaliadas**

#### **a) Produção**

As avaliações foram realizadas considerando-se todos os frutos a partir da primeira colheita com 67 DAT (dias após o transplântio), observando o número de frutos por parcela, o comprimento, o diâmetro central. Tendo as seguintes variáveis analisadas (Figura 7):



Fonte: Autor 2023

**Figura 7.** Colheita do pimentão para encaminhar ao laboratório (A), pimentões prontos para pesagem e medição (B).

Após a colheita, os frutos foram encaminhados para o laboratório de pós-colheita do CCTA/UFCG para a realização da separação e pesagem. Foram realizadas três colheitas (1° em 27/12/2022, a 2° em 01/03/2023 e a 3ª em 03/04/2023). Em cada colheita, considerou-se o número de frutos comerciais, o número de frutos não comerciais, a produção de frutos comerciais e a produção de frutos não comerciais. A produtividade de cada tipo de frutos (comerciais e não comerciais) foi obtida pela soma dos pesos dos frutos de cada parcela útil, obtido nas três colheitas, extrapolando-se os valores da área útil para um hectare. Foi utilizada balança eletrônica com precisão de 0,001 kg. Foram considerados frutos comerciais (comprimento  $\geq 60$  mm e diâmetro  $\geq 40$  mm) com características bem definidas, bem formados, limpos, com coloração uniforme, livre de danos mecânicos, fisiológicos de pragas e doenças (CEAGESP, 2010). E frutos não comerciais (comprimento  $< 60$  mm e diâmetro  $< 40$  mm) ou que contenha algum defeito grave, sendo os mesmos murchos, deteriorados, malformados, com danos mecânicos, com doenças ou pragas.

#### **b) Massa seca**

Por ocasião da última colheita de frutos, a parte aérea de duas plantas da parcela útil foram separadas em caule e folhas para as avaliações. As partes

coletadas foram secas em estufa com ar forçado (65-70 °C) até peso constante, para obtenção da massa seca produzida. Pela soma dos dados de massa seca de folhas (MSF), massa seca de caule (MSC) foi obtida a massa seca da parte aérea (MSPA).

### 3.6 Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade utilizando-se o *software* SISVAR 5.1 (FERREIRA, 2011).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com a análise de variância (Tabela 3) houve efeito significativo da interação entre os fatores lâminas (L) e tratamentos (T) apenas para a massa seca do caule (MSC). Os tratamentos (T) influenciaram a massa seca de folhas (MSF) e a massa seca da parte aérea (MSPA). As lâminas de irrigação não afetaram nenhuma das variáveis de massa seca das plantas. Quanto aos dados de produção, observou-se efeito significativo da interação L × T apenas para o peso de frutos comerciais (PFC). Os tratamentos influenciaram estatisticamente o número de frutos total (NFT) e o peso de frutos comerciais (PFC). As lâminas de irrigação não surtiram efeito significativo para nenhuma das variáveis de produção em plantas de pimentão cv. 'Kolima' aos 67 dias após o transplântio.

**Tabela 3.** Quadrados médios para as variáveis, massa seca de folhas (MSF), massa seca de caule (MSC), massa seca da parte aérea (MSPA) de plantas de pimentão 'Kolima', aos 164 dias após o transplântio. E referente ao número de frutos comerciais (NFC), número de frutos não comerciais (NFNC), número de frutos total (NFT) produção de frutos comerciais (PFC), produção de frutos não comerciais (PFNC) e produção de frutos total (PFT).

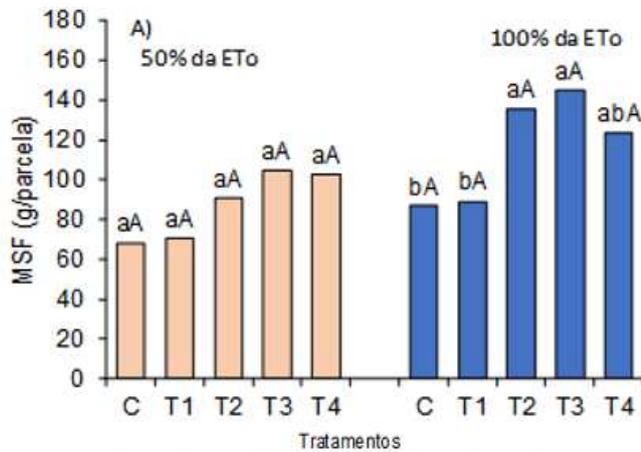
FV	GL	QUADRADOS MÉDIOS				
		MSF	MSC	MSPA	NFC	NFNC
Blocos	3	2710,07	2412,81	2623,11	628,56	5660,96
Lâmina (L)	1	8207,73 <sup>ns</sup>	376,95 <sup>ns</sup>	12102,57 <sup>ns</sup>	525,62 <sup>ns</sup>	970,22 <sup>ns</sup>
Erro 1	3	-	-	-	-	-
Tratamento (T)	4	3689,72*	2395,73 <sup>ns</sup>	9839,30*	260,58 <sup>ns</sup>	1185,04 <sup>ns</sup>
L x T	4	970,75 <sup>ns</sup>	4145,14*	4545,51 <sup>ns</sup>	195,42 <sup>ns</sup>	1299,29 <sup>ns</sup>
Erro 2	24	-	-	-	-	-

CV 1 (%)	-	32,30	21,96	25,38	32,87	37,37
CV 2 (%)	-	30,66	21,02	18,38	24,45	25,98
		NFT	PFC	PFNC		PFT
Blocos	3	1153,70	12,71	5,94		4,50
Lâmina (L)	1	1130,67 <sup>ns</sup>	2,84 <sup>ns</sup>	0,79 <sup>ns</sup>		6,62 <sup>ns</sup>
Erro 1	3	-	-	-		-
Tratamento (T)	4	3288,38*	2,84*	0,88 <sup>ns</sup>		4,65 <sup>ns</sup>
L x T	4	1679,29 <sup>ns</sup>	2,03*	0,38 <sup>ns</sup>		2,64 <sup>ns</sup>
Erro 2	24	-	-	-		-
CV 1 (%)	-	27,99	35,47	38,00		32,89
CV 2 (%)	-	15,27	19,44	27,94		17,00

GL- grau de liberdade; CV (%) - coeficiente de variação; \*significativo em nível de 0,05 de probabilidade; \*\* significativo em nível de 0,01 de probabilidade; ns não significativo.

A massa seca de folhas (MSF), não teve influência significativa pelos tratamentos atenuantes de déficit hídrico sob a lâmina de 50% (Figura 8A).

A massa seca de folhas (MSF) sofreu efeito significativo dos tratamentos aplicados. Observou-se que, o maior valor foi alcançado quando utilizado T3 (NPZnO via foliar + Bio) na lâmina correspondente à 100% da ETo, que obteve valor de 144,99 g/parcela. Sendo estatisticamente superior à quando foi aplicado o tratamento controle e T1 (ZnSO<sub>4</sub> 7H<sub>2</sub>O via foliar), que alcançaram valores de 86,96 e 89,07 g/parcela, respectivamente (Figura 8A). Comparando os resultados, isto corresponde a uma redução de 40,02% (58,96 g/planta) e 38,57% (55,92 g/planta), do tratamento T3 e T1 em relação ao controle, respectivamente. Contudo, apesar de ter sido o maior valor observado, nota-se não haver diferença estatística entre o T3 (NPZnO via foliar + Bio) e os tratamentos T2 (NPZnO via foliar) e T4 (ZnSO<sub>4</sub> 7H<sub>2</sub>O via solo + Bio) que obtiveram valores de 135,29 e 123,36 g/planta, respectivamente.

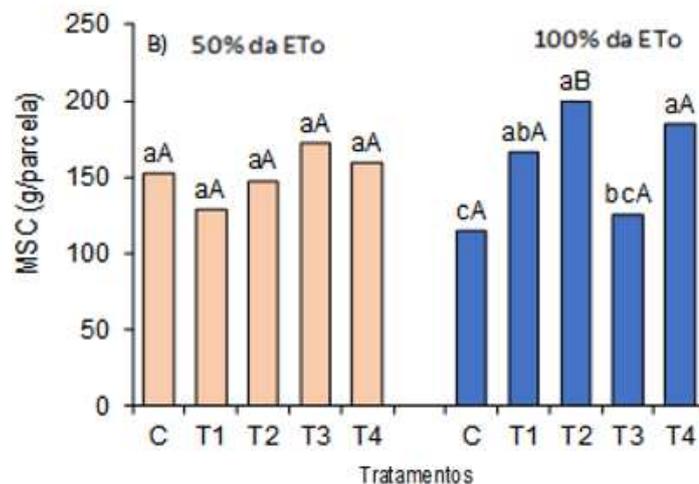


Fonte: Autor 2023

**Figura 8.** Massa seca de folhas (A), de pimentão em função dos tratamentos atenuantes do déficit hídrico sob irrigação plena (100% da Eto) e déficit de irrigação (50% da Eto). (T1 =  $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$  via foliar, T2 = NPZnO via foliar, T3 = NPZnO via foliar + Bio, T4 =  $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$  via solo + Bio e C = controle). Letras minúsculas comparam os tratamentos (T) dentro de cada lâmina de irrigação e letras maiúsculas comparam as lâminas de irrigação dentro de cada tratamento (T) pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

A massa seca do caule (MSC), não teve influência significativa pelos tratamentos atenuantes de déficit hídrico sob a lâmina de 50% (Figura 8B).

A massa seca do caule (MSC) foi influenciada pela interação entre os fatores (L × T), sendo o maior valor de (200,07 g/planta) que foi obtido pelas plantas que receberam T2 (NPZnO via foliar), sob lâmina correspondente à 100% da ETo, sendo estatisticamente superior a todos os demais tratamentos. (Figura 8B). Nota-se que, o menor valor foi obtido pelas plantas que foram cultivadas com o tratamento controle também na lâmina equivalente à 100% da ETo, que chegou à 114,11 g/planta, contudo, não diferiu das plantas que receberam o tratamento composto pela aplicação foliar de T3 (NPZnO via foliar + Bio) ainda na mesma lâmina de irrigação.

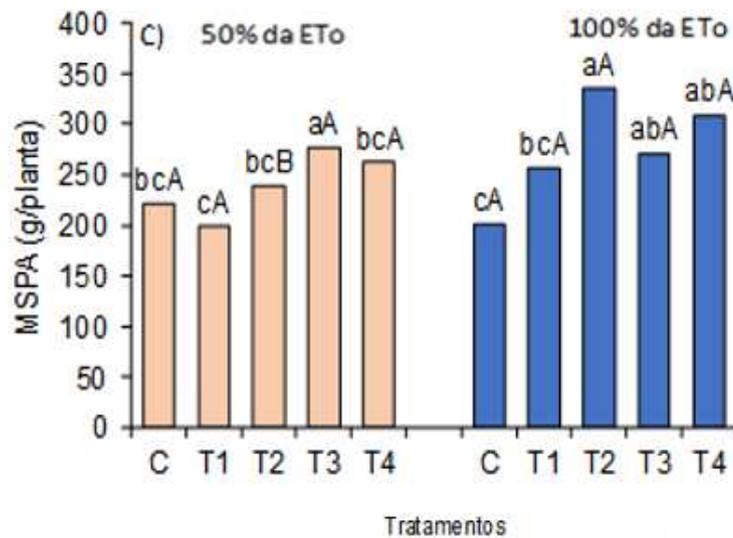


Fonte: Autor 2023

**Figura 9.** Massa seca de caule (B) de pimentão em função dos tratamentos atenuantes do déficit hídrico sob irrigação plena (100% da Eto) e déficit de irrigação (50% da Eto). (T1 = ZnSO<sub>4</sub> 7H<sub>2</sub>O via foliar, T2 = NPZnO via foliar, T3 = NPZnO via foliar + Bio, T4 = ZnSO<sub>4</sub> 7H<sub>2</sub>O via solo + Bio e C = controle). Letras minúsculas comparam os tratamentos (T) dentro de cada lâmina de irrigação e letras maiúsculas comparam as lâminas de irrigação dentro de cada tratamento (T) pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

A massa seca da parte aérea (MSPA) na lâmina correspondente à 50% da Eto, o T3 (NPZnO via foliar + Bio) foi superior quando as plantas foram cultivadas sob o tratamento controle, T1 (ZnSO<sub>4</sub> 7H<sub>2</sub>O via foliar), T2 (NPZnO via foliar) e T4 (ZnSO<sub>4</sub> 7H<sub>2</sub>O via solo + Bio) (Figura 8C).

A massa seca da parte aérea (MSPA) na lâmina correspondente a 100% da Eto, foi influenciada pelas lâminas de irrigação, sendo o maior valor obtida no T2 (NPZnO via foliar), que alcançou valor equivalente a 335,34 g/planta, sendo estatisticamente superior à quando se aplicou o T3 (NPZnO via foliar + Bio) e T4 (ZnSO<sub>4</sub> 7H<sub>2</sub>O via solo + Bio) na mesma lâmina de irrigação (Figura 8C).



Fonte: Autor 2023

**Figura 10.** Massa seca da parte aérea (C) de pimentão em função dos tratamentos atenuantes do déficit hídrico sob irrigação plena (100% da Eto) e déficit de irrigação (50% da Eto). (T1 = ZnSO<sub>4</sub> 7H<sub>2</sub>O via foliar, T2 = NPZnO via foliar, T3 = NPZnO via foliar + Bio, T4 = ZnSO<sub>4</sub> 7H<sub>2</sub>O via solo + Bio e C = controle). Letras minúsculas comparam os tratamentos (T) dentro de cada lâmina de irrigação e letras maiúsculas comparam as lâminas de irrigação dentro de cada tratamento (T) pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

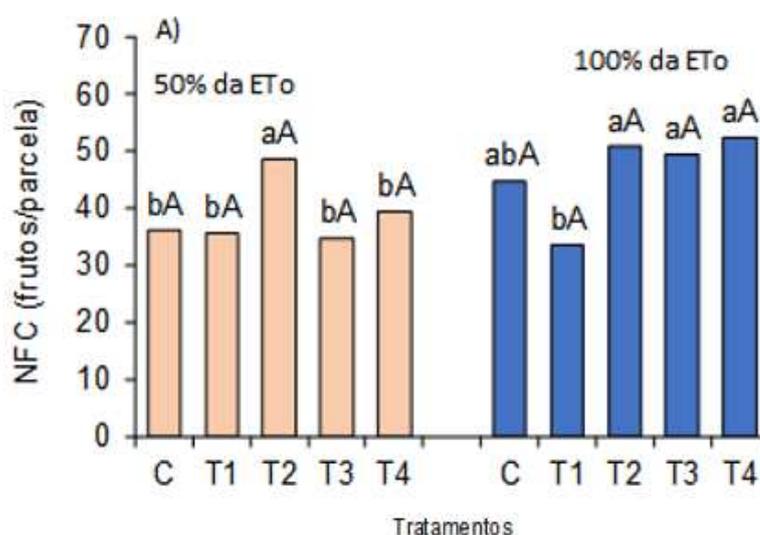
De acordo com a Figura 9A, o número de frutos comerciais (NFC) teve a maior média quando a irrigação foi realizada a 50% da Eto, no tratamento T2 (NPZnO via foliar) em comparação com o tratamento C. Essa informação indica que, no contexto específico mencionado, o tratamento T2 com irrigação a 50% da Eto, resultou em uma colheita com mais frutos do que o tratamento C com a mesma condição de irrigação. Como também, a aplicação dos tratamentos surtiu efeitos positivos, em que, considerado-se apenas o efeito das lâminas de irrigação, a influencia do déficit hídrico foi significativa.

Observou-se também que o número de frutos comerciais, com a irrigação a 100% da Eto, foi estatisticamente iguais nos tratamentos T2, T3 e T4, sendo que o tratamento T4 apresentou a maior média, os mesmos não diferiram estatisticamente do tratamento controle (Figura 9A). Esse efeito no tratamento correspondente a 50% da Eto é provavelmente devido a diminuição da taxa fotossintética pelo fechamento dos estômatos e redução das trocas gasosas (SILVA et al., 2015; SOUSA et al., 2022).

Independentemente da lâmina de irrigação a 50% ou a 100% da ETo, a produção de frutos comerciais (NFC), foi superior ao tratamento controle. O tratamentos de T2 a 50% da ETo e T2, T3 e T4 a 100% da ETo, continuam na sua composição zinco, NPZn ou bactérias promotoras de crescimento de plantas (BPCP). Estes componentes, possivelmente proporcionaram efeitos estimulantes sobre as plantas de pimentão que levaram ao aumento do número de frutos comerciais (NFC).

Como já mencionando, o zinco está envolvido no processo de divisão celular e crescimento de raízes, o que pode favorecer a absorção de água e nutrientes pelas plantas (Bezerra, 2022). Por outro lado, as BPCP podem produzir auxinas como o ácido indol acético, aumentando o comprimento das raízes, conduzindo assim a uma maior absorção de água e nutrientes do solo (LUO et al., 2021).

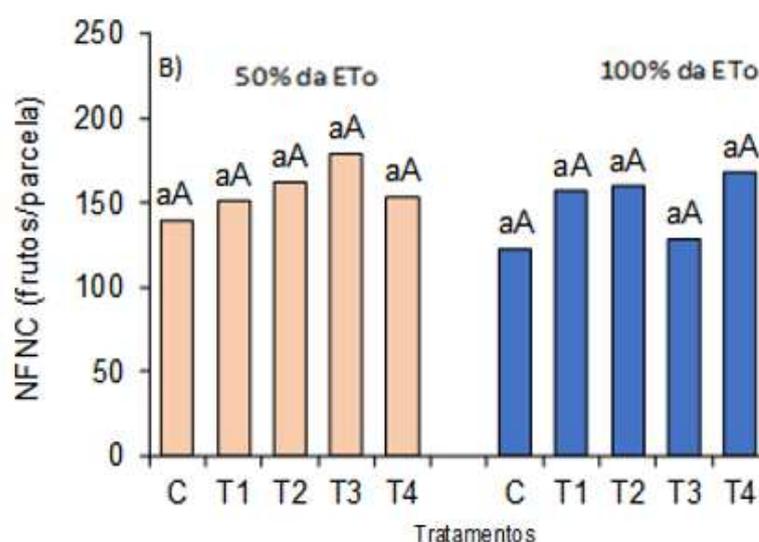
Neste sentido, VINCI et al. (2018) observaram que a inoculação do milho com *Bacillus amyloliquefaciens* aumentou a absorção de nutrientes e promoveu mecanismos de crescimento em plantas, como o aumento da concentração de aminoácidos como triptofano, isoleucina, alanina, valina, tirosina e açúcares como frutose e glicose. Por outro lado, o efeito positivo de NPZnO como atenuante do estresse tem sido atribuído ao aumento da atividade de enzimas antioxidantes como a SOD, catalase e peroxidases e pela modulação dos níveis de hormônios associados com os estresses abióticos (SUN et al., 2021).



Fonte: Autor 2023

**Figura 11.** Número de frutos comerciais (A), frutos não comerciais (B) e número total de frutos (C) de pimentão em função dos tratamentos atenuantes do déficit hídrico sob irrigação plena (100% da Eto) e déficit de irrigação (50% da Eto). (T1 = ZnSO<sub>4</sub> 7H<sub>2</sub>O via foliar, T2 = NPZnO via foliar, T3 = NPZnO via foliar + Bio, T4 = ZnSO<sub>4</sub> 7H<sub>2</sub>O via solo + Bio e C = controle). Letras minúsculas comparam os tratamentos (T) dentro de cada lâmina de irrigação e letras maiúsculas comparam as lâminas de irrigação dentro de cada tratamento (T) pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

O número de frutos não comerciais (NFNC) não foi influenciado pelos tratamentos atenuantes de déficit hídrico sob a lâmina de 50% e 100% da ETo (Figura 9B).

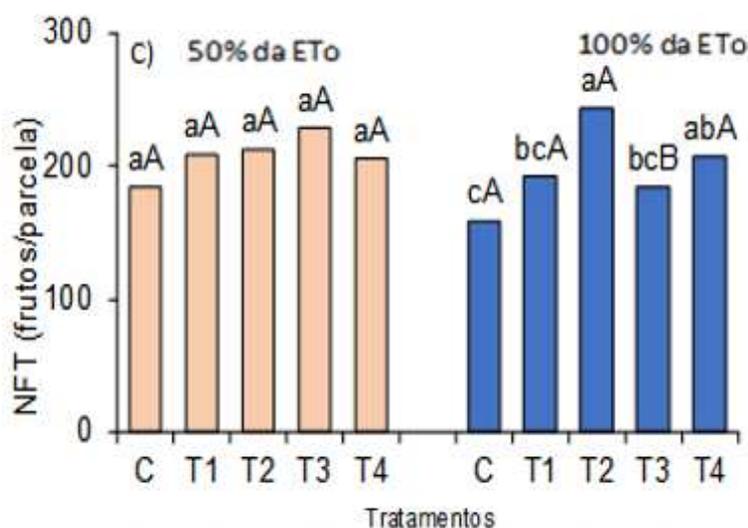


Fonte: Autor 2023

**Figura 12.** Números de frutos não comerciais (B) de pimentão em função dos tratamentos atenuantes do déficit hídrico sob irrigação plena (100% da Eto) e déficit de irrigação (50% da Eto). (T1 = ZnSO<sub>4</sub> 7H<sub>2</sub>O via foliar, T2 = NPZnO via foliar, T3 = NPZnO via foliar + Bio, T4 = ZnSO<sub>4</sub> 7H<sub>2</sub>O via solo + Bio e C = controle). Letras minúsculas comparam os tratamentos (T) dentro de cada lâmina de irrigação e letras maiúsculas comparam as lâminas de irrigação dentro de cada tratamento (T) pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

Considerando-se o efeito das lâminas de irrigação o número total de frutos (NTF), na lâmina de 50% da ETo, não foi influenciado pelos tratamentos atenuantes do déficit hídrico e nem pela lâmina de irrigação (Figura 9C).

Em contrapartida o número total de frutos (NTF) na lâmina a 100% da Eto, foi maior no tratamento T2 (NPZnO via foliar), porém o tratamento T4 (ZnSO<sub>4</sub> 7H<sub>2</sub>O via solo + Bio) não diferiu estatisticamente do tratamento T2 (Figura 9C).



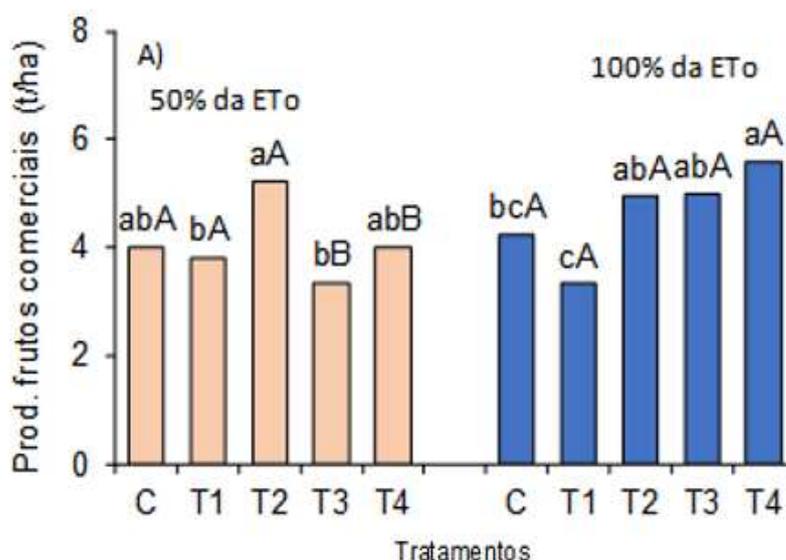
Fonte: Autor 2023

**Figura 13.** Número total de frutos (C) de pimentão em função dos tratamentos atenuantes do déficit hídrico sob irrigação plena (100% da Eto) e déficit de irrigação (50% da Eto). (T1 = ZnSO<sub>4</sub> 7H<sub>2</sub>O via foliar, T2 = NPZnO via foliar, T3 = NPZnO via foliar + Bio, T4 = ZnSO<sub>4</sub> 7H<sub>2</sub>O via solo + Bio e C = controle). Letras minúsculas comparam os tratamentos (T) dentro de cada lâmina de irrigação e letras maiúsculas comparam as lâminas de irrigação dentro de cada tratamento (T) pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

Ao investigar a interação entre as lâminas de irrigação e os tratamentos atenuante do déficit hídrico, para a variável produção de frutos comerciais (PFC) em três colheitas (Figura 10A), verificou-se que o tratamento T2 apresentou a maior média de produção, quando submetido a um déficit de irrigação de 50% da Eto. Em comparação com o tratamento controle (C). No entanto, na lâmina de irrigação de 100% da Eto e os tratamentos atenuantes do déficit hídrico T4, T3 e T2 não diferiram entre si, estando estatisticamente iguais, apesar do tratamento T4

demonstrar a maior média, que contem em sua composição zinco, NPZn ou bactérias promotoras de crescimento de plantas (BPCP).

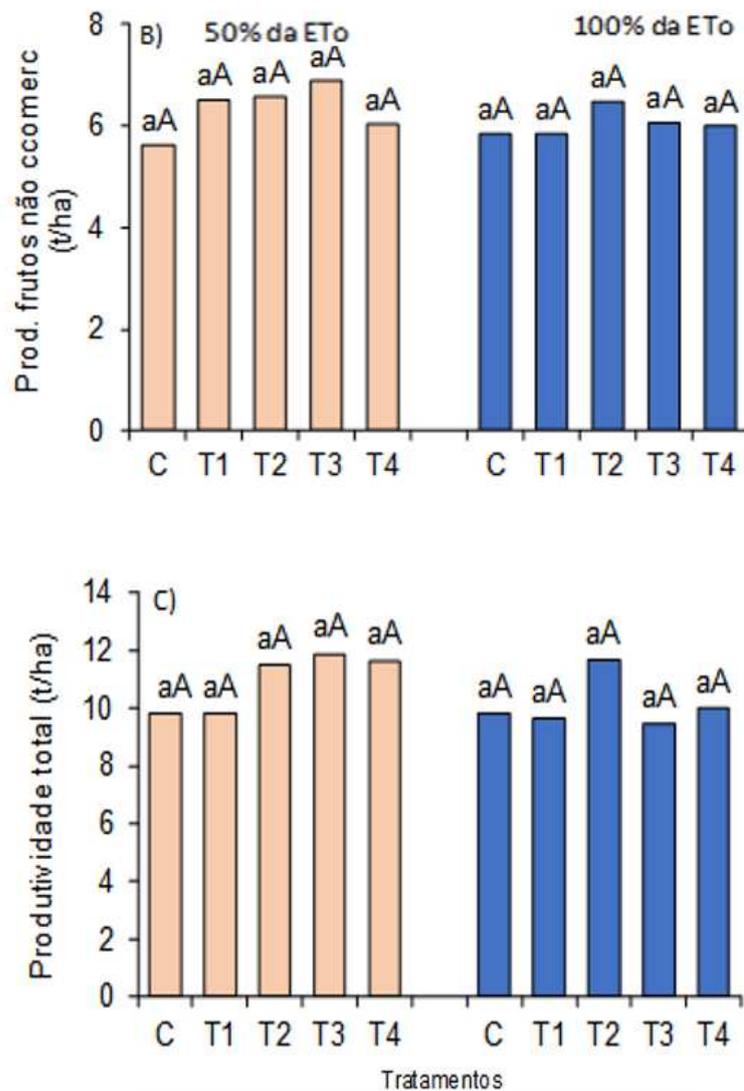
Nota-se que o aumento da produção resultante da aplicação do Zn pode estar relacionado às funções fisiológicas essenciais desse micronutriente na cultura. Essas funções incluem a importância do zinco na fotossíntese, respiração, controle hormonal e outras, conforme mencionado anteriormente (Bezerra, 2022).



Fonte: Autor 2023

**Figura 14.** Produção de frutos comerciais (A), frutos não comerciais (B) e número total de frutos (C) de pimentão em função dos tratamentos atenuantes do déficit hídrico sob irrigação plena (100% da ETo) e déficit de irrigação (50% da ETo). (T1 = ZnSO<sub>4</sub> 7H<sub>2</sub>O via foliar, T2 = NPZnO via foliar, T3 = NPZnO via foliar + Bio, T4 = ZnSO<sub>4</sub> 7H<sub>2</sub>O via solo + Bio e C = controle). Letras minúsculas comparam os tratamentos (T) dentro de cada lâmina de irrigação e letras maiúsculas comparam as lâminas de irrigação dentro de cada tratamento (T) pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

A produção de frutos não comerciais (PFNC) (Figura 10B) e o número total de frutos (NTF) (Figura 10C), não foi influenciado pelos tratamentos atenuantes de déficit hídrico sob a lâmina de 50% e 100% da ETo. Isso implica que, com base nos resultados do estudo em questão, a redução da quantidade de água disponível para irrigação, seja a 50% ou 100% da ETo, não teve impacto significativo na produção de frutos não comerciais. Essa informação sugere que, pelo menos nas condições experimentais avaliadas, os tratamentos de déficit hídrico não afetaram negativamente a produção de frutos não comerciais.



Fonte: Autor 2023

**Figura 15.** Frutos não comerciais (B) e número total de frutos (C) de pimentão em função dos tratamentos atenuantes do déficit hídrico sob irrigação plena (100% da Eto) e déficit de irrigação (50% da Eto). (T1 =  $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$  via foliar, T2 = NPZnO via foliar, T3 = NPZnO via foliar + Bio, T4 =  $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$  via solo + Bio e C = controle). Letras minúsculas comparam os tratamentos (T) dentro de cada lâmina de irrigação e letras maiúsculas comparam as lâminas de irrigação dentro de cada tratamento (T) pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

## **5 CONCLUSÃO**

De acordo com as estatísticas, foi constatado que a irrigação utilizando uma lâmina equivalente a 50% da ETo resultou em uma diminuição significativa no acúmulo de fitomassa seca e nos parâmetros de produção de frutos do pimentão cv. 'Kolima'.

A aplicação de NPZnO via foliar, NPZnO via foliar + Bio e ZnSO<sub>4</sub> 7H<sub>2</sub>O via solo + Bio, sob lâmina de 100% da ETo promoveram maiores ganhos no acúmulo de fitomassa, produção e produtividade do pimentão cv. Kolima, podendo assim ser uma abordagem para aumentar a produção de frutos comerciais em condições de semiárido Paraibano.

## REFERÊNCIAS

ABREU, Luciana Paiva santos; MARTINAZZO, Ana Paula.; TEODORO, Carlos Eduardo de Souza; BERBERT, Pedro Amorim. Alternativa sustentável de uso de *Bacillus amyloliquefaciens* no biocontrole de fungos fitopatogênicos: uma revisão. **Revista de Ciências Ambientais**, Canoas, v. 16, p. 01-15, 2022. DOI: <http://dx.doi.org/10.18316/rca.v16i1.8339>.

AGRITEMPO. **Sistema de Monitoramento Agrometeorológico**: Estações meteorológicas para o estado de PB. Disponível em <https://www.agritempo.gov.br/agritempo/jsp/Estacao/index.jsp?siglaUF=PB>. Acesso em: 04 de maio de 2023.

AHMADIAN, K. Nano-fertilizers improved drought tolerance in wheat under deficit irrigation. **Agricultural Water Management**, v. 244, p. 106544, 2021.

AHMADIAN, Kamiar; JALILIAN, Jalal; PIRZAD, Alireza. Os nanofertilizantes melhoraram a tolerância à seca em trigo sob irrigação deficitária. **Gestão de Água Agrícola**, v. 244, p. 106544, 2021. See More AKHTAR, S.S. et al. *Bacillus licheniformis* FMCH001 increases water use efficiency via growth stimulation in both normal and drought conditions. **Frontiers in Plant Science**, v. 11, n. 297, 2020. doi: 10.3389/fpls.2020.00297.

AKHTAR, S. S; AMBY, D. B; HEGELUND, J. N; FIMOGNARI, L; GROBRINSKY, D. K; WESTERGAARD, J. C; MULLER, R; MOELBAK, L; LIU, F; ROITSCH, T. *Bacillus licheniformis* FMCH001 increases water use efficiency via growth stimulation in both normal and drought conditions. **Frontiers in Plant Science**, v. 11, n. 297, 2020. Doi: 10.3389/fpls.2020.00297.

ALLEN, Richard G. et al. Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. **Fao, Rome**, v. 300, n. 9, p. D05109, 1998. ANTONINI ACC; ROBLES WGR; NETO JT; KLUGE RA. 2002. **Capacidade produtiva de cultivares de berinjela**. Horticultura Brasileira 20: 646-648.

ALTIERI, Miguel A. **Agroecology**: The science of sustainable agriculture. 2. ed. CRC Press, 2018.

ALVES, J. C.; PÔRTO, M. L. A.; SANTOS, L. H. P.; NASCIMENTO, D. S.; Moura, T. W. S.; Neto, G. D. C. G. Produção de mudas de pimentão em substratos com proporções crescentes de esterco bovino. **Agroecologia: métodos e técnicas para uma agricultura sustentável**. ed. 1 v. 5 p. 256-265. 2021.

ÁVILA, Z. N. B. **Efeitos da utilização de microrganismos eficientes (EM) sobre a cultura de milho (Zea mays L.) variedade BRS Caimbé orgânico**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. BARROS, J. F.; CALADO, J. G. A Cultura do Milho. Universidade de Évora. 2014. Acesso em: 12 fevereiro 2023.

BABU, N.A., JOGAI AH, S., ITO, S., KESTUR, N.A. Y TRAN, L.P. 2015. Improvement of growth, fruit weight and early blight disease protection of tomato plants by rhizosphere bacteria is correlated with their beneficial traits and induced biosynthesis of antioxidant peroxidase and polyphenol oxidase. **Plant Science**. 231(1): 62-73.

BALDANI, J. I.; BALDANI, V. L. D. History on the biological nitrogen fixation research in graminaceous plants: special emphasis on the Brazilian experience. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 77, n. 3, p. 549-579, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0001-37652005000300014>.

BALDOTTO, L.E.B., BALDOTTO, M.A., OLIVARES, F.L., VIANA A.P., SMITH, R.B. (2010) Seleção de bactérias promotoras de crescimento no abacaxizeiro cultivar Vitória durante a aclimatização. Viçosa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 34.

BEZERRA, Larissa Raquel Fagundes Costa. **Crescimento, produtividade e acúmulo de nutrientes em plantas de beterraba adubadas com boro e**

**zinco**. Monografia (graduação) - Universidade Federal Rural do Semi-árido, Curso de Agronomia, - 2022. 36 f.

BISPO, R de C.; FLORES, D. S.; NETA, H. B. S. Manejo de irrigação para cultivo de pimentão em ambiente protegido. In: IV INOVAGRI INTERNATIONAL MEETING. **Anais** [...] 2017. Disponível em: <http://www.inovagri.org/anais/TC3870664.pdf>. Acesso em: 13 jun. 2023.

BRAINER, M. S. C. P. **Produção de hortaliças na área de atuação do BNB**. Caderno Setorial ETENE. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil, ano 6, n. 180, 2021.

BRASIL. Ministério da Agricultura. **Levantamento exploratório: reconhecimento de Solos do Estado da Paraíba**. Rio de Janeiro: MA/CONTAP/USAID/SUDENE, 1972. 670p. (Boletim Técnico, 15).

CAMARGO GSM (2019) Ação de Trichoderma sp. e Bacillus subtilis associado a Centro Universitário de Anápolis – UniEVANGÉLICA. 36f.

CAMELE, I.; ELSHAFIE, H. S.; CAPUTO, L.; SAKR, S. H.; DE FEO, V. Bacillus mojavensis: biofilm formation and biochemical investigation of its bioactive metabolites. **Journal of Biological Research**, v. 92, n. 1, article 8296, 2019. DOI: <https://doi.org/10.4081/jbr.2019.8296>.

CAMPAGNOL, R.; ABRAHÃO, C.; MELLO, S. C.; OVIEDO, V. R. S. C.; MINAMI, K. Impactos do nível de irrigação e da cobertura do solo na cultura do tomateiro. **Irriga, Botucatu**, v.19, n.3, p.345-357, 2014.

CAMPOS, A. J. M.; SANTOS, S. M.; NACARATH, I. R. F. F. Estresse Hídrico em Plantas: uma revisão. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 15, 2021.

CANTUÁRIO, F. S.; LUZ, J. M.Q.; PEREIRA, A. I. A.; SALOMÃO, L. C.; REBOUÇAS, T. N. H.; Podridão apical e escaldadura em frutos de pimentão submetidos a estresse hídrico e doses de silício. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 32, n. 2, p.215-219, 2014.

CARMONA, F. J.; DAL SASSO, G.; BERLOTTI, F.; RAMÍREZ-RODRÍGUEZ, G. B.; DELGADOLÓPEZ, J. M.; PEDERSEN, J.S.; MASCIOCCHI, N.; GUAGLIARDI, A. The role of nanoparticle structure and morphology in the dissolution kinetics and nutrient release of nitrate-doped calcium phosphate nanofertilizers. **Scientific Reports**. v. 10, n. 1, p. 1-11, 2020.

CASAI, L.K.N.; AVIZ, R.O.; SANTOS, N.F.A.; MELO, M.R.S; SOUZA, V.Q.; BORGES, L.S.; LIMA, A.K.O.; GUERREIRO, A.C. Índices morfofisiológicos e produção de pimentão produzido em diferentes substratos a base de resíduos orgânicos em ambiente protegido. **Revista Agroecossistemas**, Belém, v. 10, n. 1, p. 174-190, 2018.

CASALI, V.W.D.; COUTO F.A.A. 1984. Origem e botânica de Capsicum Informe **Agropecuário Belo Horizonte**. 10: 113pp.

CAVALCANTI, F.J.A., coord. **Recomendações de adubação para o Estado de Pernambuco: 2ª aproximação**. 3.ed. Recife, IPA, 2008. 212p. CEAGESP - Companhia de Entrepósitos e Armazéns Gerais de São Paulo. Normas de classificação do pimentão para o Programa Brasileiro para melhoria dos padrões comerciais e embalagens de hortigranjeiros. <[http://www.alimentares.com/pimentas/file/norma\\_pimentos.pdf](http://www.alimentares.com/pimentas/file/norma_pimentos.pdf)>. 12 abr. 2010.

CHAGAS, Lillian França Borges et al. Trichoderma na promoção do crescimento vegetal. **Revista de Agricultura Neotropical**, [S.L.], v. 4, n. 3, p. 97-102, 1 set. 2017.

CHAGAS, Lillian França Borges et al. Trichoderma na promoção do crescimento vegetal. **Revista de Agricultura Neotropical**, [S.L.], v. 4, n. 3, p. 97-102, 1 set. 2017.

CHANDRA, D; SRIVASTAVA, R; GLICK, B. R; SHARMA, A, K. Drought-tolerant *Pseudomonas* spp. improve the growth performance of finger millet (*Eleusine coracana* (L.) gaertn.) under non-stressed and drought-stressed conditions. **Pedosphere**, v. 28, n. 2, p. 227–240, 2018.

CHAVIRA, G. M. M. et al. Controlled water deficit as abiotic stress factor for enhancing the phytochemical content and adding-value of crops. **Scientia Horticulturae**, v. 234, p. 354 – 360. 2018. doi: 10.1016/j.scienta.2018.02.049.

CHRISTIANSEN, Jerald Emmett et al. **Irrigação por aspersão**. Berkeley: Universidade da Califórnia, 1942.

CHUGH, G.; SIDDIQUE, K.H.M.; SOLAIMAN, Z.M. Nanobiotechnology for Agriculture: Smart Technology for Combating Nutrient Deficiencies with Nanotoxicity Challenges. **Sustainability**, v. 13, 1781, 2021. Doi. <https://doi.org/10.3390/su13041781>.

CIESCHI, M. T.; POLYAKOV, A. Y.; LEBEDEV, V. A.; VOLKOV, D. S.; PANKRATOV, D. A.; VELIGZHANIN, A. A.; PERMINOVA, I. V.; LUCENA, J. J. Eco-friendly iron-humic nanofertilizers synthesis for the prevention of iron chlorosis in soybean (*Glycine max*) grown in calcareous soil. **Frontiers in plant science**, v. 10, p. 413, 2019.

COSTA, R. H. **Desempenho agrônômico do pimentão irrigado por pulso**. 2020. 90p. Dissertação (Mestrado em Agricultura e Ambiente) - Unidade Educacional ARAPIRACA, Universidade Federal de Alagoas, Arapiraca, 2020.

COSTA, R. H. **Desempenho agrônômico do pimentão irrigado por pulso**. 2020. 87p. Dissertação (Mestrado em Agricultura e Ambiente) - UFAL, Campus Arapiraca, Unidade Educacional ARAPIRACA, 2020.

COTA-RUIZ, K.; YE, Y.; VALDES, C.; DENG, C.; WANG, Y.; HERNÁNDEZ-VIEZCAS, J. A.; DUARTE-GARDEA, M.; GARDEA-TORRESDEY, J. L. Copper nanowires as nanofertilizers for alfalfa plants: Understanding nano-bio systems interactions from microbial genomics, plant molecular responses and spectroscopic studies. **Science of the Total Environment**, v. 742, p. 140572, 2020.

DAVIES, B. S.; WANG, H.S.; RINE, J. Dual activators of the sterol biosynthetic pathway of *Saccharomyces cerevisiae*: similar activation/regulatory domains but different response mechanisms. **Mol Cell Biol**, v.25, n.16, p.7375-7385, 2005.

DIAS, M. S.; FLORENTINO, L. A.; RABÊLO, F. H. S.; REZENDE, A. V.; SOUZA, F. R. C.; BORGIO, L. Características morfológicas, produtivas e bromatológicas do capim-xaraés: adubação nitrogenada em cobertura versus inoculação com bactérias diazotróficas. **Ciência Animal Brasileira**, v. 20, p. 1-12, 2019.

DODD, I. C. Rhizosphere manipulations to maximize 'crop per drop' during deficit irrigation. **Journal of Experimental Botany**, v.60, p.2454–2459, 2009.

DUARTE, A.L.M. Efeito da água sobre o crescimento e o valor nutritivo das plantas forrageiras. **Pesquisa & Tecnologia**. v. 9, n. 2, p. 467-477, 2012.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2006. 212p.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa em solo. **Manual de métodos de análises de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro. 2011. 225p.

FERREIRA, D.F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v.35 n.6, 2011.

FIGUEIREDO, M. V. B.; BURITY, H. A.; MARTÍNEZ, C. R.; CHANWAY, C. P. Alleviation of drought stress in the common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) by co-inoculation with *Paenibacillus polymyxa* and *Rhizobium tropici*. **Appl Soil Ecol.** v. 40 p.182–188, 2008.

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de olericultura: Agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças.** 3. ed. Viçosa, MG: UFV, 2008. 242 p.

FILHO, M. A. **Irrigação e fertirrigação em fruteira e hortaliças.** Brasília DF. Embrapa Informação Tecnológica, 2011.721-736 p.

FLORES, C. et al. Salinity and water deficit. **The Genus Citrus**, p. 291- 309. 2020. <https://doi.org/10.1016 / b978-0-12-812163-4.00014-0>.

FLORES, J. M. C; ARBONA, V; MORILLON, R; CADENAS, A. G. Salinity and water deficit. **The Genus Citrus**, p. 291-309. 2020. <https://doi.org/10.1016 / b978-0-12-812163-4.00014-0>.

FOGAÇA, J. R. V. **Aubos Orgânicos e Inorgânicos.** 2021. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/quimica/adubos-organicos-inorganicos.htm>. Acesso em: 10 março 2023.

FRACASSO, A.; TELÒ, L.; LANFRANCO, L.; BONFANTE, P.; AMADUCCI, S. Physiological beneficial effect of *Rhizophagus intraradices* inoculation on tomato plant yield under water deficit conditions. **Agronomy**, v.10, p.1-21, 2020.

GARCIA-LÓPEZ, J.I. et al. Foliar Application of zinc oxide nanoparticles and zinc sulfate boosts the content of bioactive compounds in Habanero Peppers. **Plants**, 2019, v.8, 254, 2019. doi:10.3390/plants8080254.

GHOLINEZHAD, E. Effect of Drought Stress and Fe Nanofertilizer on Seed Yield, Morphological Traits, Essential Oil Percentage and Yield of Dill (*Anethum graveolens* L.), **Journal of Essential Oil Bearing Plants**, v.20, n.4, p.1006-1017, 2017.

GLICK, B. R. Plant Growth-Promoting Bacteria: Mechanisms and Applications. **Scientifica**, v. 2012, p. 963401, 2012.

GRANT, O. M. Understanding and exploiting the impact of drought stress on plant physiology. In: Ahmad, P.; Prasad, M. N. V. *Abiotic Stress Responses in Plants*. **New York: Springer**, 2012. Chapter 6, p. 89-104.

GUIMARAES, J. A.; DE MOURA, A. P. Ocorrência e danos da mosca *Dasineura* sp. em pimentão no Distrito Federal. **Embrapa Hortaliças**, Distrito Federal, n. 163, p. 20, 2018.

HARTZ, T.; CANTWELL, M.; LESTRANGE, M.; SMITH, R.; AGUIAR, J.; DAUGOVISH, O. Bell pepper production in California. Oakland: **University of California**. 2018.

HENZ, G. P.; COSTA, C. S. R.; CARVALHO, S.; BANCI, C. A. Como cultivar pimentão: alta produtividade. **Cultivar Hortaliças e Frutas**, Pelotas, v. 7, n. 42, 2007.

IBGE: **Censo Agropecuário**. 2017. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/21814-2017-censo-agropecuaria.html?=&t=resultados>. Acesso em: 18 fevereiro 2023.

ISLAM, F; YASMEEN, T.; ARIF, M. S.; ALI, S.; ALI, B.; HAMEED, S. Plant growth promoting bacteria confer salt tolerance in *Vigna radiata* by up-regulating antioxidant defense and biological soil fertility. **Plant Growth Regul.** v. 80 p. 23–36, 2015.

JENSEN, M.E. Water consumption by agricultural plants. In: KOZLOWSKI, T.T. (Ed.). **Water deficits and plant growth**. New York: Academic Press, 1968. v.2, p.1-22.

KAISER, L. C. **Efeito do nitrogênio na qualidade do pimentão** (Capsicum annum L) **híbrido triunfo cultivado em ambiente protegido**. 2020. 50p. Monografia (Bacharelado em Agronomia) - Campus São Miguel do Oeste do Instituto Federal de Santa Catarina, 2020.

KERBAUY, B. G. Fisiologia Vegetal. 2.ed. Rio de Janeiro, **Guanabara Koogan**, 2008. 431p.

KUMARI, R.; SINGH, D.P. Nano-biofertilizer: An Emerging Eco-friendly Approach for Sustainable Agriculture. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 90, n. 4, p.733–741, 2020. doi:10.1007/s40011-019-01133-6.

LEME, S. C. **Qualidade de pimentões produzidos em sistema orgânico**. 2012. 117p. Tese (Doutorado em ciência dos Alimentos), Universidade Federal de Lavras, UFLA, Minas Gerais, 2012.

LIM, J. H.; KIM, S D. Induction of drought stress resistance by multifunctional PGPR Bacillus licheniformis K11 in pepper. *Plant Pathology Journal*, v. 29, n.2, p. 201-208, 2013. DOI: <https://doi.org/10.5423%2FPPJ.SI.02.2013.0021>.

LIMA, B. C; MORO, A. L; SANTOS, A. C. P; BONIFÁCIO, A; ARAÚJO, A. S. F; ARAÚJO, F. F. Bacillus subtilis ameliorates water stress tolerance in maize and common bean. **Journal of Plant Interactions**, v. 14, p. 432–439, 2019.

LIMA, E. M. C.; MATIOLLI, W.; THEBALDI, M. S.; REZENDE, F. C.; FARIA, M. A. Produção de pimentão cultivado em ambiente protegido e submetido a diferentes lâminas de irrigação. **Revista Agrotecnologia**, [S. l.], 2012.

LIMA, I. G. V. **Qualidade de mudas de pimentão** (*Capsicum annum* L.) **submetidas a diferentes substratos e a tipos de bandejas**. 2019. 42 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) – Centro de Ciências Agrárias, Curso de Graduação em Agronomia, Universidade Federal de Alagoas, Rio Largo, 2019.

LÓPEZ-RUEDA, R. **Comportamiento geoquímico de las nanopartículas**. 2022. 44p. Monografía (Bacharelado em Química) - Universidade de Jaén, Faculdade de Ciências Experimentais, Espanha, 2022.

LUO, Y.; WANG, F.; HUANG, Y.; ZHOU, M.; GAO, J.; YAN, T.; AN, L. *Sphingomonas* sp. Cra20 increases plant growth rate and alters rhizosphere microbial community structure of *Arabidopsis thaliana* under drought stress. **Frontiers in Microbiology**, v. 10, 1221, 2019.

LUO, Y; WANG, F; HUANG, Y; ZHOU, M; GAO, J; YAN, T; SHENG, H; AN, L. *Sphingomonas* sp. Cra20 increases plant growth rate and alters rhizosphere microbial community structure of *Arabidopsis thaliana* under drought stress. **Frontiers in Microbiology**, v. 10, 1221, 2019. doi: 10.3389/fmicb.2019.01221.

LUO, Y. et al. *Sphingomonas* sp. Cra20 increases plant growth rate and alters rhizosphere microbial community structure of *Arabidopsis thaliana* under drought stress. **Frontiers in Microbiology**, v. 10, 1221, 2019. doi: 10.3389/fmicb.2019.01221.

MADRID, R.; BARBA, E. M.; SÁNCHEZ, A.; GRACÍA, A. L. **Effects of organic fertilizers and irrigation level on physical and chemical quality of industrial tomato fruit (cv. Nautilus)**. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, Oxford, v. 89, n. 15, p.2608-2615, 2009.

MARDALIPOUR, M.; ZAHEDI, H; SARGHI, Y. Evaluation of Nano biofertilizer efficiency on Agronomic traits of spring wheat at different sowing date **Biological Forum – An International Journal**, v. 6, n.2, p. 349-356, 2014.

MARIMUTHU, S.; SUBBIAN, P.; RAMAMOORTHY, V.; SAMIYAPPAN, R. Synergistic effect of combined application of Azospirillum and Pseudomonas fluorescence with inorganic fertilizer on root rot incidence and yield of cotton. **Journal of Plant Diseases and Protection**, v. 109, n. 6, p. 569-577, 2002.

MAROUELLI, W. A.; SILVA, W. L. C.; SILVA, H. R. **Manejo da irrigação em hortaliças**. Brasília: Embrapa-SPI/Embrapa-CNPH, 1996. 72p.

MATOS, C. D. C.; COSTA, M. D.; SILVA, I. R.; SILVA, A. A. Competitive capacity and rhizosphere mineralization of organic matter during soil-herb microbiota interactions. **Planta Daninha**, v.37, 2019.

MEENA, V. S.; MEENA, S. K.; VERMA, J. P.; KUMAR, A.; AERON, A.; MISHRA, P. K.; DOTANIYA, M. L. Plant beneficial rhizospheric microorganism (PBRM) strategies to improve nutrients use efficiency: a review. **Ecological Engineering**, v. 107, p. 8-32, 2017.

MELO, R. A. P. **Alterações morfofisiológicas em pimentão influenciadas pela adubação silicatada como atenuante do estresse hídrico**. 2018. 44p. Monografia (Bacharelado em Agronomia) - Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar, Universidade Federal de Campina Grande, Pombal, Paraíba, Brasil, 2018.

MENDES, V. C.; QUEIROZ, C. A; SOUSA, T. F.; SILVA, G. F. Tesouros biotecnológicos sob as águas: bacillus sp. apur 37.1 isolado de sedimentos do rio Purus, um eficiente biocontrolador in vitro de diferentes fitopatógenos. In: **Simpósio de Biotecnologia da Universidade Federal DO Amazonas 2022**. Anais. Manaus: EDUA, 2022.

MOHI-ALDEN, K., OMID, M., FIROUZ, M. S., & NASIRI, A. A machine vision-intelligent modelling based technique for in-line bell pepper sorting. **Information Processing in Agriculture**, 2022.

MONTEIRO J.G. et al. Crescimento e conteúdo de prolina em plântulas de guandu submetidas a estresse osmótico e à putrescina exógena. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.49, p.18-25. 2014.

MOSA, W. F. A; EL-SHEHAWI, A. M; MACKLED, M. I; SALEM, M. Z. M; GHARREB, R. Y; HAFEZ, E. E; BEHIRY, D. I; ABDELSALAM, N. R. Productivity performance of peach trees, insecticidal and antibacterial bioactivities of leaf extracts as affected by nanofertilizers foliar application. **Scientific Reports**, v.11, p.10205, 2021.doi:10.1038/s41598-021-89885-y.

MOURA, E.M.; RIGHETO, A. M.; LIMA, R. R. M.; Avaliação da disponibilidade hídrica da demanda hídrica no trecho do rio Piranhas-Açu entre os açudes Coremas-Mãe D'água e Armando Ribeiro Gonçalves. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 16, n.4, p.7-19, 2011.

MURAS, A.; ROMERO, M.; MAYER, C.; OTERO, A. **Biotechnological applications of Bacillus licheniformis**. *Critical Reviews in Biotechnology*, v. 41, n. 4, p. 609-627, 2021. DOI: 10.1080/07388551.2021.1873239.

NASCIMENTO, W. M. **Produção de Sementes de Hortaliças** - Volume I. 1. ed., 2014. v. 1. 315p.

NASEEM, F.; ZHI, Y.; FARRUKH, M. A.; HUSSAIN, F.; YIN, Z. Mesoporous ZnAl<sub>2</sub>Si<sub>10</sub>O<sub>24</sub> nanofertilizers enable high yield of *Oryza sativa* L. **Scientific Reports**, v. 10, n. 1, p. 1-11, 2020.

NUNES JÚNIOR, E. S.; MEDEIROS, J. F.; OLIVEIRA, F. A.; LIMA, L. A.; BEZERRA, F. M. S.; ALVES, R. C. Nitrogen and potassium fertigation in bell pepper cultivated in greenhouse using fertigation managements. **Revista**

**Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 21, n. 3, p.186-190, 2017.

NUNES, A. M. C.; NUNES, L. R. L.; RODRIGUES, A. J. O.; UCHÔA, K. S. A. Aline Mara Chaves et al. Silício na tolerância ao estresse hídrico em tomateiro. **Revista Científica Rural**, v. 21, n. 2, p. 239-258, 2019.

OJUEDERIE, O. B; OLANREWAJU, O. S; BABALOLA, O. O. Plant growth promoting rhizobacterial mitigation of drought stress in crop plants: Implications for sustainable agriculture. **Agronomy**, v. 9, 712, 2019. doi:10.3390/agronomy9110712.

OLIVEIRA, C. A.; SANTOS, F. C. dos; MARRIEL, I. E.; ALMEIDA, C. N. S.; GOMES, E. A.; MATTOS, B. B.; PASSOS, A. M. A. dos; ALBUQUERQUE FILHO, M. R. de; TEIXEIRA, P. C. Adubação fosfatada organomineral com pulverização de inoculante contendo microrganismos solubilizadores. **Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo**, 2017. 11 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular Técnica, 236).

PÁDUA, J. G.; CASALI, V. W. D.; PINTO, C. M. F. Efeitos climáticos sobre pimentão e pimenta. **Informe Agropecuário**, v. 10, n. 113, p. 11-13, 1984.

PALACIO-RODRÍGUEZ, R., CORIA-ARELLANO, J.L., LÓPEZ-BUCIO, J., SÁNCHEZ-SALAS, J., MURO-PÉREZ, G., CASTAÑEDA-GAYTÁN, G. Y SÁENZ-MATA, J. 2017. **Halophilic rhizobacteria from *Distichlis spicata* promote growth and improve salt tolerance in heterologous plant hosts**. *Symbiosis*. 73(3): 179-189.

PATANÈ, C.; COSENTINO, S. L. Effects of soil water deficit on yield and quality of processing tomato under a mediterranean climate. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v.97, p.131-138, 2010.

PATANÈ, C.; TRINGALI, S.; SORTINO, O. Effects of deficit irrigation on biomass, yield, water productivity and fruit quality of processing tomato under semi-arid Mediterranean climate conditions. **Scientia Horticulturae, Amsterdam**, v.129, n.4, p.590-596, 2011.

PAULINO, R. C. **Acúmulo de matéria seca e de nutrientes em pimentão adubado com doses de nitrogênio e fósforo**. 2016.52f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal Rural do Semi-Árido - UFERSA, Mossoró, 2016.

PELÁEZ-VICO, M. A.; BERNABÉU-RODA, L.; KOHLEN, W.; SOTO, M. J.; LÓPEZRÁEZ, J. A. Strigolactones in the Rhizobiumlegume symbiosis: stimulatory effect on bacterial surface motility and down-regulation of their levels in nodulated plants. **Plant Science**, Limerick, v. 245, p. 119-127, 2016.

PEREIRA, D. S.; COSTA, Y. K. S. da.; CARVALHO, L. B. de.; O elemento P: formas e dinâmica em solos tropicais. **Universidade Federal de Viçosa**, Viçosa, MG, Brasil. <http://www.fcav.unesp.br/rab> e-ISSN 2594-6781 Volume 5 (2021).

PORTO, E. M. V.; TEIXEIRA, F. A.; FRIES, D. D.; JARDIM, R. R.; AMARO, H. T. R.; FILHO, J. R. S.; VIEIRA, T. M. Microrganismos promotores de crescimento de plantas como mitigadores do estresse hídrico em pastagens: uma revisão narrativa. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 11, 2022.

RAMAKRISHNA, W; RATHORI, P; KUMARI, R; YADAV, R. Brown gold of marginal soil: Plant growth promoting bacteria to overcome plant abiotic stress for agriculture, biofuels and carbon sequestration. **Science of The Total Environment**, 2019. Doi:10.1016 / j. scitotenv.2019.135062.

RIBEIRO, V. P.; MARRIEL, I. E.; SOUSA, S. M. de; LANA, U. G. de P.; MATTOS, B. B.; PAIVA, C. A. O.; GOMES, E. A. Endophytic Bacillus strains enhance pearl millet growth and nutrient uptake under low-P. **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 49S, p. 40-46, 2018.

RICHARDSON, A. E. Prospects for using soli microorganisms to improve the acquisition of phosphorus by plants. **Australian Journal of Plant Physiology**, Victoria, v. 28, p. 897-906, 2001.

ROCHA, P. A. **Produção de pimentão sob diferentes estratégias de irrigação com e sem cobertura do solo, no semiárido Baiano**. 2017. 58p. Dissertação (Mestrado Profissional: Área de concentração Produção vegetal) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano, Guanambi, 2017.

SANTANA, M. J.; CARVALHO, J. de A.; FAQUIN, V.; QUEIROZ, T. M. de. Produção do pimentão (*Capsicum annum* L.) irrigado sob diferentes tensões de água no solo e doses de cálcio. **Revista Ciência e Agrotecnologia**, v.28, p.1385-1391, 2004.

SANTOS, Helane Cristina Aguiar. **Nutrição nitrogenada na cultura do pimentão fertirrigado em função de tensões de água no solo**. 2019. Tese de Doutorado. UFRA.

SANZARI, I.; LEONE, A. AMBROSONE, A. Nanotechnology in Plant Science: To Make a Long Story Short. **Frontiers in Bioengineering and Biotechnology**. v.7, 120, 2019. Doi: 10.3389/fbioe.2019.0012.

SHARMA, G.; KUMAR, A.; DEVI, K. A.; PRAJAPATI, D.; BHAGAT, D.; PAL, A.; RALIYA, R.; BISWAS, P.; SAHARAN, V. Chitosan nanofertilizer to foster source activity in maize. **International journal of biological macromolecules**, v. 145, p. 226-234, 2020.

SILVA, Flaviana G. da et al. Trocas gasosas e fluorescência da clorofila em plantas de berinjela sob lâminas de irrigação. **Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental**, v. 19, p. 946-952, 2015.

SILVA, Juliara dos Santos et al. **Qualidade pós-colheita do pimentão vermelho 'melina' sob cobertura de solo**, adubação orgânica e mineral. 2017.

SILVA, T. F. M. **Monitoramento de artrópodes-praga em pimentão cultivado em ambiente protegido no Distrito Federal**. 2021. 26p. Monografia (Bacharelado em Agronomia) - Universidade de Brasília, Brasília, 2021.

SISDAGRO (Brasília). Instituto Nacional de Meteorologia – Inmet. Sistema de Suporte à Decisão aided by NMR and GC-MS based metabolomics. **Plant Soil**, v. 429, p.437–450, 2018. DOI:10.1007/s11104-018-3701-y.

SOUSA, Henderson C. et al. Gas exchange and growth of zucchini crop subjected to salt and water stress. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 26, p. 815-822, 2022.

SOUZA, V. F.; MAROUELLI, W. A.; COELHO, E. F.; PINTO, J. M.; COELHO, FILHO, M. A. Irrigação e fertirrigação em fruteiras e hortaliças. Brasília: **Embrapa Hortaliças**, 2011. P. 721-736. (Informação Tecnológica).

SU, Shiming e cols. A inoculação de clamidósporos de *Trichoderma asperellum* SM-12F1 altera a disponibilidade de arsênico e a atividade enzimática no solo e melhora o crescimento do espinafre aquático. **Quimiosfera**, v. 175, pág. 497-504, 2017.

SUN, L. et al. Nano-ZnO-induced drought tolerance is associated with melatonin synthesis and metabolism in maize. **International Journal of Molecular Science**, 2020, v.21, 782, 2020. DOI: 10.3390/ijms21030782.

SUN, L.; SONG, F.; GUO, J.; ZHU, X.; LIU, S.; LIU, F.; LI, X. Nano-ZnO-induced drought tolerance is associated with melatonin synthesis and metabolism in maize. **International Journal of Molecular Science**, 2020, v.21,782, 2020.

SUN, L.; FENGBIN, C.; GUO, J.; ZHU, X.; LIU, S.; LIU, F.; LI, X. Nano-ZnO-induced drought tolerance is associated with melatonin synthesis and metabolism in maize. **International Journal of Molecular Science**, 2020, v.21,782, 2020. doi:10.3390/ijms21030782.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6ª ed. – Porto Alegre: Artmed, 2017.

TERRA, A. B. C.; SOUZA, F. R. C.; MANTOVANI, J. R.; REZENDE, A. V.; FLORENTINO, L. A. Physiological characterization of diazotrophic bacteria isolated from *Brachiaria brizantharhizosphere*. **Revista Caatinga**, v. 32 n. 3, p. 658-666, 2019.

TOLEDO, Carla Neves et al. Alelopatia de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu em bactérias promotoras do crescimento vegetal. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 3, p. e3311326287-e3311326287, 2022.

UTKHEDE, R.S., LÉVESQUE, C.A., DINH D. (2000) *Pythium aphanidermatum* root rot in hidroponically grown lettuce and the effect of chemical and biological agents on its control. **Canadian Journal of Plant Pathology**, 22:138-144.

VINCI, G.; COZZOLINO, V.; MAZZEI, P.; MONDA, H.; SAVY, D.; DROSOS, M.; PICCOLO, A. Effects of *Bacillus amyloliquefaciens* and different phosphorus sources on maize plants as revealed by NMR and GC-MS based metabolomics. **Plant Soil**, v. 429, p.437–450, 2018.

VINCI, G. et al. Effects of *Bacillus amyloliquefaciens* and different phosphorus sources on maize plants as revealed by NMR and GC-MS based metabolomics. **Plant Soil**, v. 429, p.437–450, 2018. doi:10.1007/s11104-018-3701-y.

VURUKONDA, S.S.K.P.; VARDHARAJULA, S.; SHRIVASTAVA, M.; Skz, A. Enhancement of drought stress tolerance in crops by plant growth promoting rhizobacteria. **Microbiological Research**, v. 184, p.13-24, 2016. doi: 10.1016/j.micres.2015.12.003.

ZULFIQAR, F.; NAVARRO, M.; ASHRAF, M.; AKRAM, N. A.; MUNNÉ-BOSCH, S. Nanofertilizer use for sustainable agriculture: Advantages and limitations. **Plant Science**, v. 289, p. p. 1-11, 2019.