

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO” FACULDADE
DE CIÊNCIAS E ENGENHARIA**
Programa de Pós-Graduação em Agronegócio e Desenvolvimento

WILLIAN APARECIDO LEOTI ZANETTI

**INOCULAÇÃO DE *Bacillus aryabhattai* NO MICRO-
TOMATEIRO (*Lycopersicon esculentum* cv micro-tom) SUBMETIDO À
DÉFICIT HÍDRICO.**

WILLIAN APARECIDO LEOTI ZANETTI

INOCULAÇÃO DE *Bacillus aryabhattai* NO MICRO-TOMATEIRO (*Lycopersicon esculentum* cv *micro-tom*) SUBMETIDO À DÉFICIT HÍDRICO.

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronegócio e Desenvolvimento da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Câmpus de Tupã, como requisito para a obtenção do título de Doutor em Agronegócio e Desenvolvimento.

Área de concentração: Agronegócio e Desenvolvimento

Linha de pesquisa: Desenvolvimento e Meio Ambiente

Orientador: Prof. Dr. Mario Mollo Neto

Coorientadores: Prof. Dr. Fernando Ferrari Putti; Prof. Dr. Raúl Andres Martinez Uribe

**TUPÃ
2024**

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Biblioteca e Documentação da FCE – Unesp, Câmpus Tupã:

Z28i Zanetti, Willian Aparecido Leoti.
Inoculação de *Bacillus aryabhattai* no micro-tomateiro
(*Lycopersicon esculentum* cv *micro-tom*) submetido à déficit
hídrico / Willian Aparecido Leoti Zanetti. – Tupã: [s.n.], 2024.
112 f. : il.

Tese (Doutorado em Agronegócio e Desenvolvimento) –
Universidade Estadual Paulista UNESP – Faculdade de
Ciências e Engenharia, 2024.

Orientador: Mario Mollo Neto
Coorientador: Fernando Ferrari Putti
Coorientador: Raul Andres Martinez Uribe

1. Bioinsumos. 2. Irrigação. 3. Microorganismo. 4. Seca. 5.
Solos. I. Título. II. Autor.

Fonte: Eliana Kátia Pupim, bibliotecária CRB 8 – 6202. Essa ficha não pode ser modificada.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: Inoculação de *Bacillus aryabhattai* no Micro-Tomateiro (*Lycopersicon esculentum* CV MICRO-TOM) submetido à déficit hídrico.

AUTOR: WILLIAN APARECIDO LEOTI ZANETTI

ORIENTADOR: MARIO MOLLO NETO

COORIENTADOR: FERNANDO FERRARI PUTTI

COORIENTADOR: RAUL ANDRES MARTINEZ URIBE

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em Ciências, pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. RAUL ANDRES MARTINEZ URIBE (Participação Virtual)
Engenharia de Biosistemas / Faculdade de Ciências e Engenharia - FCE - UNESP - Tupã/SP

Documento assinado digitalmente
 **RAUL ANDRES MARTINEZ URIBE**
Data: 30/01/2024 17:17:14-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. ALEXSANDRO OLIVEIRA DA SILVA (Participação Virtual)
Curso de Graduação em Engenharia Agrícola / Universidade Federal do Ceará

Documento assinado digitalmente
 **ALEXSANDRO OLIVEIRA DA SILVA**
Data: 30/01/2024 17:35:14-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. ISABÔ MELINA PASCOALOTO (Participação Virtual)
Curso de Graduação em Agronomia / Universidade de Marília - UNIMAR - Marília/SP

Documento assinado digitalmente
 **ISABO MELINA PASCOALOTO**
Data: 08/02/2024 17:21:10-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. LIGIANE APARECIDA FLORENTINO (Participação Virtual)
Departamento de Ciências Agrárias / Universidade José do Rosário Vellano - UNIFE

Documento assinado digitalmente
 **LIGIANE APARECIDA FLORENTINO**
Data: 08/02/2024 11:24:26-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Pesquisadora Dra. BRUNA ARRUDA (Participação Virtual)
Pesquisadora Pós-Doutorado / Faculdade de Ciências e Engenharia - FCE - UNESP - Tupã/SP

Documento assinado digitalmente
 **BRUNA ARRUDA**
Data: 30/01/2024 17:40:10-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Tupã, 16 de janeiro de 2024

Dedico a toda minha família, em especial aos meus queridos pais, Rosemeire e
Evandro.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pela presença e fortalecimento para vencer os obstáculos presentes nesta caminhada, que mesmo em meio a tantos momentos de desafios, me agraciou com fé para tornar esses momentos mais compreensíveis.

Agradeço aos meus familiares, por todo o carinho e apoio necessário. Em especial aos meus pais que sempre me deram força e esperança para encarar os desafios.

À minha namorada Vanessa e toda a sua família, que sempre souberam me ouvir e apoiaram em todos os momentos.

Ao meu orientador Prof. Dr Mario Mollo Neto, que me acolheu como orientando e me trouxe muito aprendizado e conhecimento, agradeço a confiança, além de todas as palavras de incentivo.

Agradeço ao meu coorientador Prof. Dr. Fernando Ferrari Putti, por se fazer mais que um coorientador, um amigo que sempre esteve ao meu lado dialogando e buscando soluções para todos os desafios. Obrigado pelos ensinamentos, correções e oportunidades.

À Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, em especial à Faculdade de Ciências e Engenharia, campus de Tupã, por proporcionar um ambiente importante de formação, aprendizado e de novas oportunidades desde a graduação e agora no doutorado.

Aos Docentes do Programa de Pós-graduação em Agronegócio e Desenvolvimento, pelo comprometimento e dedicação em compartilhar conhecimentos.

Deixo o meu agradecimento a todo o departamento de Engenharia de Biosistemas pelas oportunidades e que puderam agregar tanto como profissional como também pessoal. Assim como todos os servidores da unidade Unesp Tupã.

Aos assistentes de suporte acadêmico Bruno, Rangel e Yasmin, pelas contribuições e auxílio na condução e realização de análises do experimento.

A toda equipe do grupo BIOAGRO, pela amizade, atenção e ajuda na condução do experimento. Em especial a Ana, Gustavo e Julia.

A Proteto Indústria e Comércio Tupã pela parceria durante a realização do experimento.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) - Código de Financiamento 001, pela bolsa de doutorado concedida.

Agradeço o apoio financeiro ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) durante a condução da pesquisa.

Assim como demais amigos que contribuíram diretamente ou indiretamente, meus sinceros agradecimentos.

Pois todo o que nasceu de
Deus vence o mundo. E esta é
a vitória que venceu o mundo: a
nossa fé.

João 5-4

ZANETTI, Willian Aparecido Leoti Zanetti. **Inoculação de *Bacillus aryabhattai* no MICRO-TOMATEIRO (*Lycopersicon esculentum* cv *micro-tom*) submetido à déficit hídrico** – Faculdade de Ciências e Engenharia, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Tupã, 2024

RESUMO

Os bioinsumos são compostos provenientes de microrganismos, material vegetal, orgânico ou natural, empregados na agricultura com o intuito de combater pragas e doenças, melhorar a fertilidade nutricional do solo, aumentar a disponibilidade de nutrientes, e recentemente o potencial para atenuar os efeitos do estresse hídrico nas plantas. Neste contexto, este trabalho teve o objetivo de avaliar o efeito da inoculação do *Bacillus aryabhattai* no micro-tomateiro (*Lycopersicon esculentum* cv *micro-tom*) submetido ao déficit hídrico. O trabalho foi realizado em casa de vegetação na Faculdade de Ciências e Engenharia - FCE, Campus de Tupã, São Paulo. O experimento avaliou a tolerância da planta ao déficit hídrico em solos de textura argilosa e arenosa, com e sem a inoculação do *Bacillus aryabhattai* e sob capacidades de água disponível (40-50%; 60-70%; 80-90%). Foram avaliadas variáveis fisiológicas, bioquímicas, biométricas e de qualidade do fruto. Os dados foram submetidos à análise de variância e quando significativos comparados pelo teste de média de Tukey, ao nível de 5%. Inferindo em resultados importantes para o emprego deste bioinsumo, uma vez que é possível observar variações de desenvolvimento das plantas inoculadas a partir dos resultados de massa vegetal e raiz, com volumes maiores observados no micro-tomateiro de ambos os solos. Como a produção de frutos 35% maior em solo arenoso. Além de maior absorção de nutrientes pelas plantas em ambos os solos, principalmente de macronutriente, como Nitrogênio. De modo geral, o déficit hídrico interferiu nas variáveis fisiológicas, no entanto resultados da atuação do microrganismo foram evidentes em condições de solo argiloso. Garantindo um importante potencial desta estirpe para aplicações agrícolas e no desenvolvimento de estudos futuros.

Palavras-chave: Bioinsumos. Irrigação. Microrganismo. Seca. Solos

ZANETTI, Willian Aparecido Leoti Zanetti. **Inoculation of *Bacillus aryabhattai* in micro-tomato (*Lycopersicon esculentum* cv *micro-tom*) under water stress** - Faculdade de Ciências e Engenharia, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Tupã, 2023.

ABSTRACT

Bio-inputs are compounds from microorganisms, plant material, organic or natural, used in agriculture to combat pests and diseases, improve the nutritional fertility of the soil, increase the availability of nutrients, and recently the potential to mitigate the effects of water stress on plants. In this context, the aim of this study was to evaluate the effect of inoculating *Bacillus aryabhattai* on micro-tomato plants (*Lycopersicon esculentum* cv *micro-tom*) subjected to water deficit. The work was carried out in a greenhouse at the Faculty of Science and Engineering - FCE, Tupã Campus, São Paulo. The experiment evaluated the plant's tolerance to water deficit in clay and sandy soils, with and without *Bacillus aryabhattai* inoculation and under available water capacities (40-50%; 60-70%; 80-90%). Physiological, biochemical, biometric and fruit quality variables were assessed. The data was submitted to analysis of variance and, when significant, compared using Tukey's mean test at 5%. Inferring important results for the use of this bioinput, since it is possible to observe variations in the development of the inoculated plants from the results of plant and root mass, with larger volumes observed in the micro-tomato plant in both soils. Like the 35% higher fruit production in sandy soil. In addition to greater absorption of nutrients by the plants in both soils, especially macronutrients such as nitrogen. In general, the water deficit interfered with the physiological variables, but the results of the microorganism's action were evident in clay soil conditions. This guarantees the important potential of this strain for agricultural applications and the development of future studies.

Keywords: Bioinputs. Irrigation. Microorganism. Drought. Soils

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Mecanismo de Abertura e fechamento estomático vegetal sob déficit hídrico. ...	27
Figura 2 – Um dos mecanismos de atividade das bactérias para crescimento de plantas (BPCP) com ácido indol-3-acético (AIA), Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN) e Solubilização de Fosfato Inorgânico (SFI).....	29
Figura 3 - Síntese de mecanismos de bactérias para atenuar o déficit hídrico.	31
Figura 4 – Diâmetro do Fruto (A), comprimento do fruto (B), número de frutos (C e D). ...	52
Figura 5 – Sólidos Solúveis (A), acidez titulável (B), pH (C).....	53
Figura 6 – Peso massa fresca raiz (A), comprimento raiz (B), peso massa seca raiz (C) e raízes fresca (D).....	54
Figura 7- Altura do caule (A e B) e diâmetro do caule (C).....	55
Figura 8 – Fitomassa vegetal da parte aérea (FMVPA – A), índice de área foliar (B), Fitomassa seca da parte aérea (FMSPA – C).....	56
Figura 9 – Nitrogênio (N – A), potássio (K – B e D), fósforo (P – C), cálcio (Ca – E), magnésio (Mg – F).	58
Figura 10 – Enxofre (S - A), cobre (Cu - B), manganês (Mn – C), zinco (Zn – D), ferro (Fe – E).....	60
Figura 11 - Taxa de assimilação líquida de CO ₂ (A - A), condutância estomática (gs - B), concentração interna de CO ₂ na folha (Ci – C e E), taxa de transpiração (E - D).....	61
Figura 12 - Eficiência do uso da água (EUA – A e B), eficiência de carboxilação (EC – C).	62
Figura 13 - Rendimento quântico potencial do fotossistemas II (Fv'/Fm' – A e B), coeficiente de extinção não fotoquímico (qN – C e D), eficiência fotoquímica máxima do fotossistemas II (Fv/Fm - E), coeficiente de extinção fotoquímico (qP - F).	64
Figura 14 - Teores de peróxido de hidrogênio (H ₂ O ₂ - A) e malondialdeído (MDA - B) submetido a diferentes CADs e na presença ou ausência da <i>Bacillus aryabhattai</i>	65
Figura 15 – Atividade das enzimas peroxidase (POD – A e B), superóxido dismutase (SOD - C), submetido a diferentes CADs e na presença ou ausência da <i>Bacillus aryabhattai</i>	66
Figura 16 - Teores de clorofila a (A), clorofila b (B) e clorofila total (C) em plantas de tomate cultivar Micro-Tom com e sem bioinsumo, submetidos às CADs 40, 60 e 80.	67
Figura 17 - Diâmetro do Fruto (A), comprimento do fruto (B), número de frutos (C).	87
Figura 18 - Sólidos Solúveis (A), acidez titulável (B), pH (C).....	88
Figura 19 – Peso massa fresca raiz(A), comprimento raiz (B), peso massa seca raiz(C),	

raízes frescas (D).	89
Figura 20 - Altura do caule (A) e diâmetro do caule (B).	90
Figura 21 - Fitomassa vegetal da parte aérea (FMVPA – A), área foliar (B-D), Fitomassa seca da parte aérea (FMSPA – C).	91
Figura 22 - Nitrogênio (N – A), potássio (K – B), fósforo (P – C), magnésio (Mg – D- F) e cálcio (Ca – E).....	93
Figura 23 - Enxofre (S - A), ferro (Fe – B). cobre (B - B), manganês (Mn – C), zinco (Zn – D).	94
Figura 24 - Taxa de assimilação líquida de CO ₂ (A - A), condutância estomática (gs - B), concentração interna de CO ₂ na folha (Ci – C) e taxa de transpiração (E- D).	95
Figura 25 - Eficiência do uso da água (EUA – A) e eficiência de carboxilação (EC – B)...	96
Figura 26 - Rendimento quântico potencial do fotossistemas II (Fv'/Fm' – A), coeficiente de extinção não fotoquímico (qN – C e D), eficiência fotoquímica máxima do fotossistemas II (Fv/Fm - E), coeficiente de extinção fotoquímico (qP - F).	97
Figura 27 - Teores de peróxido de hidrogênio (H ₂ O ₂ - A) e malondialdeído (MDA - B) submetido a diferentes CADs e na presença ou ausência da <i>Bacillus aryabhattai</i>	98
Figura 28 - Atividade das enzimas peroxidase (POD – A) e superóxido dismutase (SOD - B) submetido a diferentes CADs e na presença ou ausência da <i>Bacillus aryabhattai</i>	99
Figura 29 - Teores de clorofila a (A), clorofila b (B) e clorofila total (C) em plantas de tomate cultivar Micro-Tom com e sem bioinsumo, submetidos às CADs 40, 60 e 80.	100

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Análise textural de solo arenoso, coletados da camada de 0-20 cm.	47
Tabela 2 - Análise de fertilidade química coletado da camada de 0-20 cm do solo arenoso.	48
Tabela 3 - Análise textural de solo argiloso, coletados da camada de 0-20 cm.....	83
Tabela 4 - Análise de fertilidade química coletado da camada de 0-20 cm do solo argiloso.	83

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

<i>A</i>	- Assimilação líquida do CO ₂
<i>ABA</i>	- Ácido abscísico
<i>AIA</i>	- Ácido indol-3-acético
<i>BPCP</i>	- Bactérias promotoras de crescimento de plantas
<i>C_i</i>	- Concentração interna de CO ₂ na folha
<i>C/B</i>	- Com bactéria
<i>E</i>	- Taxa de transpiração
<i>EC</i>	- Eficiência de carboxilação
<i>ETR</i>	- Taxa aparente de transporte de elétrons
<i>EUA</i>	- Eficiência do uso da água
<i>FBN</i>	- Fixação Biológica de Nitrogênio
<i>Fv/Fm</i>	- Eficiência fotoquímica máxima do fotossistema PSII
<i>Fv'/Fm'</i>	- Rendimento quântico potencial do PSII
<i>g</i>	- Condutância estomática
<i>ODS</i>	- Objetivo do Desenvolvimento Sustentável
<i>qP</i>	- Coeficiente de extinção fotoquímico
<i>qN</i>	- Coeficiente não fotoquímico
<i>S/B</i>	- Sem bactéria
<i>SFI</i>	- Solubilização de Fosfato Inorgânico
<i>Vpdl</i>	- Déficit de pressão de vapor
<i>Tleaf</i>	- Temperatura da folha
<i>UFC</i>	- Unidade de formação de colônias

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	17
CAPÍTULO I: BIOINSUMOS NA AGRICULTURA - ALTERNATIVA BIOLÓGICA PARA CONTORNAR OS EFEITOS DO DÉFICIT HÍDRICO.....	19
1 INTRODUÇÃO	20
2 DESENVOLVIMENTO	22
2.1 Bioinsumos.....	22
2.2 Déficit hídrico.....	25
2.3 Bactérias promotoras de crescimento de plantas (BPCP)	28
2.4 Uso de bactérias para atenuar o déficit hídrico	30
3 CONSIDERAÇÕES FINAIS	32
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	33
CAPÍTULO II: EFEITOS DA INOCULAÇÃO DO <i>Bacillus aryabhattai</i> NO MICRO TOMATEIRO (<i>Lycopersicon esculentum</i> cv <i>micro-tom</i>), SUBMETIDO AO DÉFICIT HÍDRICO EM SOLO AREOSO.....	44
1 INTRODUÇÃO	45
2 MATERIAL E MÉTODO	47
2.1 Localização	47
2.2 Delineamento e condução.....	47
2.3 Variáveis analisadas	49
2.3.1 Variáveis biométricas e qualidade do fruto	49
2.3.2 Macro e micronutrientes	49
2.3.3 Parâmetros de trocas gasosas.....	49
2.3.4 Parâmetros de fluorescência da clorofila a.....	50
2.3.5 Análises bioquímicas.....	50
2.3.5.1 Pigmentos fotossintéticos.....	50
2.3.5.2 Determinação da atividade enzimática.....	50
2.3.5.3 Determinação de parâmetros relacionados ao metabolismo oxidativo.....	50
2.4 Análises estatísticas.....	51
3 RESULTADOS	51
4 DISCUSSÕES.....	67
5 CONCLUSÃO.....	71
CAPÍTULO III: <i>Bacillus aryabhattai</i> INOCULADO NO MICRO TOMATEIRO (<i>Lycopersicon esculentum</i> cv <i>micro-tom</i>), COMO EFEITO DE ATENUAÇÃO DO DÉFICIT HÍDRICO EM SOLO ARGILOSO.....	80
1 INTRODUÇÃO	81
2 MATERIAL E MÉTODO	82
2.1 Localização	82
2.2 Delineamento e condução.....	82
2.3 Variáveis analisadas	84
2.3.1 Parâmetros de trocas gasosas.....	84
2.3.2 Parâmetros de fluorescência da clorofila a.....	84
2.3.3 Análises bioquímicas.....	84
2.3.3.1 Pigmentos fotossintéticos.....	84
2.3.3.2 Determinação da atividade enzimática.....	85

2.3.3.3 Determinação de parâmetros relacionados ao metabolismo oxidativo.....	85
2.3.4 Variáveis biométricas e qualidade do fruto	85
2.3.5 Macro e micronutrientes	85
2.4 Análises estatísticas	86
RESULTADOS	86
DISCUSSÃO	100
CONCLUSÃO.....	104
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	104
CONSIDERAÇÕES FINAIS	111
REFERÊNCIAS.....	112

INTRODUÇÃO GERAL

A atividade agrícola é altamente influenciada pelas condições climáticas, o que significa que as mudanças no clima têm o potencial de afetar negativamente a produtividade das colheitas. Acarretando consequências significativas para o acesso aos alimentos, segurança alimentar e nutricional, além do desenvolvimento social e econômico (OROBIO *et al.*, 2023; WANG *et al.*, 2023).

Evidencia-se cada vez mais, a incidência de eventos climáticos extremos, como temperaturas elevadas, inundações, seca, bem como a formação de áreas inférteis e desertificação, que podem afetar a produtividade agrícola. Como também podem afetar a ocorrência e severidade de pragas e doenças (DABAR *et al.*, 2022; SOARES; PAÇO; ROLIM, 2023).

Revelando um desafio para o setor agrícola, uma vez que necessita manter a produção e qualidade dos alimentos, com o aumento constante da população e de eventos climáticos. Tornando necessária a introdução de técnicas eficazes e economicamente viáveis, incluindo a introdução de tecnologias e conceitos de precisão na agricultura, para assim, superar as limitações impostas pelas mudanças no clima e garantir a segurança alimentar global (KHONDOKER *et al.*, 2023).

Diante disso, é necessário desenvolver abordagens integradas que abordem simultaneamente questões ambientais e sociais. Como integrar aos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) estabelecidos em 2015, com 17 objetivos e 169 metas, que abrange questões de desenvolvimento econômico e social, desde assuntos em torno da fome, água, igualdade de gênero até meio ambiente e mudanças climáticas (DAS; ALBINSSON, 2023).

O alinhamento desses objetivos com as alterações climáticas e a produção agrícola é importante para enfrentar desafios inter-relacionados (HABIB-UR-RAHMAN, *et al.*, 2022). Uma vez que, inclui a promoção de práticas agrícolas sustentáveis e resilientes, a mitigação das alterações climáticas, a proteção da biodiversidade e dos ecossistemas, a gestão eficiente de recursos naturais, a redução do desperdício, a inovação e o investimento. Permitindo uma abordagem global que considere tanto a sustentabilidade ecológica como a segurança alimentar, além do fortalecimento e cooperação entre governos, o setor privado e a sociedade.

Neste enfoque e pensando na necessidade de intensificar o setor agrícola e ao mesmo tempo desenvolver técnicas para uma produção sustentável, além de ser capaz de atenuar os efeitos do clima. Sucodem os bioinsumos a partir das

bactérias promotoras do crescimento das plantas (BPCP), que são originárias do solo e colonizam as raízes das plantas, permitindo melhorar o crescimento, desenvolvimento e o rendimento das plantas durante o cultivo (RENE *et al.*, 2023).

Uma vez que, por meio de mecanismos estimulantes, influenciam na concentração de hormônios vegetais e asseguram inúmeros processos bioquímicos e fisiológicos nas plantas. Assim, os bioinsumos, que incluem biofertilizantes, inoculantes, biopesticidas, bioestimulantes e compostos orgânicos, vêm se tornando uma prática amplamente aceita na agricultura para aumentar a produção agrícola sustentável em diferentes partes do mundo (POSMYK *et al.*, 2023).

Portanto, a inoculação desses microrganismos, podem melhorar diversos aspectos, como a taxa de germinação de sementes, crescimento das raízes e caule (SOLOMON *et al.*, 2023), o rendimento, tamanho das folhas, o teor de clorofila, absorção de nutrientes (RACIOPPO *et al.*, 2023), resistência a patogênico (AHMED *et al.*, 2023), além de tolerância ao déficit hídrico (MASMOUDI *et al.*, 2023).

Podendo ser aplicado em diversas culturas, no entanto para este trabalho o tomate foi escolhido por ser umas das culturas hortícolas mais populares e cultivadas no globo terrestre, com importância econômica para muitos agricultores de países em desenvolvimento. Além, da cultivar Micro-Tom ser de um ciclo de vida rápido, 70-90 dias, desde a semeadura até ao amadurecimento do fruto, assegurando um bom desempenho experimental e aptidão em grande escala (TERADA *et al.*, 2023).

Neste contexto, este trabalho tem como objetivo analisar o potencial de uso do *Bacillus aryabhattai* para mitigar os efeitos do déficit hídrico na cultura do micro-tomateiro (*Lycopersicon esculentum* CV MICRO-TOM).

CAPÍTULO I: Bioinsumos na agricultura - Alternativa biológica para contornar os efeitos do déficit hídrico

RESUMO

Os bioinsumos são compostos provenientes de microrganismos, material vegetal, orgânico ou natural, empregados na agricultura com o intuito de combater pragas e doenças, melhorar a fertilidade do solo, aumentar a disponibilidade de nutrientes, além de atenuar os efeitos do estresse hídrico nas plantas. Desempenhando-se papel importante frente às mudanças climáticas e a necessidade de produção de alimentos. O objetivo deste trabalho foi apresentar uma revisão bibliográfica de bioinsumos aplicados na produção agrícola com a finalidade de mitigar o estresse hídrico. Explorando por meio de uma revisão bibliográfica, contexto em torno de conceitos, aplicações, relação com a sustentabilidade e desafios enfrentados. Revelando que esta técnica e tecnologia vêm crescendo frente às necessidades do setor agrícola e principalmente frente às adversidades do clima. Demonstrando assim, que é uma área que ainda necessita de muitas pesquisas e estudos, oferecendo um vasto campo para a investigação, visto inúmeros benefícios, tanto em relação ao desenvolvimento de produtos comerciais quanto à produção agrícola.

Palavras-chave: *Bacillus*. Microrganismo. Seca.

ABSTRACT

Bio-inputs are compounds derived from microorganisms, plant material, organic or natural, used in agriculture in order to combat pests and diseases, improve soil fertility, increase the availability of nutrients, and mitigate the effects of water stress on plants. This plays an important role in the face of climate change and the need for food production. The objective of this work was to present a vision of bioinputs applied in agricultural production with the purpose of mitigating water stress. Exploring through a literature review, context around concepts, applications, relationship with sustainability, and challenges faced. Revealing that this technique and technology has been growing in face of the needs of the agricultural sector and especially in face of the adversities of the climate. Thus, demonstrating that it is an area that still needs a lot of research and studies, offering a vast field for investigation, given its numerous benefits, both in relation to the development of commercial products and agricultural production.

Keywords: *Bacillus*. Microorganism. Drought

1 INTRODUÇÃO

Com o crescente aumento populacional, têm-se ampliado reflexões em torno do impacto direto na produção de alimentos, para o desenvolvimento e manutenção das atividades fisiológicas do organismo. O que reflete na pressão sobre os sistemas agrícolas, demandando um aumento na produção de alimentos para garantir a segurança alimentar conforme a demanda populacional (OROBIO *et al.*, 2023; PAREDES FILHO; SILVA, FLORENTINO, 2023).

No entanto, esta situação fica preocupante com o aumento da frequência e intensidade de eventos climáticos extremos. Visto o impacto sobre o setor agrícola, tanto em produção quanto em qualidade, com ocorrência de seca, enchentes, tempestades, ondas de calor e alteração no regime de precipitação (SOARES; PAÇO; ROLIM, 2023).

Em termos de produção agrícola, a escassez de água afeta a capacidade fotossintética das plantas, degradação do solo, erosão e a morte prematura (SELEIMAN *et al.*, 2021). Além de, economicamente, os custos de produção tendem a aumentar à medida que os agricultores procuram soluções, como a irrigação, que contribui atualmente com mais de 40% da produção total de alimentos em cerca de 20% das terras cultivadas no globo terrestre (PUY *et al.*, 2021). Podendo implicar no aumento dos preços dos alimentos, como também pode interferir na migração das populações rurais em busca de melhores condições de vida, representando uma importante mudança no desenvolvimento social (BALANA *et al.*, 2020; SHOJAEI-MIANDORAGH; BIJANI; ABBASI, 2020).

Deste modo, requer que sejam tomadas abordagens de práticas sustentáveis e adaptáveis para compensar a produção, que de acordo com estudos, terá de aumentar 60% até 2050 em comparação com 2005 (GRIGORIEVA; LIVENETS; STELMAKH, 2023). O que pode ser alcançado por meio da adoção de técnicas e tecnologias mais avançadas e eficientes na agricultura, introdução de sistemas de irrigação, investimentos em pesquisa e desenvolvimento, além da gestão eficiente dos recursos naturais (KHONDOKER *et al.*, 2023).

Diante destas circunstâncias, observa-se a necessidade de esforços conjuntos para evitar crises no sistema agroalimentar. Principalmente atrelados à gestão e implementação de políticas públicas, com finalidade de orientar e colocar em prática, ferramentas que possam colaborar para o desenvolvimento da humanidade (BINDI; BELLIGGIANO, 2023; LENSE *et al.*, 2023).

Associando a importância dos 17 Objetivos do Desenvolvimento

Sustentável (ODS) que são parte da Agenda 2030, propostos pela ONU (Organização das Nações Unidas) no ano de 2015. No qual, abrange 17 objetivos e 169 metas com um plano de ação internacional voltado, principalmente, em três dimensões do desenvolvimento sustentável: ambiental, econômico e social (VASCONCELO; RIBEIRO; CRISÓSTOMO, 2022).

Estes objetivos estão diretamente relacionados às questões do desenvolvimento do setor agrícola. Uma vez que, a produção de alimentos é um elemento fundamental para o cumprimento de diversas metas, como erradicação da pobreza, promoção da segurança alimentar, preservação do meio ambiente e redução das desigualdades sociais e econômicas. (MOREIRA *et al.*, 2019; EMPIG *et al.*, 2023).

Torna-se assim, fundamental o impulsionamento de práticas sustentáveis que considerem a conservação do meio ambiente, proteção da biodiversidade e o uso eficiente dos recursos naturais na produção de alimentos. Além de contribuir para alcançar os ODSs (DONKOR *et al.*, 2022; MA, *et al.*, 2023).

Com o olhar em todo esse cenário e a necessidade do desenvolvimento de práticas agrícolas mais precisas para contemplar as necessidades humanas, os bioinsumos vêm se tornando uma ferramenta auxiliadora e sustentável, como alternativa para o uso de agroquímicos e fertilizantes. Proporcionando assim, desde benefícios ambientais até econômicos (VIDAL *et al.*, 2021).

Pressupondo os bioinsumos como produtos biológicos, compostos por microrganismos capazes de estimular o crescimento das plantas, ampliar a resistência a pragas e doenças, garantir melhor absorção de nutrientes e água, além da qualidade dos alimentos (PAGLIARINI *et al.*, 2023).

Esses benefícios proporcionam potencialmente uma alternativa no agronegócio para atender a demanda populacional por alimentos. Além, de impulsionar a produção com menor uso dos recursos. Promovendo assim, a sustentabilidade, segurança alimentar, produtividade e qualidade (YANG *et al.*, 2023).

Por meio deste contexto, este trabalho tem como objetivo, trazer uma revisão bibliográfica relacionando a produção agrícola atrelada ao uso de bioinsumos na mitigação do déficit hídrico.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Bioinsumos

A preocupação mundial com a produção e sustentabilidade agrícola têm aumentado cada vez mais, propiciando discussões mais frequentes. Uma vez que, o setor agropecuário tem apresentado um avanço significativo, impulsionando pesquisas e inovações que buscam alternativas viáveis para reduzir custos e perdas, bem como, aumentar o aproveitamento de produtos e subprodutos (CSORDÁS; FÜZESI, 2023; TANEJA *et al.*, 2023).

Fato que se fortaleceu desde a introdução da Revolução Verde na metade do século XX, no qual permitiu difundir técnicas e tecnologias agrícolas para maximizar a produção de alimentos e tornar o sistema mais eficiente em termos de tempo e custos. Ampliando a utilização e desenvolvimento de defensivos agrícolas, fertilizantes, máquinas e implementos agrícolas, além do melhoramento genético de sementes (DIEGO-NAVA *et al.*, 2023).

No entanto, com o decorrer dos anos, o modelo de produção agrícola tem sido alvo de críticas devido às questões sustentáveis. Atrelado ao uso de recursos naturais, como a água, bem como a dependência e uso demasiado de fertilizantes que acabam ampliando os custos de produção (REMPELOS *et al.*, 2023).

O cenário de preservação ambiental, produção de alimentos saudáveis e sustentáveis, vem buscando integrar um sistema produtivo mais equilibrado. Procurando reduzir o uso de defensivos agrícolas químicos sintéticos e colocando preferência na utilização de produtos com baixo impacto ambiental e risco à saúde humana (GIRI *et al.*, 2023).

No entanto, a produção sustentável enfrenta enormes desafios, como realizar o manejo de pragas e doenças, não oferecendo riscos ambientais, mas que seja economicamente viável. O que impulsiona entre as estratégias de prática agrícola, o uso de bioinsumos, especialmente para as grandes *commodities*, já que esses produtos têm mostrado um potencial no controle de pragas, oferecendo baixo risco de poluição ambiental (FERRARO *et al.*, 2023).

Os bioinsumos também são conhecidos como insumos biológicos, como um composto proveniente de microrganismos, material vegetal, orgânico ou natural. São empregados em sistemas de cultivo agrícola para controlar pragas e doenças, além de promover a fertilidade do solo, tanto em condições físicas (estrutura e porosidade); químicas (pH, teor de nutrientes e matéria orgânica); e biológicas (microrganismos e a fauna do solo), permitindo assegurar o aumento da

disponibilidade de nutrientes para as plantas (JAÉN-CONTRERAS *et al.*, 2022).

Com isso, garante um importante aliado para o desenvolvimento rural, econômico e ambiental. O que direciona o aquecimento deste mercado para uma crescente oferta e desenvolvimento de novos produtos de origem biológica disponíveis, proporcionando mais opções para o sistema de produção (ANTUNES *et al.*, 2022).

No Brasil, o setor ficou marco com o lançamento do Programa Nacional de Bioinsumos, por meio do decreto nº 10.375, de 26 de maio de 2020, o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento propôs um conceito amplo. Instituído como bioinsumos:

Todo produto, processo ou a tecnologia de origem vegetal, animal ou microbiana, destinado ao uso na produção, no armazenamento e no beneficiamento de produtos agropecuários, nos sistemas de produção aquáticos ou de florestas plantadas, que interfiram positivamente no crescimento, no desenvolvimento e no mecanismo de resposta de animais, de plantas, de microrganismos e de substâncias derivadas e que interajam com os produtos e os processos físico-químicos e biológicos (BRASIL, 2020, p. 105).

De fato, esses insumos biológicos proporcionam oportunidades e flexibilidade ao produtor rural, permitindo a adoção de práticas sustentáveis e aumentando o rendimento na lavoura. Uma vez que, comparados aos produtos convencionais e não biológicos, oferecem vantagens que vão além dos seus efeitos diretos (RHIOUI *et al.*, 2023).

A substituição, em longo prazo, favorece a produção agrícola, sustentabilidade, preservação da natureza e do meio ambiente, com a redução de impactos ambientais (RAMAKRISHNA; YADAV; LI, 2019). Além disso, se compromete com a produtividade, sustentando a segurança alimentar, reduzindo custos com aplicações intensivas de defensivos e fertilizantes, até agregar valor ao produto (PECCATTI *et al.*, 2020).

Movimentando e impulsionando o crescimento deste mercado mundial. Bem como no Brasil, com a ampla diversidade biológica, aumento de políticas de incentivo, pesquisas, interesse dos produtores que estão cada vez mais buscando benefícios econômicos e ambientais, há para os próximos anos uma grande expectativa de crescimento e avanço na variedade desses produtos e tecnologias. Visto que, os bio defensivos no país movimentaram cerca de R\$ 1,2 bilhão em 2020 (EMBRAPA, 2021).

Evidencia-se que os bioinsumos têm uma função essencial na proteção das culturas, especialmente em áreas onde a resistência, segmentos de mercado e

preocupações ambientais limitam o uso de produtos químicos. De tal modo que, esses insumos são compostos principalmente por organismos vivos que são patogênicos para as pragas e doenças que afetam as plantações. Alguns exemplos de bioinsumos incluem: agentes biológicos de controle, bioestimulantes, biofertilizantes, condicionadores biológicos de ambientes e inoculantes biológicos (GINDRI; MOREIRA; VERISSIMO, 2020).

Dessa forma, os microrganismos exercem suas funções de acordo com suas características, visto que há vários grupos que são escolhidos como possíveis agentes de controle biológico e grupos que estimulam o crescimento das plantas (SLAMA *et al.*, 2023).

Ao longo do tempo, a utilização de inoculantes microbianos ou biofertilizantes vem ganhando espaço na agricultura. Na literatura é mencionada uma ampla variedade de possíveis agentes de controle biológico empregados em uma diversidade de culturas. Entre eles, destacam-se os gêneros *Trichoderma* e *Bacillus*, que estão entre os mais pesquisados e trabalhados, devido às propriedades benéficas para o crescimento das plantas (ABDEL RHIM *et al.*, 2023; LEONARDI *et al.*, 2023).

O gênero *Trichoderma* pertencente à classe *Sordariomycetes* do filo *Ascomycota*, com uma característica expressiva de parasitar fungos. O que propicia a uma infinidade de estudos em todo o globo terrestre voltados ao biocontrole de fitopatógenos em espécies cultivadas (KWAK *et al.*, 2021).

Revelando uma crescente demanda por espécies de fungos do gênero *Trichoderma*, entre os diferentes microrganismos empregados em fungicidas biológicos. Esses fungos são abundantes em quase todos os solos e ambientes foliares, sendo registrados como decompositores ou microrganismos saprófitas, enquanto algumas espécies também são caracterizadas como micoparasitas e endofíticas. Por meio de diversos mecanismos diretos ou indiretos, são capazes de controlar e antagonizar agentes patogênicos das plantas (DOUROU; LA PORTA, 2023).

O que é assegurado pela sua capacidade de estabelecer rapidamente sua colonização nas raízes das plantas, bem como, ao mesmo tempo, impedir o crescimento de outros microrganismos prejudiciais às plantas. Visto a capacidade de alguns destes fungos segregar compostos voláteis e não voláteis, como por exemplo, antibióticos e outros metabólitos secundários (CABRERA-PUERTO; RUIZ-GÓMEZ; NAVARRO-CERRILLO, 2023).

Já as bactérias do gênero *Bacillus sp.* são Gram-positivas e possuem uma ampla distribuição no ambiente, podendo ser encontradas em diversas áreas, como solo, ambientes marinhos, água doce, sedimentos, sementes, rizosfera, folhas e até mesmo em locais extremos, como desertos e geleiras (BOULAHOUAT *et al.*, 2022).

Essas bactérias têm a capacidade de formar esporos e endósporos, sendo uma de suas principais características a produção de endósporos resistentes ao calor. Possibilitando um bom desenvolvimento das plantas, mesmo em condições abióticas extremas. Além disso, apresentam a capacidade de produzir diversos compostos biologicamente ativos, tais como enzimas amilolíticas, enzimas proteolíticas e antibióticos (GASPARETO *et al.*, 2023).

Inúmeros são os benefícios na adoção desses produtos, promovendo melhores condições para os sistemas produtivos, o que por sua vez afeta positivamente o desenvolvimento das plantas. O que é essencial compreender essas técnicas e aprender a utilizá-las para o desenvolvimento de sistemas produtivos sustentáveis e assegurar a produção de alimentos (WARACZEWSKA *et al.*, 2022).

2.2 Déficit hídrico

Com o aumento de eventos climáticos afetando o regime das chuvas, se tem uma preocupação em torno da escassez de água para desenvolvimento social e econômico, devido afetar a produção de alimentos, segurança alimentar e desnutrição. Tornando a população mais suscetível ao desenvolvimento de infecções e doenças, em casos extremos pode levar a morte (VILLA-FALFÁN *et al.*, 2023).

A escassez hídrica é uma adversidade mundial que afeta grande parte da população global, principalmente em regiões áridas e semiáridas. No qual, o acesso à água potável além de ser essencial para assegurar a vida dos ecossistemas, mantendo a sobrevivência dos seres vivos, é fundamental para a manutenção de diversas atividades econômicas, como agricultura e o extrativismo no setor primário, indústria, secundário e de serviços e atividades comerciais, terciário (MOSBAHI *et al.*, 2023).

A crise hídrica representa uma ameaça em diversas esferas para a sociedade, interferindo em aspectos fundamentais, como meio ambiente, saúde, economia e segurança alimentar. O que direciona na necessidade da construção de um planejamento que possa trazer uma abordagem eficaz, relacionando uma combinação de práticas sustentáveis, investimentos em infraestrutura e a

conscientização da população para enfrentar esse desafio.

Podendo relacionar e colocar em prática as metas estabelecidas pelos ODS, que visam buscar o acesso global à água potável, saneamento básico e gestão dos recursos hídricos. Além de promover a segurança alimentar e agricultura sustentável, abrangendo o uso eficiente deste recurso no desenvolvimento agrícola (SPORCHIA; PATRIZI; PULSELLI, 2023).

Neste setor, o déficit hídrico desencadeia impacto significativo no crescimento e desenvolvimento das culturas, resultando na redução da produtividade e qualidade (HAFEZ et al., 2021). Podendo ainda desencadear a morte das plantas, afetando a segurança alimentar e a economia (SOUSSANI et al., 2023).

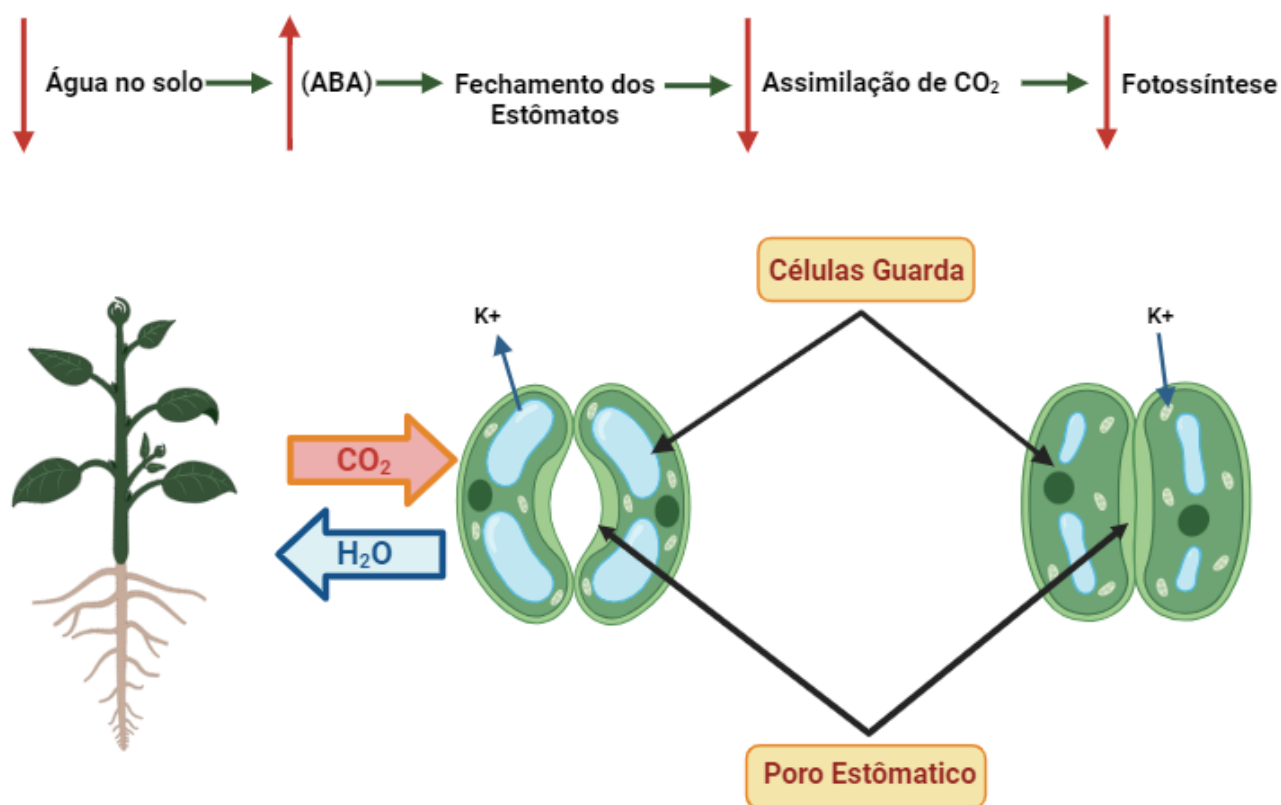
A interferência na absorção de água e nutrientes pelo sistema radicular das plantas promove diversas alterações na anatomia, fisiologia, morfologia e bioquímica, com intensidade dependendo do tipo de cultura e período ao qual foi submetido ao estresse. Podendo afetar desde a germinação até o desenvolvimento (BOGATI; WALCZAK, 2022).

Portanto, a falta de água é um fator limitante que diminui o crescimento e o potencial produtivo das culturas (WEI et al., 2022). Problema característico principalmente de áreas que sofrem com períodos prolongados de veranicos, nos quais a precipitação é escassa e as temperaturas e radiação solar são elevadas (LIMA et al., 2023). Além disso, a carência de ferramentas que possam contornar essa situação, como o manejo inadequado da irrigação, pode intensificar ainda mais essa situação (MAQSOOD et al., 2023).

O balanço hídrico representa a relação entre os parâmetros climáticos e o potencial de água no solo, já a evapotranspiração corresponde ao processo que envolve a evaporação de água do solo e a transpiração de água pelas plantas, sendo o principal fator responsável pela perda de água para a atmosfera (GAO et al., 2023).

A falta de água no solo aumenta os níveis de ácido abscísico (ABA) nas folhas, fazendo as plantas responderem com fechamento dos estômatos, pequenos poros na superfície das folhas que regulam a entrada e saída de água e gases. Reduzindo a transpiração foliar, além da concentração de dióxido de carbono, luz, temperatura e perda de água. Portanto, o fechamento dos estômatos é a principal resposta das plantas relacionadas ao déficit hídrico do solo, como apresentado na figura 1 (SHAFQAT et al., 2021).

Figura 1- Mecanismo de Abertura e fechamento estomático vegetal sob déficit hídrico.



Fonte: O autor (2024).

Esse fechamento ajuda a minimizar a perda de água por transpiração, mas também pode limitar a absorção de CO_2 necessário para a fotossíntese. Com isso, a planta produz menos açúcares e aminoácidos, levando a uma redução do crescimento e desenvolvimento, acarretando também em mudanças na queda das folhas e a ativação de mecanismos de defesa que protege as plantas contra danos causados pelo estresse (GILLANI *et al.*, 2023).

O déficit também pode afetar a síntese de proteínas, uma vez que a água é necessária para a tradução do RNA mensageiro em proteínas. Isso pode afetar a capacidade da planta de se proteger contra doenças e pragas (SUN *et al.*, 2023).

Além disso, o estresse hídrico pode levar à acumulação de espécies reativas de oxigênio (EROs) nas células da planta, que são moléculas altamente reativa contendo átomos de oxigênio molecular (O_2) e podem danificar as membranas celulares, as proteínas, o DNA e o RNA (HALLIWELL; GUTTERIDGE, 2015). Por sua vez, pode ocasionar ainda, estresse oxidativo, levando à morte

celular e à perda de função (STEFANOV *et al.*, 2023).

No entanto, as ERO desempenham papéis importantes como transdutores de sinal em processos fisiológicos normais, como a regulação do crescimento, desenvolvimento e respostas ao estresse. De forma que, para combater a acumulação, as plantas desenvolvem mecanismos enzimáticos antioxidantes eficazes, como ascorbato peroxidase (APX), catalase (CAT), peroxidase (POD), superóxido dismutase (SOD), glutathione peroxidase (GPX), glutathione reductase (GR), glutathione-S-transferase (GST) (BARBOSA *et al.*, 2014).

2.3 Bactérias promotoras de crescimento de plantas (BPCP)

O interesse crescente em práticas agrícolas sustentáveis e ecológicas nos últimos anos tem levado a promoção do desenvolvimento de tecnologias inovadoras para o setor. Visto o crescente aumento do uso de fertilizantes minerais, em que o emprego indiscriminado pode resultar em problemas ambientais graves, como contaminação do solo, eutrofização de águas superficiais e subterrâneas, bem como emissões de gases de efeito estufa (KOUKI *et al.*, 2023).

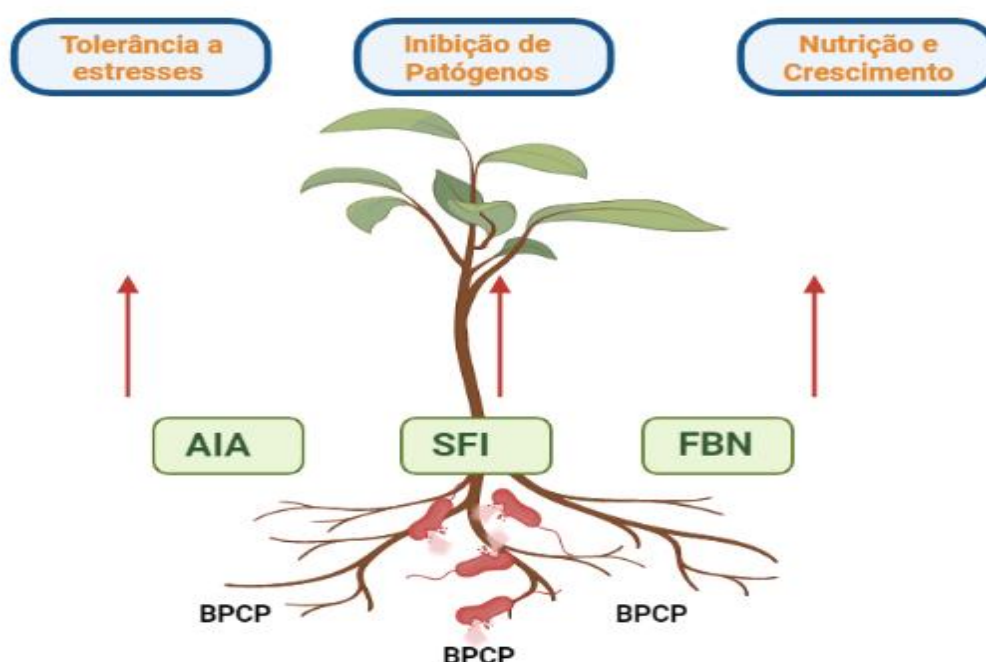
Assim, uma alternativa que apresenta benefícios significativos para a produção agrícola e proporciona uma abordagem natural e ecologicamente correta para o cultivo, é a adoção de compostos naturais e métodos como a inoculação (MOHY-UD-DIN *et al.*, 2023). Ou seja, fertilizantes orgânicos derivados de material orgânico, como resíduos de plantas, animais e microrganismos, que permite assegurar a adição de matéria orgânica, fixação de nitrogênio e melhora a estrutura do solo.

Direcionado para as bactérias para crescimento, “*plant growth-promoting bacteria*” (PGPB) ou também conhecidas como “bactérias promotoras do crescimento de plantas” (BPCP), são microrganismos que proporcionam benefícios para as plantas, atuando como promotores de crescimento. Desta forma, promovem a colonização da superfície das raízes das plantas, auxiliando na absorção de nutrientes, além de assegurar defesas contra patógenos do solo e estresses ambientais (ANDRADE *et al.*, 2023).

São inoculados na forma líquida ou turfosa em diversas culturas, como nas sementes, no sulco de semeadura ou por meio da aplicação foliar. Tendo a capacidade de agir de maneira direta e indireta, fornecendo água e nutrientes para as plantas, por meio da produção de aminoácidos e secreção de fitormônios, como o ácido indol-3-acético (AIA), citocininas, giberelinas e etileno, bem como outros

mecanismos reguladores de crescimento, o que promove uma melhor Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN) e Solubilização de Fosfato Inorgânico (SFI), entre outros. Garantindo uma melhor nutrição e crescimento, inibição de patógenos e tolerância a estresses abióticos, (Figura 2) (GÓMEZ-GODÍNEZ; *et al.*, 2023; JALAL *et al.*, 2023).

Figura 2 – Mecanismos de atividade das bactérias para crescimento de plantas (BPCP) com ácido indol-3-acético (AIA), Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN) e Solubilização de Fosfato Inorgânico (SFI).



Fonte: O autor (2024).

Estas bactérias são divididas em duas categorias com base em sua colonização na planta: epifíticas e endofíticas. As bactérias epifíticas fixam na superfície externa da planta, como no rizoplane ou filoplane, enquanto as endofíticas colonizam a região dos tecidos internos. Sendo capaz ainda de serem observadas na rizosfera, região do solo diretamente influenciada pela existência das raízes. No entanto, podem ocorrer alterações entre as populações bacterianas, endofíticas e epifíticas, ou seja, sujeitas a mudanças dinâmicas e interações complexas (SALEHIN *et al.*, 2023).

Alguns gêneros comuns de bactérias BPCP empregadas são as *Azospirillum*, *Bacillus*, *Bradyrhizobium*, *Pseudomonas* e *Rhizobium*. De modo que, as

Azospirillum agem em plantas não leguminosas e podem atuar na sintetização de fitormônio, como Ácido Indol Acético (AIA). Já as *Rhizobium* e *Bradyrhizobium* induzem em leguminosas na fixação biológica de nitrogênio (N). E a *Bacillus* e *Pseudomonas* estão relacionadas ao crescimento das plantas, principalmente por meio da síntese hormonais, de auxina, citocinina e giberelinas, além de produzirem sideróforos e antibióticos (SLAMA *et al.*, 2023).

Evidencia-se que a presença dessas bactérias na rizosfera possibilita diversos benefícios às culturas agrícolas. Desse modo, por ser uma alternativa crescente em aplicações agrícolas para melhorar o desempenho das culturas, estão sendo estudadas cada vez mais. Sendo uma ferramenta auxiliadora dos fertilizantes minerais, assegurando sustentabilidade e eficiência. Uma vez que, ainda não se pode ter uma substituição completa, pois depende de avanços significativos em pesquisas e desenvolvimento, além da ampla aceitação destes produtos (WEN *et al.*, 2023).

2.4 Uso de bactérias para atenuar o déficit hídrico

O déficit hídrico é reconhecido como um dos principais fatores ambientais que afetam negativamente a produtividade agrícola. Uma vez que, afeta diversos aspectos da fisiologia da planta, principalmente sua capacidade fotossintética, impactando o desenvolvimento e produtividade (SILVA *et al.*, 2023).

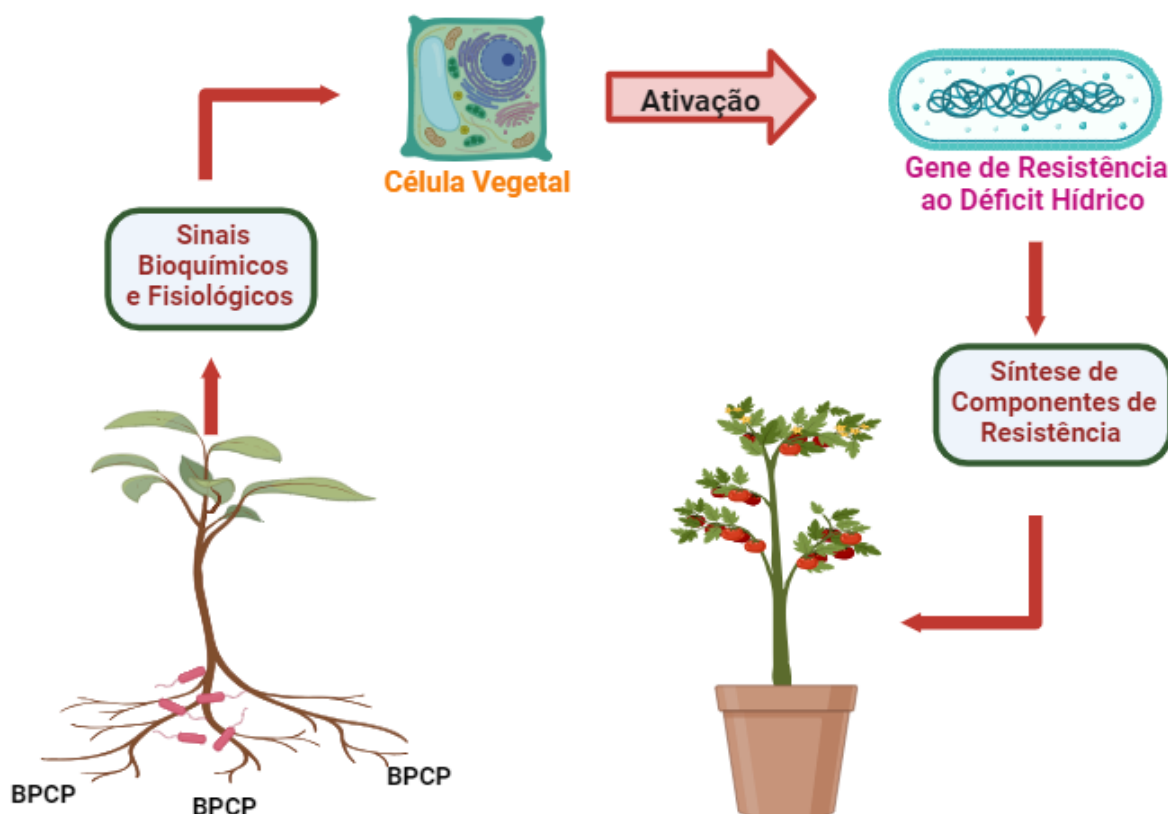
Diante disso, os inoculantes microbianos contendo bactérias que promovem o crescimento das plantas (BPCP), recebem espaço e introdução no setor. Uma vez que, permite que a umidade do solo seja preservada e o desenvolvimento das raízes seja aprimorado, além de aumentar a disponibilidade de nutrientes. Sendo assim, uma opção para atenuar o estresse e assegurar a produção dos sistemas agrícolas, bem como pode complementar os já existentes, plantio direto e manutenção da palhada (XU *et al.*, 2023).

Portanto, resulta em uma melhora na eficiência da utilização de água, garantindo benefícios, com o crescente aumento da baixa disponibilidade. Visto as mudanças no regime de precipitações e necessidade de preservação dos recursos hídricos, que são cada vez mais destacadas e presente em pautas de discussões dos últimos anos (ARRIERO *et al.*, 2020).

Assim, a introdução desses microrganismos pode ser uma alternativa a tolerância a estresses abióticos, promovendo a produção de fitormônios e substâncias osmorreguladoras. Além de assegurar os efeitos osmótico que permite

regular a abertura e fechamento ostomático nos tecidos vegetais, assim como as modificações morfológicas e histológicas, auxiliando na redução dos impactos do déficit hídrico, (figura 3) (FLORES-DUARTE *et al.*, 2023).

Figura 3 - Síntese de mecanismos de bactérias para atenuar o déficit hídrico.



Fonte: O autor (2024).

Observando que esses microrganismos promovem mudanças benéficas com alterações morfológicas, fisiológicas e bioquímicas, que aumentam a tolerância ao déficit hídrico. Desta forma, minimiza os efeitos da baixa disponibilidade de água, visto a promoção de maior desenvolvimento do sistema radicular, que vem sendo observado no emprego destes microrganismos nas principais *commodities*, como a soja (REHAN *et al.*, 2023).

Dentre os gêneros de bactérias, as cepas de *Bacillus sp* apresentam grande potencial na capacidade de mitigar ou eliminar os efeitos prejudiciais provenientes do estresse salino, hídrico e oxidativo, além de possibilitar a regulação de características morfofisiológicas e bioquímicas das plantas, promovendo crescimento e desenvolvimento (HUPP *et al.*, 2023).

Em relação aos mecanismos diretos empregados, destaca-se a produção de enzimas e fitormônios, como também a absorção de nutrientes, já os indiretos

são relacionados ao controle biológico de fitopatógenos e a indução de resistência sistêmica (LASTOCHKINA *et al.*, 2023).

Neste contexto, dentro da linhagem de *Bacillus sp.*, *Bacillus thuringiensis*, *Bacillus subtilis*, *Bacillus anthracis* e *Bacillus cereus*, uma nova estirpe vem ganhando espaço no setor de bioinsumos na agricultura, o *Bacillus aryabhatai*. Identificado na rizosfera do mandacaru (*Cereus jamacaru*), na região da Caatinga, a partir da análise de pesquisadores que buscavam entender como as plantas daquele bioma toleravam a seca em períodos longos (DMITROVIĆ *et al.*, 2022).

Essa nova estirpe, é uma tecnologia de 12 anos de pesquisa, desenvolvida em parceria da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) com a NOAA Ciência e Tecnologia Agrícola, de estirpe isolada CMAA 1363 e nome comercial de AURAS ®. Tem uma gama de benefícios, desde a eficácia de atenuar os impactos estiagens e altas temperaturas nas lavouras, até disponibilizar nutrientes (EMBRAPA, 2021).

Dentre os seus benefícios, está a capacidade de induzir a produção nas raízes de exopolissacarídeos, ou seja, permite o desenvolvimento de um sistema radicular mais ativo, profundo e com volume de radicelas que asseguram uma melhor absorção de água. Possibilitando melhor desenvolvimento e regulação dos mecanismos de fotossíntese, bem como o controle da temperatura foliar e, conseqüentemente, reduzindo os estresses na planta (EMBRAPA, 2022).

Portanto, evidenciam-se importantes aplicações e potencial desta estirpe de *Bacillus aryabhatai* para as questões hídricas. Assim como, outras estirpes vêm sendo pesquisadas por meio de análise de propriedades bioquímicas de proteases livres e imobilizadas para aplicações na biotecnologia, como a Ab15-ES (ADETUNJI; OLANIRAN, *et al.*, 2023), da mesma forma que, estudos para introdução como biossurfactantes, para aumentar a capacidade do lipopeptídeo (YARAGUPPI *et al.*, 2022).

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A seca é um dos principais estresses abióticos que limitam a produtividade agrícola e vem causando grande preocupação com o crescimento populacional e a necessidade de atender a demanda por alimentos, atrelado a preservação dos recursos naturais.

Com isso, a utilização de bactérias promotoras do crescimento das plantas (BPCP), apresenta-se como uma alternativa sustentável e promissora para

minimizar os efeitos negativos desse tipo de estresse.

Posto isto, evidencia-se um setor em desenvolvimento que vem ganhando espaço na agricultura e nas pesquisas. Visto a ampliação de novas estirpes desses microrganismos e comprovação de resultados aplicados às culturas agrícolas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDEL RHIM, A. S.; ABDELLATIF, Y. M. R.; HOSSAIN, M. A.; ALAMRI, S.; PESSARAKLI, M.; LESSY, A. M. N.; DAWOOD, M. F. A. Comparative Study of Three Biological Control Agents and Two Conventional Fungicides against Coriander Damping-off and Root Rot Caused by *Rhizoctonia solani*. **Plants**, v.12, n.8, p.1-25, 2023.

ADETUNJI, A. I.; OLANIRAN, A. O. Biocatalytic Profiling of Free and Immobilized Partially Purified Alkaline Protease from an Autochthonous *Bacillus aryabhattai* Ab15-ES. **Reactions**, v.4, n.2, p.231-245, 2023.

AHMED, T.; NOMAN, M.; QI, Y.; SHAHID, M.; HUSSAIN, S.; MASOOD, H.A.; XU, L.; ALI, H. M.; NEGM, S.; EL-KOTT, A. F.; YANLAI, Y.; XINGJIANG, QI; BIN, L; Fertilization of Microbial Composts: A Technology for Improving Stress Resilience in Plants. **Plants**, v.12, n.20, p.1-31, 2023.

ANDRADE, L. A. de.; SANTOS, C. H. B.; FREZARIN, E. T.; SALES, L. R.; RIGOBELLO, E. C. Plant Growth-Promoting Rhizobacteria for Sustainable Agricultural Production. **Microorganisms**, v.11, n.4, p.1-16, 2023.

ANTUNES, J. E. L.; FREITAS, A. D. S. de.; BONIFACIO, A.; OLIVEIRA, L. M. de S.; SANTOS, C. E. de R. e S.; LYRA, M. do C. C. P. de.; OLIVEIRA, J. de P.; OLLERO, F. J.; ARAÚJO, A. S. F. de.; FIGUEIREDO, M. do V. B. Isolation and Characterization of Plant Growth-Promotion Diazotrophic Endophytic Bacteria Associated to Sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) Grown in Paraíba, Brazil. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v.65, n.1, p.1-13, 2022.

ARRIERO, S. S., ALMEIDA, W. F. de, PAZ, V. P. da. S.; DAMASCENO, L. F. Yield of eggplant using low quality water and pulse drip irrigation. **Revista Brasileira De Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.24, n.120, p.822–826, 2020.

BALANA, B. B.; BIZIMANA, J. C.; RICHARDSON, J. W.; LEFORE, N.; ADIMASSU, Z.; HERBST, B. K. Economic and food security effects of small-scale irrigation technologies in northern Ghana. **Water Resources and Economics**, v. 29, p. 100141, 2020.

BARBOSA, M. R.; SILVA, M. M. D. A.; WILLADINO, L.; ULISSES, C.; CAMARA, T. R. Geração e desintoxicação enzimática de espécies reativas de oxigênio em plantas. **Ciência Rural**, v. 44, n. 3, p. 453-460, 2014.

BINDI, L.; BELLIGGIANO, A. A Highly Condensed Social Fact: Food Citizenship, Individual Responsibility, and Social **Commitment**. **Sustainability**, v.15, n.8, p1-22, 2023.

BOGATI, K.; WALCZAK, M. The Impact of Drought Stress on Soil Microbial Community, Enzyme Activities and Plants. **Agronomy**, v.12, n.1, p.1-26, 2022.

BOULAHOUAT, S.; CHERIF-SILINI, H.; SILINI, A.; CHENARI BOUKET, A.; LUPTAKOVA, L.; SAADAOU, N.; ALENEZI, F.N.; BELBAHRI, L. Critical Evaluation of Biocontrol Ability of Bayoud Infected Date Palm Phyllospheric *Bacillus* spp. Suggests That In Vitro Selection Does Not Guarantee Success in Planta. **Agronomy**, v.12, n.10, p.1-28, 2022.

BRASIL. **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**. Decreto nº 10.375, de 26 de maio de 2020. Institui o Programa Nacional de Bioinsumos e o Conselho Estratégico do Programa Nacional de Bioinsumos. Diário Oficial da União. 27 de maio de 2020, p. 105 a 106.

CABRERA-PUERTO, R.J.; RUIZ-GÓMEZ, F.J.; NAVARRO-CERRILLO, R.M. Beneficial Microorganisms and Water Stress Influence *Quercus ilex* Seedlings' Response to *Phytophthora cinnamomi* Rands. **Forests**, v.14, n.5, p.1-15, 2023.

CSORDÁS, A.; FÜZESI, I. The Impact of Technophobia on Vertical Farms. **Sustainability**, v.15, n.9, p.1-17, 2023.

DIEGO-NAVA, F.; GRANADOS-ECHEGOYEN, C.; RUÍZ-VEGA, J.; AQUINO-BOLAÑOS, T.; PÉREZ-PACHECO, R.; DÍAZ-RAMOS, A.; ALONSO-HERNÁNDEZ, N.; ARROYO-BALÁN, F.; LÓPEZ-HERNÁNDEZ, M.B. Functional and Quality Assessment of a Spore Harvester for Entomopathogenic Fungi for Biopesticide Production. **AgriEngineering**, v.5, n.2, p.801-813, 2023.

DMITROVIĆ, S.; PAJČIN, I.; LUKIĆ, N.; VLAJKOV, V.; GRAHOVAC, M.; GRAHOVAC, J.; JOKIĆ, A. Taguchi Grey Relational Analysis for Multi-Response Optimization of Bacillus Bacteria Flocculation Recovery from Fermented Broth by Chitosan to Enhance Biocontrol Efficiency. **Polymers**, v.14, n.16, p.1-20, 2022.

DONKOR, F. K.; MITOULIS, S.A.; ARGYROUDIS, S.; ABOELKHAIR, H.; CANOVAS, J. A. B.; BASHIR, A.; CUATON, G. P.; DIATTA, S.; HABIBI, M.; HÖLBLING, D.; MANUEL, L.; PREGNOLATO, M.; RIBEIRO, R. R. R.; SFETSOS, A.; SHAHZAD, N.; WERNER, C. SDG Final Decade of Action: Resilient Pathways to Build Back Better from High-Impact Low-Probability (HILP) Events. *Sustainability*, v.14, n.22, p.1-14, 2022.

DOUROU, M.; LA PORTA, C. A. M. A Pipeline to Investigate Fungal–Fungal Interactions: Trichoderma Isolates against Plant-Associated Fungi. *J. Fungi*, v.9, n.4, p.1-14, 2023.

EMBRAPA. **Produção de microrganismos para uso próprio na agricultura (on-farm) - Esclarecimentos Oficiais.** Disponível em: [https://www.embrapa.br/esclarecimentos-oficiais/-/asset_publisher/TMQZKu1jxu5K/content/nota-tecnica-producao-de-microrganismos-para-uso-proprio-na-agricultura-on-farm?inheritRedirect=false#:~:text=De%20acordo%20com%20estimativas%20da,biol%C3%B3gica%20de%20nitrog%C3%AAnio%20\(FBN\).](https://www.embrapa.br/esclarecimentos-oficiais/-/asset_publisher/TMQZKu1jxu5K/content/nota-tecnica-producao-de-microrganismos-para-uso-proprio-na-agricultura-on-farm?inheritRedirect=false#:~:text=De%20acordo%20com%20estimativas%20da,biol%C3%B3gica%20de%20nitrog%C3%AAnio%20(FBN).) Acesso em: 14 abr. 2023.

EMBRAPA. **Bactéria encontrada no mandacaru vira bioproduto que promove tolerância à seca em plantas.** Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/60941801/bacteria-encontrada-no-mandacaru-vira-bioproduto-que-promove-tolerancia-a-seca-em-plantas>. Acesso em: 14 abr. 2023.

EMBRAPA. **Embrapa destaca diferenciais do bioinsumo CMAA 1363 na Agrishow**

2022. <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/70257581/embrapa-destaca-diferenciais-do-bioinsumo-cmaa-1363-na-agrishow2022#:~:text=Embrapa%20destaca%20diferenciais%20do%20bioinsumo%20CMAA%201363%20na%20Agrishow%202022,-Compartilhar&text=Placa%20de%20Petri%20com%20a%20bact%C3%A9ria%20Bacillus%20aryabhattai%20e%20o%20produto%20industrializado.&text=efeitos%20da%20seca,Imagine%20um%20produto%20capaz%20de%20mitigar%20os%20efeitos%20causados%20pela,no%20combate%20as%20altas%20temperaturas.> Acesso em: 14 abr. 2023

EMPIG, E. E.; SIVACIOĞLU, A.; PACALDO, R. S.; SUSON, P. D.; LAVILLES, R. Q.; TEVES, M. R. Y.; FEROLIN, M. C. M.; AMPARADO, R. F. Climate Change, Sustainable Forest Management, ICT Nexus, and the SDG 2030: A Systems Thinking Approach. **Sustainability**, v.15, n.8, p. 1-26, 2023.

FERRARO, A. C.; FRANÇA, A. C.; MACHADO, C. M. M.; AGUIAR, F. R.; OLIVEIRA, L. L.; BRAGA NETO, A. M.; OLIVEIRA, R. G. Commercial characteristics of coffee seedlings produced with different sources of phosphorus and plant growth-promoting bacteria. **Brazilian Journal of Biology**, v.83, n.1, p.1-8, 2023.

FLORES-DUARTE, N. J.; PAJUELO, E.; MATEOS-NARANJO, E.; NAVARRO-TORRE, S.; RODRÍGUEZ-LLORENTE, I. D.; REDONDO-GÓMEZ, S.; CARRASCO LÓPEZ, J. A. A Culturomics-Based Bacterial Synthetic Community for Improving Resilience towards Arsenic and Heavy Metals in the Nutraceutical Plant *Mesembryanthemum crystallinum*. **International Journal of Molecular Sciences**, v.24, n.8, p.1-23, 2023.

GAO, W.; LIU, X.; ZHENG, C.; LU, Y.; HE, J.; HE, Y. Comparison of the Soil Water, Vapor, and Heat Dynamics between Summer Maize and Bare Fields in Arid and Semi-Arid Areas. **Agronomy**, v.13, n.4, p.1-8, 2023.

GASPARETO, R. N.; JALAL, A.; ITO, W. C. N.; OLIVEIRA, C. E. da. S.; GARCIA, C. M. de. P.; BOLETA, E. H. M.; ROSA, P. A. L.; GALINDO, F. S.; BUZETTI, S.; GHALEY, B. B.; FILHO, M. C. M. T. Inoculation with Plant Growth-Promoting Bacteria and Nitrogen Doses Improves Wheat Productivity and Nitrogen Use Efficiency. **Microorganisms**, v.11, n.4, p.1-14, 2023.

GILLANI, S. F. A.; RASHEED, A.; ABBASI, A.; MAJEED, Y.; ABBAS, M.; HASSAN, M. U.; QARI, S. H.; BINOTHMAN, N.; AL KASHGRY, N. A. T.; TAHIR, M. M.; PENG, Y. Comparative Gene Enrichment Analysis for Drought Tolerance in Contrasting Maize Genotype. **Genes**, v.14, n.1, p.1-19, 2023.

GINDRI, D. M.; MOREIRA, P. A. B.; VERISSIMO, M. A. A. **Sanidade Vegetal**: Uma estratégia global para eliminar a fome, reduzir a pobreza, proteger o meio ambiente e estimular o desenvolvimento econômico sustentável. 1. ed. Florianópolis, SC: CIDASC, 2020.

GIRI, V. P.; SHUKLA, P.; TRIPATHI, A.; VERMA, P.; KUMAR, N.; PANDEY, S.; DIMKPA, C.O.; MISHRA, A. A Review of Sustainable Use of Biogenic Nanoscale Agro-Materials to Enhance Stress Tolerance and Nutritional Value of Plants. **Plants**, v.12, n.4, p.1-27, 2023.

GÓMEZ-GODÍNEZ, L. J.; AGUIRRE-NOYOLA, J. L.; MARTÍNEZ-ROMERO, E.; ARTEAGA-GARIBAY, R. I.; IRETA-MORENO, J.; RUVALCABA-GÓMEZ, J. M. A Look at Plant-Growth-Promoting Bacteria. **Plants**, v.12, n.8, p.1-17, 2023.

GRIGORIEVA, E.; LIVENETS, A.; STELMAKH, E. Adaptation of Agriculture to Climate Change: A Scoping Review. **Climate**, v.11, n.10, p. 1-37, 2023.

HAFEZ, E. M.; OMARA, A. E. D.; ALHUMAYDHI, F. A.; EL-ESAWI, M. A. Minimizing hazard impacts of soil salinity and water stress on wheat plants by soil application of vermicompost and biochar. **Physiologia Plantarum**, v. 172, n. 2, p. 587-602, 2021.

HALLIWELL B.; GUTTERIDGE, J. M. C. **Free Radicals in Biology and Medicine**. Oxford: Oxford University Press, 2015. 905p.

HUPP, B.; HUSZÁR, G.; FARKAS, A.; MARÓTI, G. Algal Hydrogen Production and Exopolysaccharide Patterns in *Chlorella*–*Bacillus* Inter-Kingdom Co-Cultures. **Fermentation**, v.9, n.5, p.1-15, 2023.

JAÉN-CONTRERAS, D.; ARÉVALO-GALARZA, M. de L.; RAMÍREZ-GUZMAN, M. E.; CADENA-IÑIGUEZ, J.; HERNÁNDEZ-VÁZQUEZ, M. V. Quality of floral stems of

lisianthus (*Eustoma grandiflorum* Raf.) inoculated with *Bacillus subtilis* and *Glomus intraradices*. **Ornamental Horticulture**, v. 28, n.4, p.414–422, 2022.

JALAL, A.; OLIVEIRA, C. E. da. S.; ROSA, P. A. L.; GALINDO, F. S.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M. Beneficial Microorganisms Improve Agricultural Sustainability under Climatic Extremes. **Life**, v.13, n. 5, p.1- 23, 2023.

KHONDOKER, M.; MANDAL, S.; GURAV, R.; HWANG, S. Freshwater Shortage, Salinity Increase, and Global Food Production: A Need for Sustainable Irrigation Water Desalination—A Scoping Review. **Earth**, v.4, n.2, p.223-240, 2023.

KOUKI, H.; SOUIHI, M.; SAADOULI, I.; BALTI, S.; AYED, A.; MAJDOUB, N.; MOSBAH, A.; AMRI, I.; MABROUK, Y. Biocontrol Potential of Some Rhizospheric Soil Bacterial Strains against *Fusarium culmorum* and Subsequent Effect on Growth of Two Tunisian Wheat Cultivars. **Microorganisms**, v.11, n.5, p.1-15, 2023.

KWAK, Y. An Update on *Trichoderma* Mitogenomes: Complete De Novo Mitochondrial Genome of the Fungal Biocontrol Agent *Trichoderma harzianum* (Hypocreales, Sordariomycetes), an Ex-Neotype Strain CBS 226.95, and Tracing the Evolutionary Divergences of Mitogenomes in *Trichoderma*. **Microorganisms**, v.9, n.8, p.1-17, 2021.

LASTOCHKINA, O.; YAKUPOVA, A.; AVTUSHENKO, I.; LASTOCHKIN, A.; YULDASHEV, R. Effect of Seed Priming with Endophytic *Bacillus subtilis* on Some Physio-Biochemical Parameters of Two Wheat Varieties Exposed to Drought after Selective Herbicide Application. **Plants**, v.12, n.8, p.1-22, 2023.

LENSE, G. H. E.; LÄMMLE, L.; AYER, J. E. B.; LAMA, G. F. C.; RUBIRA, F. G.; MINCATO, R. L. Modeling of Soil Loss by Water Erosion and Its Impacts on the Cantareira System, Brazil. **Water**, v.15, n.8, p.1-13, 2023.

LEONARDI, G. R.; POLIZZI, G.; VITALE, A.; AIELLO, D. Efficacy of Biological Control Agents and Resistance Inducer for Control of Mal Secco Disease. **Plants**, v.12, n.9, p.1-17, 2023.

LIMA, J. D. P.; TORINO, A. B.; SILVA, L. M. D.; NASCIMENTO JÚNIOR, L. F. D.;

BRITO, M. F. D.; COSTA, K. A. D. P.; SILVA, B. M.; SEVERIANO, E. D. C. Crop-Livestock Integration Improves Physical Soil, Agronomic and Environmental Aspects in Soybean Cultivation. **Plants**, v. 12, n. 21, p. 3746, 2023.

MA, Y.; EZIZ, A.; HALIK, Ü.; ABLIZ, A.; KURBAN, A. Precipitation and Temperature Influence the Relationship between Stand Structural Characteristics and Aboveground Biomass of Forests—A Meta-Analysis. **Forests**, v.14, n.5, p.1-15, 2023.

MAQSOOD, H.; HUNSAKER, D. J.; WALLER, P.; THORP, K. R.; FRENCH, A.; ELSHIKHA, D. E.; LOEFFLER, R. WINDS Model Demonstration with Field Data from a Furrow-Irrigated Cotton Experiment. **Water**, v.15, n.8, p.1-20, 2023.

MOHY-UD-DIN, W.; AKHTAR, M. J.; BASHIR, S.; ASGHAR, H. N.; NAWAZ, M. F.; CHEN, F. Isolation of Glyphosate-Resistant Bacterial Strains to Improve the Growth of Maize and Degrade Glyphosate under Axenic Condition. **Agriculture**, v.13, n.4, p.1-19, 2023.

MOSBAHI, M.; KASSOUK, Z.; BENABDALLAH, S.; AOUISSI, J.; ARBI, R.; MRAD, M.; BLAKE, R.; NOROUZI, H.; BÉJAOU, B. Modeling Hydrological Responses to Land Use Change in Sejnane Watershed, Northern Tunisia. **Water**, v.15, n.9, p.1-16, 2023.

MOREIRA, M. R.; KASTRUP, É.; RIBEIRO, J. M.; CARVALHO, A. I. de; BRAGA, A. P. O Brasil rumo a 2030? Percepções de especialistas brasileiros(as) em saúde sobre o potencial de o País cumprir os ODS Brazil heading to 2030. **Saúde Em Debate**, v.43, n.(especial7), p.22–35, 2019.

OROBIO, B.A.P; PAZ, J. S; SANTOS, A. R.; QUINTERO, K.F. S.; ESCORCIA, R. S.; RIVERA, I.C. D.; SÁNCHEZ, A. Assessment of the Water Footprint in Low-Income Urban Neighborhoods from Developing Countries: Case Study Fátima (Gamarra, Colombia). **Sustainability**, v.15, n.9, p.1-21, 2023.

PAGLIARINI, E.; GAGGIÀ, F.; QUARTIERI, M.; TOSELLI, M.; DI GIOIA, D. Yield and Nutraceutical Value of Lettuce and Basil Improved by a Microbial Inoculum in Greenhouse Experiments. **Plants**, v.12, n.8, p.1-15, 2023.

PAREDES FILHO, M. V.; SILVA, A. B. da; FLORENTINO, L. A. Phonolite associated with organic compound and potassium solubilizing bacteria in tomato cultivation. **Revista Ceres**, v.70, n.1, p.133- 141, 2023.

PECCATTI, A.; ROVEDDER, A. P. M.; STEFFEN, G. P. K.; MALDANER, J.; CAMARGO, B.; DALCUL, L. P.; CAPITANI, L. C.; HUMMEL, R. B.; NEEUENSCHWANDER, F. Biological inputs in promoting the growth of Bauhinia forficata Link. seedlings. **Ciência Florestal**, v.30, n.2, p.367-379, 2020.

PUY, A.; BORGONOVO, E.; LO PIANO, S.; LEVIN, S. A.; SALTELLI, A. Irrigated areas drive irrigation water withdrawals. **Nature Communications**, v. 12, n. 1, p. 4525, 2021.

RACIOPPO, A.; D'AMELIO, A.; DE SANTIS, A.; BEVILACQUA, A.; CORBO, M.R.; SINIGAGLIA, M. Potential Use of Plant Growth-Promoting Bacteria to Enhance Growth and Soil Fertility in Marginal Areas: Focus on the Apulia Region, Italy. **Agronomy**, v.13, n.12, p.1-24, 2023.

RAMAKRISHNA, W.; YADAV, R.; LI, K. Plant growth promoting bacteria in agriculture: Two sides of a coin. **Applied Soil Ecology**, v. 138, n.1, p. 10-18, 2019.

REHAN, M.; AL-TURKI, A.; ABDELMAGEED, A. H. A.; ABDELHAMEID, N. M.; OMAR, A. F. Performance of Plant-Growth-Promoting Rhizobacteria (PGPR) Isolated from Sandy Soil on Growth of Tomato (*Solanum lycopersicum* L.). **Plants**, v.12, n.8, p.1-18, 2023.

REMPELOS, L.; BARAŃSKI, M.; SUFAR, E. K.; GILROY, J.; SHOTTON, P.; LEIFERT, H.; ŚREDNICKA-TOBER, D.; HASANALIYEVA, G.; ROSA, E. A. S.; HAJŠLOVA, J.; SCHULZOVA, V.; ČAKMAK, I.; ÖZTURK, L.; BRANDT, K.; SEAL, C.; WANG, J.; SCHMIDT, C.; LEIFERT, C. Effect of Climatic Conditions, and Agronomic Practices Used in Organic and Conventional Crop Production on Yield and Nutritional Composition Parameters in Potato, Cabbage, Lettuce and Onion; Results from the Long-Term NFSC-Trials. **Agronomy**, v.13, n.5, p.1-35, 2023.

RHIOUI, W.; AL FIGUIGUI, J.; LAHLALI, R.; LAASLI, S.-E.; BOUTAGAYOUT, A.; EL JARROUDI, M.; BELMALHA, S. Towards Sustainable Vegetable Farming: Exploring

Agroecological Alternatives to Chemical Products in the Fez-Meknes Region of Morocco. **Sustainability**, v.15, n.9, p.1-23, 2023.

SALEHIN, A.; YAMANE, S.; UENO, M.; HAYASHI, S. Identification, Characterization, and Growth-Promoting Effects of Bacterial Endophytes Isolated from Okra (*Abelmoschus esculentus* L.). **Agronomy**, v.13, n.5, p.1-15, 2023.

SELEIMAN, M. F.; AL-SUHAIBANI, N.; ALI, N.; AKMAL, M.; ALOTAIBI, M.; REFAY, Y.; BATTAGLIA, M. L. Drought stress impacts on plants and different approaches to alleviate its adverse effects. **Plants**, v. 10, n. 2, p. 259, 2021.

SHAFQAT, W.; MAZROU, Y. S. A.; SAMI-UR-REHMAN; NEHELA, Y.; IKRAM, S.; BIBI, S.; NAQVI, S. A.; HAMEED, M.; JASKANI, M. J. Effect of Three Water Regimes on the Physiological and Anatomical Structure of Stem and Leaves of Different Citrus Rootstocks with Distinct Degrees of Tolerance to Drought Stress. **Horticulturae**, v.7, n.12, p.1-21, 2021.

SHOJAEI-MIANDORAGH, M.; BIJANI, M.; ABBASI, E. Farmers' resilience behaviour in the face of water scarcity in the eastern part of Lake Urmia, Iran: an environmental psychological analysis. **Water and Environment Journal**, v. 34, n. 4, p. 611-622, 2020.

SLAMA, H. B.; CHENARI BOUKET, A.; ALENEZI, F. N.; LUPTAKOVA, L.; BARANOV, O.; AHADI, R.; BELBAHRI, L. Impacts of Salt Stress on the Rhizosphere and Endophytic Bacterial Role in Plant Salt Alleviation. **International Journal of Plant Biology**, v.14, n.2, p.361-376, 2023.

SILVA, A. M. M.; FEILER, H. P.; QI, X.; DE ARAÚJO, V. L. V. P.; LACERDA-JÚNIOR, G. V.; FERNANDES-JÚNIOR, P. I.; CARDOSO, E. J. B. N. Impact of Water Shortage on Soil and Plant Attributes in the Presence of Arbuscular Mycorrhizal Fungi from a Harsh Environment. **Microorganisms**, v.11, n.5, p.1-15, 2023.

SOARES, D.; PAÇO, T. A.; ROLIM, J. Assessing Climate Change Impacts on Irrigation Water Requirements under Mediterranean Conditions—A Review of the Methodological Approaches Focusing on Maize Crop. **Agronomy**, v.13, n.1, p.1-16,

2023.

SOLOMON, W.; MUTUM, L.; RAKSZEI, M.; JANDA, T.; MOLNÁR, Z. Harnessing the Synergy of the Cyanobacteria-Plant Growth Promoting Bacteria for Improved Maize (*Zea mays*) Growth and Soil Health. **Sustainability**, v.15, n.24, p.1-14, 2023.

SOUSSANI, F. E.; BOUTASKNIT, A.; BEN-LAOUANE, R.; BENKIRANE, R.; BASLAM, M.; MEDDICH, A. Arbuscular Mycorrhizal Fungi and Compost-Based Biostimulants Enhance Fitness, Physiological Responses, Yield, and Quality Traits of Drought-Stressed Tomato Plants. **Plants**, v.12, n.9, p.1-23, 2023.

SPORCHIA, F.; PATRIZI, N.; PULSELLI, F.M. Date Fruit Production and Consumption: A Perspective on Global Trends and Drivers from a Multidimensional Footprint Assessment. **Sustainability**, v.15, n.5, p.1-17, 2023.

STEFANOV, M.; RASHKOV, G.; BORISOVA, P.; APOSTOLOVA, E. Sensitivity of the Photosynthetic Apparatus in Maize and Sorghum under Different Drought Levels. **Plants**, v.12, n.9, p.1-23, 2023.

SUN, Q.; HE, X.; WANG, T.; QIN, H.; YUAN, X.; CHEN, Y.; BIAN, Z.; LI, Q. The Beneficial Roles of Elevated [CO₂] on Exogenous ABA-Enhanced Drought Tolerance of Cucumber Seedlings. **Horticulturae**, v.9, n.4, p.1-18, 2023.

TANEJA, A.; SHARMA, R.; KHETRAPAL, S.; SHARMA, A.; NAGRAIK, R.; VENKIDASAMY, B.; GHATE, M.N.; AZIZOV, S.; SHARMA, S.; KUMAR, D. Value Addition Employing Waste Bio-Materials in Environmental Remedies and Food Sector. **Metabolites**, v.13, n.5, p.1-23, 2023.

VASCONCELOS, V. D.; RIBEIRO, M. DE S., CRISÓSTOMO, V. L. Does gender diversity moderate the relationship between CSR committees and Sustainable Development Goals disclosure? Evidence from Latin American companies. **RAUSP Management Journal**, v. 57, n.4, p.434–456, 2022.

VILLA-FALFÁN, C.; VALDÉS-RODRÍGUEZ, O. A.; VÁZQUEZ-AGUIRRE, J. L.; SALAS-MARTÍNEZ, F. Climate Indices and Their Impact on Maize Yield in Veracruz,

Mexico. **Atmosphere**, v.14, n.5, p.1-16, 2023.

VIDAL, M. C.; AMARAL, D. F. S.; NOGUEIRA, J. D.; MAZZARO, M. A. T.; LIRA, V. M. C. Bioinsumos: a Construção de um Programa Nacional pela Sustentabilidade do Agro Brasileiro. **Economic Analysis of Law Review**, v. 12, n.3, p. 557-574, 2021.

XU, J.; QIN, L.; XU, X.; SHEN, H.; YANG, X. Bacillus paralicheniformis RP01 Enhances the Expression of Growth-Related Genes in Cotton and Promotes Plant Growth by Altering Microbiota inside and outside the Root. **International Journal of Molecular Sciences**, v.24, n.8, p.1-17, 2023.

YANG, S.; LI, D.; LIAO, H.; ZHU, L.; ZHOU, M.; CAI, Z. Analysis of the Balance between Supply and Demand of Arable Land in China Based on Food Security. **Sustainability**, v.15, n.7, p.1-16, 2023.

YARAGUPPI, D. A.; BAGEWADI, Z. K.; MAHANTA, N.; SINGH, S. P.; KHAN, T. M. Y.; DESHPANDE, S. H.; SORATUR, C.; DAS, S.; SAIKIA, D. Gene Expression and Characterization of Iturin A Lipopeptide Biosurfactant from Bacillus aryabhattai for Enhanced Oil Recovery. **Gels**, v.8, n.7, p.1-15, 2022.

WARACZEWSKA, Z.; NIEWIADOMSKA, A.; WOLNA-MARUWKA, A.; SULEWSKA, H.; BUDKA, A.; PILARSKA, A. A. The Effect of In Vitro Coinoculation on the Physiological Parameters of White Lupine Plants (Lupinus albus L.). **Applied Sciences**, v.12, n.23, p.1-15, 2022.

WEI, K.; ZHANG, J.; WANG, Q.; GUO, Y.; MU, W. Irrigation with ionized brackish water affects cotton yield and water use efficiency. **Industrial Crops and Products**, v.175, n.1, p.1-12, 2022.

WEN, Z.; LIU, Q.; YU, C.; HUANG, L.; LIU, Y.; XU, S.; LI, Z.; LIU, C.; FENG, Y. The Difference between Rhizosphere and Endophytic Bacteria on the Safe Cultivation of Lettuce in Cr-Contaminated Farmland. **Toxics**, v.11, n.4, p.1-20, 2023.

CAPÍTULO II: EFEITOS DA INOCULAÇÃO DO *Bacillus aryabhattai* NO MICRO TOMATEIRO (*Lycopersicon esculentum* cv *micro-tom*), SUBMETIDO AO DÉFICIT HÍDRICO EM SOLO ARENOSO.

RESUMO

O déficit hídrico é um dos principais fatores limitantes da produtividade agrícola em todo o mundo. Com a demanda populacional por alimentos, as bactérias promotoras de crescimento de plantas (BPCP) têm sido objeto de estudo, com interesse em aumentar a sustentabilidade, produtividade e qualidade. Neste contexto, este trabalho inoculou-se o *Bacillus aryabhattai* no micro tomateiro (*Lycopersicon esculentum* cv *micro-tom*), com o objetivo de verificar seu efeito no desenvolvimento do ciclo da cultura em déficit hídrico em solo arenoso. O desenvolvimento deste trabalho foi realizado na Área Experimental da Faculdade de Ciências e Engenharia, Campus de Tupã, São Paulo. Sendo utilizado o solo arenoso, na presença e ausência da inoculação de *Bacillus aryabhattai*. Além disso, foram usados três níveis de Capacidade de Água Disponível (CAD): 40-50%; 60-70% e 80-90%. Realizando análises biométricas das plantas e análise nutricional dos frutos. Iniciando as coletas de parâmetros bioquímicos e trocas gasosas no início da fluorescência. Observando que a utilização de *B. aryabhattai* atenuou déficit hídrico e promoveu desenvolvimento da massa vegetal, área foliar, caule, volume de raiz em que aumentou 32% em situação de maior déficit, como a produção de frutos em 35%, além da melhor absorção de nutrientes, principalmente os macronutrientes, como Nitrogênio. Evidenciando que resultados mostraram que a inoculação permite ser uma alternativa para mitigar o déficit hídrico na cultura do tomate (Micro tom), assim, tornando-se uma opção em regiões com déficit hídrico e com a predominância de solo arenoso, no entanto há a necessidade de aprofundamento em condições de campos.

Palavras-chave: Agronegócio. Microrganismo. Seca

ABSTRACT

Water deficit is one of the main factors limiting agricultural productivity worldwide. With the population's demand for food, plant growth-promoting bacteria (PGRB) have been the subject of study, with an interest in increasing sustainability, productivity and quality. In this context, *Bacillus aryabhattai* was inoculated into the micro tomato plant (*Lycopersicon esculentum* cv *micro-tom*), with the aim of verifying its effect on the

development of the crop cycle under water deficit in sandy soil. This work was carried out in the Experimental Area of the Faculty of Science and Engineering, Tupã Campus, São Paulo. Sandy soil was used, in the presence and absence of *Bacillus aryabhattai* inoculation. In addition, three levels of Available Water Capacity (AWC) were used: 40-50%; 60-70% and 80-90%. Biometric analysis of the plants and nutritional analysis of the fruit. Starting the collection of biochemical parameters and gas exchange at the beginning of fluorescence. Observing that the use of *B. aryabhattai* attenuated water deficit and promoted the development of plant mass, leaf area, stem, root volume which increased by 32% in a situation of greater deficit, as well as fruit production by 35%, in addition to better absorption of nutrients, especially macronutrients such as Nitrogen. The results show that inoculation can be an alternative to mitigate water deficit in tomato crops (Micro tom), making it an option in regions with water deficit and predominantly sandy soil, although further research is needed in field conditions.

Keywords: Agribusiness. Microorganism. Drought

1 INTRODUÇÃO

Entre as culturas agrícolas o tomate (*Solanum lycopersicum* L.) da família das dicotiledóneas *Solanaceae*, tem grande impacto econômico e social. Uma vez que, além do seu consumo *in natura*, é empregado na indústria para a produção de sucos, molhos, pastas e desidratados. A área global de cultivo alcançou cerca de 5,05 milhões de hectares em 2020, assegurando uma produção anual que chegou a 186 milhões de toneladas (VAN DAMME *et al.*, 2023; WANG *et al.*, 2023).

Além de ser amplamente consumido em todo o mundo, também é rico em antioxidantes importantes, como licopeno, ácido ascórbico e compostos fenólicos, que auxiliam na manutenção da saúde humana, podendo prevenir doenças cardíacas crônicas. Assim como, podem sintetizar compostos bioativos, vitaminas e carotenoides que não são capazes de serem produzidos pelo organismo humano (CONTI *et al.*, 2022; GONZÁLEZ-GARCÍA *et al.*, 2022).

A produtividade e qualidade têm sido fatores de aspecto cruciais e com amplas discussões no setor de alimentos. Em consequência de o setor agrícola sofrer ameaças com as mudanças climáticas, principalmente relacionado ao regime das chuvas e a seca, afetando a segurança alimentar e nutricional da população mundial que tem tendência de crescimento no decorrer dos anos (MUNTEAN *et al.*, 2022; BORDONI, 2023).

No âmbito agrícola tem aumentado o interesse em técnicas mais sustentáveis, responsáveis e conscientes, que visam reduzir a utilização de produtos químicos e promover melhor aproveitamento dos recursos nos sistemas produtivos, além de preservar as fontes naturais (GIRI *et al.*, 2023; REMPELOS *et al.*, 2023).

Principalmente pelo déficit hídrico representar para a agricultura global uma séria ameaça à segurança alimentar e à sustentabilidade das atividades agrícolas. De forma que, os efeitos negativos deste cenário estão a tornarem-se cada vez mais evidentes com condições meteorológicas imprevisíveis, alterando o ciclo de desenvolvimento das culturas (BWAMBALE; ABAGALE; ANORNU, 2022).

Fundamentando ainda que, o tipo de solo de uma determinada região atrelado à escassez de água, tem impactos diferentes na agricultura. Uma vez que, cada tipo de solo tem propriedades físicas e químicas distintas que impactam no processo de retenção e distribuição de água (AHMAD *et al.*, 2022). Como por exemplo, os solos arenosos, que apresentam uma capacidade de drenagem rápida, em consequência da sua porosidade relativamente alta, devido ao tamanho maior das partículas de areia (DING *et al.*, 2021).

Associado com o déficit hídrico observa-se a predominância de efeitos negativos na produtividade das culturas (BASU; RABARA, 2017). Uma vez que, em resposta a escassez de água, as plantas aumentam a produção de espécies reativas de oxigênio (EROs), ocasionando estresse oxidativo e danos ao DNA das células vegetais (SACHDEV *et al.*, 2021). No entanto, as plantas desenvolvem mecanismos antioxidante, como superóxido dismutase (SOD), peroxidase (POD) e catalase (CAT), como forma de regular e neutralizar as EROs (LI *et al.*, 2021).

A compreensão destas interações entre o tipo de solo e a escassez de água é a base para a implementação de práticas e estratégias agrícolas adaptadas aos ambientes locais. Neste caminho, as bactérias de crescimento de plantas (BPCP) têm despertado atenção, por se adequarem a um modelo de agricultura sustentável, que busca não apenas aumentar a produtividade, mas também preservar o meio ambiente. Visto serem microrganismos que habitam qualquer parte da planta, incluindo a filosfera e os tecidos internos, bem como a rizosfera (ANDRADE *et al.*, 2023; JALAL *et al.*, 2023).

Essas bactérias não prejudicam o hospedeiro, mas promovem mecanismos diretos e/ou indiretos que favorecem um melhor crescimento e desenvolvimento do mesmo. E no solo arenoso que tendem a reter menos água e nutrientes, algumas BPCP são particularmente benéficas, melhorando essas

condições e promovendo o crescimento e desenvolvimento das plantas (REHAN, et al., 2023). Os grupos mais conhecidos são: *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Bacillus*, *Pseudomonas* e *Rhizobium* (SLAMA et al., 2023; XU et al., 2023).

Neste contexto, com a hipótese do *Bacillus aryabhattai* mitigar os efeitos do déficit hídrico na cultura do micro-tomateiro (*Lycopersicon esculentum cv micro-tom*) objetivou-se verificar o seu efeito no desenvolvimento do ciclo da cultura sob diferentes níveis de Capacidade de Água Disponível (CAD) em um solo arenoso.

2 MATERIAL E MÉTODO

2.1 Localização

O experimento foi realizado em casa de vegetação, na Área Experimental da Faculdade de Ciências e Engenharia, Campus de Tupã, São Paulo, com localização geográfica definida pelas coordenadas 22° 51' Latitude Sul (S) e 48° 26' Longitude 9 Oeste (W) e altitude média de 786 metros acima do nível do mar. A velocidade média mensal do vento a 10 metros de altura é 3,1 m.s⁻¹ e a energia solar global média mensal diária é de 4772,13 Wh.m⁻².

2.2 Delineamento e condução

O experimento foi conduzido em vasos (capacidade de 430 ml) com 400 gramas de solo (base seca) representado na tabela 1.

Tabela 1 - Análise textural de solo arenoso, coletados da camada de 0-20 cm.

Coleta	Areia	Silte	Argila	Classificação textural
	g kg ⁻¹			
Tupã – SP	804	51	145	Arenoso

Foi realizada a correção e fertilização de acordo com Boletim técnico 100 (Barbosa et al., 1997) de recomendações de adubação mineral para o Estado de São Paulo para o tomate com base na análise de fertilidade química do solo apresentada na tabela 2.

Tabela 2- Análise de fertilidade química coletado da camada de 0-20 cm do solo arenoso.

pH	MO	Presina	Al ³⁺	H+Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
CaCl ₂	g dm ⁻³	mg dm ⁻³	-----	mmolc	dm ⁻³	-----	-----	-----	-----	%	-----	mg	dm ⁻³	-----	-----	-----
5,5	2	0	0	9	0,7	16	4	21	30	70	5	0,07	0,4	9	3,9	0,1

MO Matéria orgânica; SB Soma de Base; CTC Capacidade de Troca de Cátion; V Saturação por Al.

Para a condução foi adotado o delineamento experimental inteiramente casualizado (DIC), em esquema fatorial 2 x 3. Sendo o fator bioinsumo com dois níveis: presença e ausência da inoculação de *Bacillus aryabhattai*. Além disso, foram usados três níveis de Capacidade de Água Disponível (CAD): 40-50%; 60-70% e 80-90%. Deste modo, o experimento foi constituído de 6 tratamentos com 10 repetições, totalizando 60 unidades experimentais.

O cálculo da CAD foi realizado utilizando como referência o método gravimétrico (KLAR *et al.*, 1966). Para isso, antes do início do experimento, cada vaso foi colocado no fundo um tecido composto de fibras sintéticas e preenchido com terra seca, pesando em seguida (massa do conjunto vaso + terra seca), prontamente, anotada e nomeada como Massa do Vaso com 0 % de retenção de água (MV_{0% de retenção}). Posteriormente, os vasos foram irrigados até se observar o início da percolação, onde ficaram em repouso até que toda a água gravitacional fosse perdida.

Em seguida, os vasos irrigados (recipiente + terra + água) foram pesados e sua massa anotada para ser usada como Massa dos Vasos na capacidade máxima de retenção de água (MV_{100% de retenção}). A partir dos dados obtidos, foi calculado o conteúdo de água no solo (CAS), em porcentagem, por meio da fórmula (CAS = (MV_{tratamento} - MV_{0% de retenção})/(MV_{100% de retenção} - MV_{0% de retenção})*100) conforme Varone *et al.*, (2012).

Posteriormente os vasos com o micro tomateiro foram separados em dois grupos, um inoculado com 3x10⁸ UFC (Unidade de formação de colônias) de *Bacillus aryabhattai* cada e outro não. Os tratamentos de deficiência hídrica foram aplicados após 10 dias do plantio, utilizando como referência o método gravimétrico por pesagem dos vasos todos os dias, sendo padronizados as CADs conforme o tratamento.

Próximo à florescência foi dado início as coletas destrutivas para os parâmetros bioquímicos, trocas gasosas e parâmetros de fluorescência da clorofila a. No final do ciclo, as coletas biométricas e de qualidade do fruto, os quais serão

descritos a seguir.

2.3 Variáveis analisadas

2.3.1 Variáveis biométricas e qualidade do fruto

Foram avaliados comprimento de raiz (mm), peso de massa fresca e peso da massa seca da raiz (g). Além da Fitomassa vegetal da parte aérea (FMVPA) e Fitomassa seca da parte aérea (FMSPA) em gramas com auxílio de uma balança de precisão.

A determinação do índice de área foliar (IAF) foi realizada por meio da coleta de todas as folhas das plantas e analisado em integrador de área foliar de bancada (LICOR, modelo LI-3100C, Lincoln, NE, EUA) por meio da metodologia de Watson, (1947).

As características nos frutos avaliadas foram: número de frutos, comprimento e largura do fruto (cm), sólidos solúveis totais (SST), acidez total titulável (ATT) e relação SST/ATT (IAL, 2008).

2.3.2 Macro e micronutrientes

Os teores de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), enxofre (S), magnésio (Mg), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn) foram determinados nas folhas em Espectrômetro de massa com plasma indutivamente acoplado (ICP-MS) coletadas antes da floração.

2.3.3 Parâmetros de trocas gasosas

Foram realizadas leituras no trifólio central da terceira folha completamente expandida no sentido ápice-base. Sucederam as seguintes taxas: assimilação líquida do CO₂ (*A*), condutância estomática (*gs*), concentração interna de CO₂ na folha (*Ci*), taxa de transpiração (*E*), temperatura da folha e déficit de pressão de vapor (*VPDL*), com analisador de gases a infravermelho (IRGA) (LI-COR Biosciences Inc., LI-6400xt, Lincoln, NE, EUA). As medições foram realizadas entre o período das 08:00 e 11:00 horas da manhã. A eficiência do uso da água (*EUA*) foi calculada pela razão *A/E* e a eficiência de carboxilação (*EC*) pela razão *A/Ci*.

2.3.4 Parâmetros de fluorescência da clorofila *a*

Foi determinado utilizando a mesma área da folha e no horário em que foram realizadas as leituras das trocas gasosas, com auxílio de fluorômetro acoplado ao IRGA. Obtendo a medida da fluorescência máxima (F_m'), a fluorescência no estado de equilíbrio dinâmico (F') e a fluorescência mínima (F_0'), permitindo o cálculo dos seguintes critérios: eficiência fotoquímica máxima do fotossistema II (PSII) (F_v/F_m), rendimento quântico potencial do PSII (F_v'/F_m'), coeficiente de extinção fotoquímico (qP) e coeficiente de extinção não-fotoquímico (nP) de acordo com BAKER, (2008).

2.3.5 Análises bioquímicas

2.3.5.1 Pigmentos fotossintéticos

Para avaliação dos teores de clorofila *a*, clorofila *b* e clorofila total, foram coletadas a terceira folha no sentido ápice-base de 5 plantas por tratamento, e a determinação dos teores foi realizada com base na metodologia de Lichtenthaler (1987).

2.3.5.2 Determinação da atividade enzimática

A partir dos extratos processados foram realizados a concentração proteica e atividades enzimáticas, superóxido dismutase (SOD-EC 1.15.1.1) em tampão fosfato de potássio 0,1 M em pH 7,8 e determinada de acordo com Giannopolitis e Ries (1977) com medida realizada em espectrofotômetro a 560 nm. Já a concentração de proteínas solúveis presentes nas amostras foi determinada de acordo método proposto Bradford, (1976).

Por fim, a atividade Peroxidase (POD – EC 1.11.1.7) foi determinada empregando a técnica descrita por Teisseire, (2000), com leitura em espectrofotômetro a 505 nm.

2.3.5.3 Determinação de parâmetros relacionados ao metabolismo oxidativo

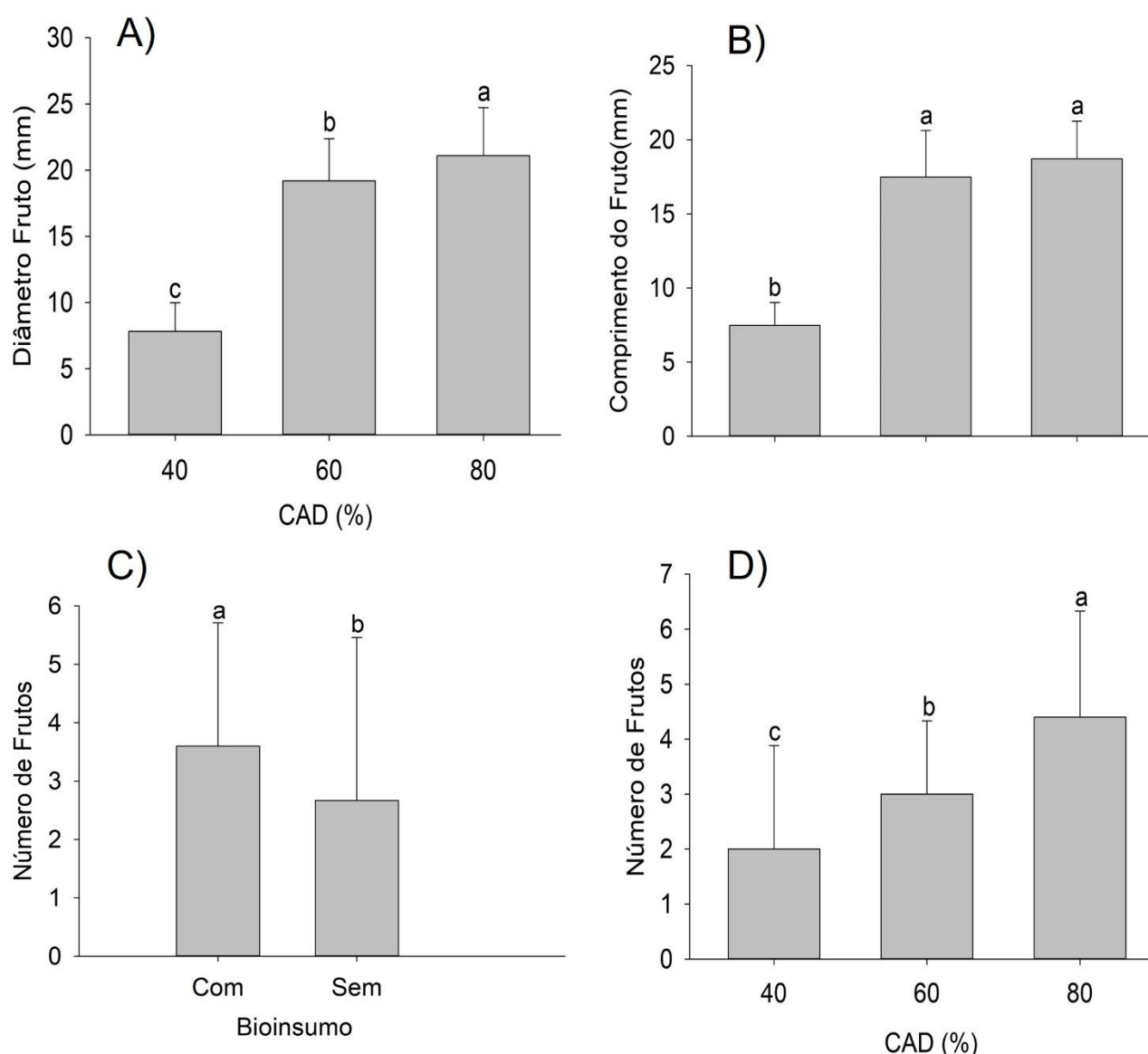
O teor de peróxido de hidrogênio (H_2O_2) com leitura em 390 nm e malondialdeído (MDA) com leituras realizadas em absorbâncias de 535 e 600 nm foi determinado utilizando a metodologia descrita em Alexieva *et al.* (2001).

2.4 Análises estatísticas

Em todos os conjuntos de dados obtidos, foram submetidos à análise de variância e quando significativos comparado pelo teste de média de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade de erro utilizando-se o *software AgroEstat*. Para a elaboração dos gráficos foi utilizado o *software Sigmaplot*.

3 RESULTADOS

Os resultados biométricos dos frutos evidenciaram para o parâmetro das CADs, tanto para o diâmetro (Figura 4A), comprimento (Figura 4B) e número de frutos (Figura 4D), apresentaram crescimento dessas variáveis conforme aumentava a disponibilidade hídrica. No entanto, para a análise de número de frutos com inoculação (Figura 4C), produziu 35% a mais com o uso de bioinsumo.

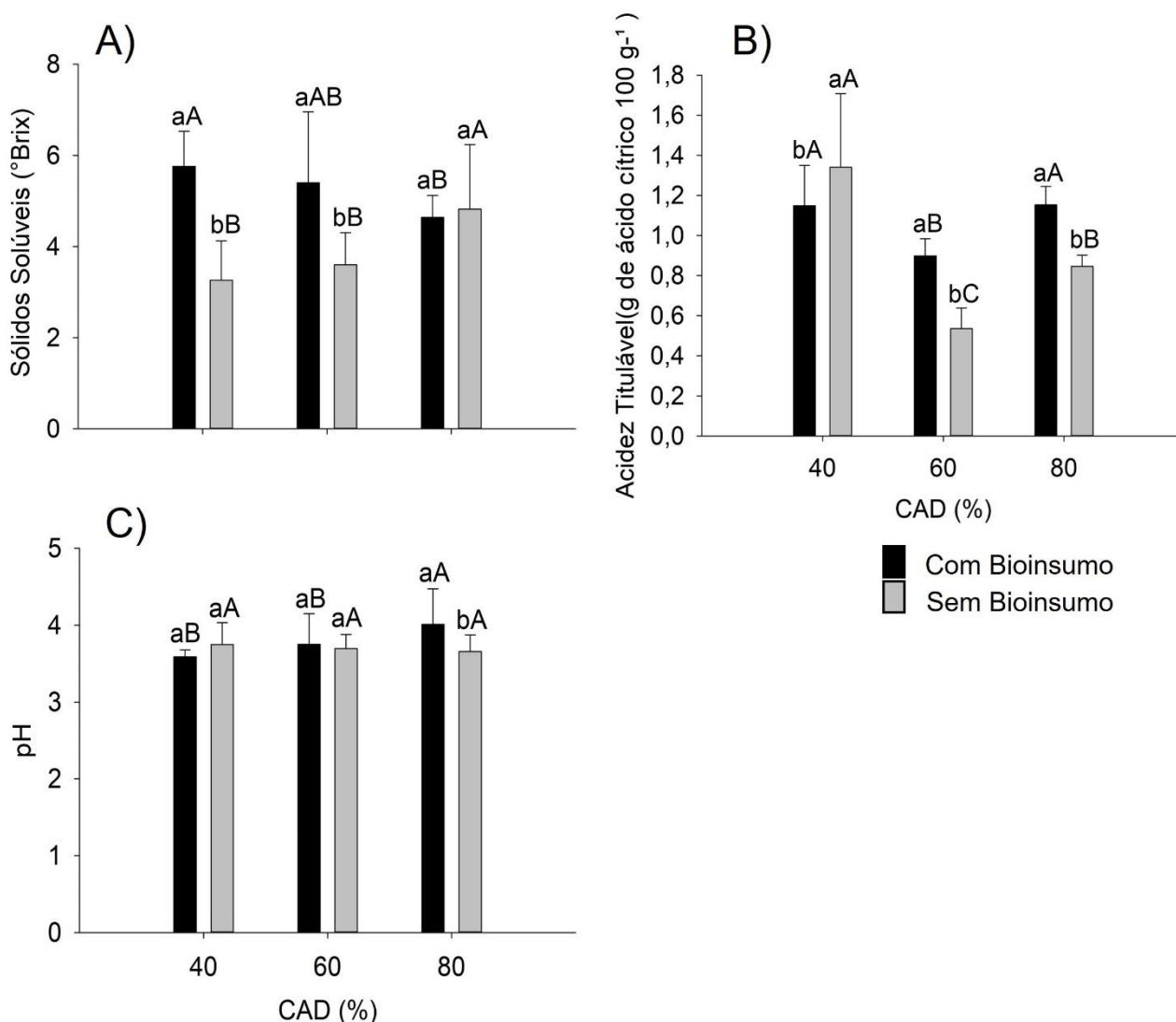
Figura 4 – Diâmetro do Fruto (A), comprimento do fruto (B), número de frutos (C e D).

Fonte: O autor (2024).

Médias com letras iguais maiúsculas não diferem entre si na comparação entre as CADs dentro da inoculação ou não do bioinsumo, e médias com letras iguais minúsculas não diferem entre si na comparação entre a inoculação de bioinsumo dentro dos manejos de CADs. Letras diferentes indicam diferença entre as médias de acordo com o teste de Tukey ($p < 0,05$).

Os sólidos solúveis, acidez titulável e pH (Figura 5A, 5B e 5C), mostrou interação significativa entre os fatores avaliados. Evidenciando maior presença de sólidos solúveis nos frutos com bioinsumo, principalmente na CAD 40 com um aumento de 77% em comparação com os sem inoculação.

Já a acidez titulável observou 17% maior o valor sem bioinsumo para a CAD 40, porém na CAD 60 e 80 os valores foram 68% e 36% respectivamente maior para os com bioinsumo. A variação do pH na CAD 40 foi 4% maior sem bioinsumo, no entanto para a de 80, foi 10% maior nos frutos com bioinsumo.

Figura 5 – Sólidos Solúveis (A), acidez titulável (B), pH (C).

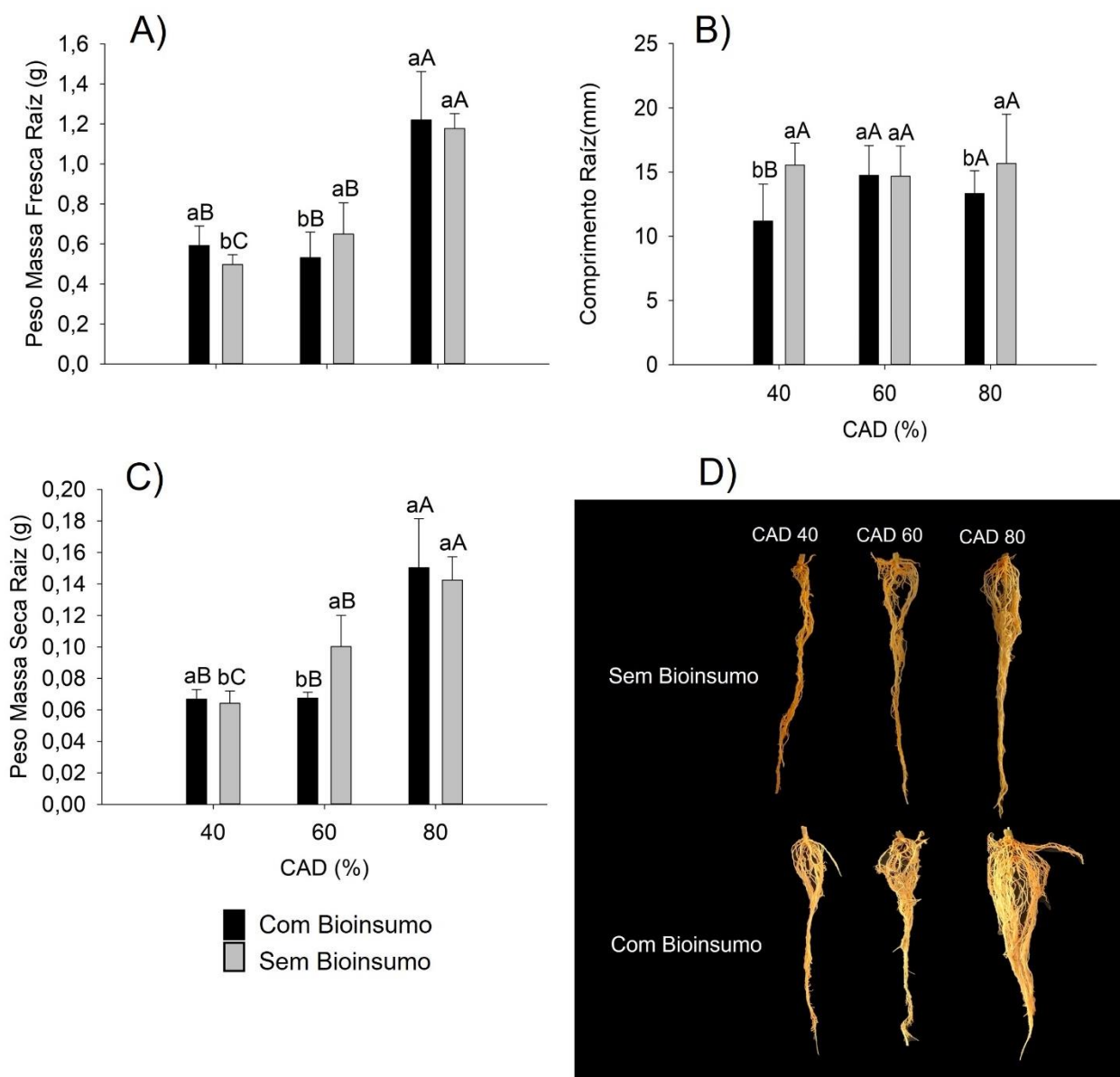
Fonte: O autor (2024).

Médias com letras iguais maiúsculas não diferem entre si na comparação entre as CADs dentro da inoculação ou não do bioinsumo, e médias com letras iguais minúsculas não diferem entre si na comparação entre a inoculação de bioinsumo dentro dos manejos de CADs. Letras diferentes indicam diferença entre as médias de acordo com o teste de Tukey ($p < 0,05$).

O peso de massa fresca da raiz (Figura 6A) observou-se que a inoculação apresentou um volume maior na CAD 40 com diferença de 19% para as sem inoculação, já na CAD 60 as plantas inoculadas obtiveram a massa 22% menor. O mesmo comportamento ocorreu com o peso de massa seca da raiz (Figura 6C).

Na CAD 40 sem inoculação, o comprimento da raiz (Figura 6B e D) apresentou uma diferença de 39% menor em relação às plantas inoculadas.

Figura 6 – Peso massa fresca raiz (A), comprimento raiz (B), peso massa seca raiz (C) e raízes fresca (D).

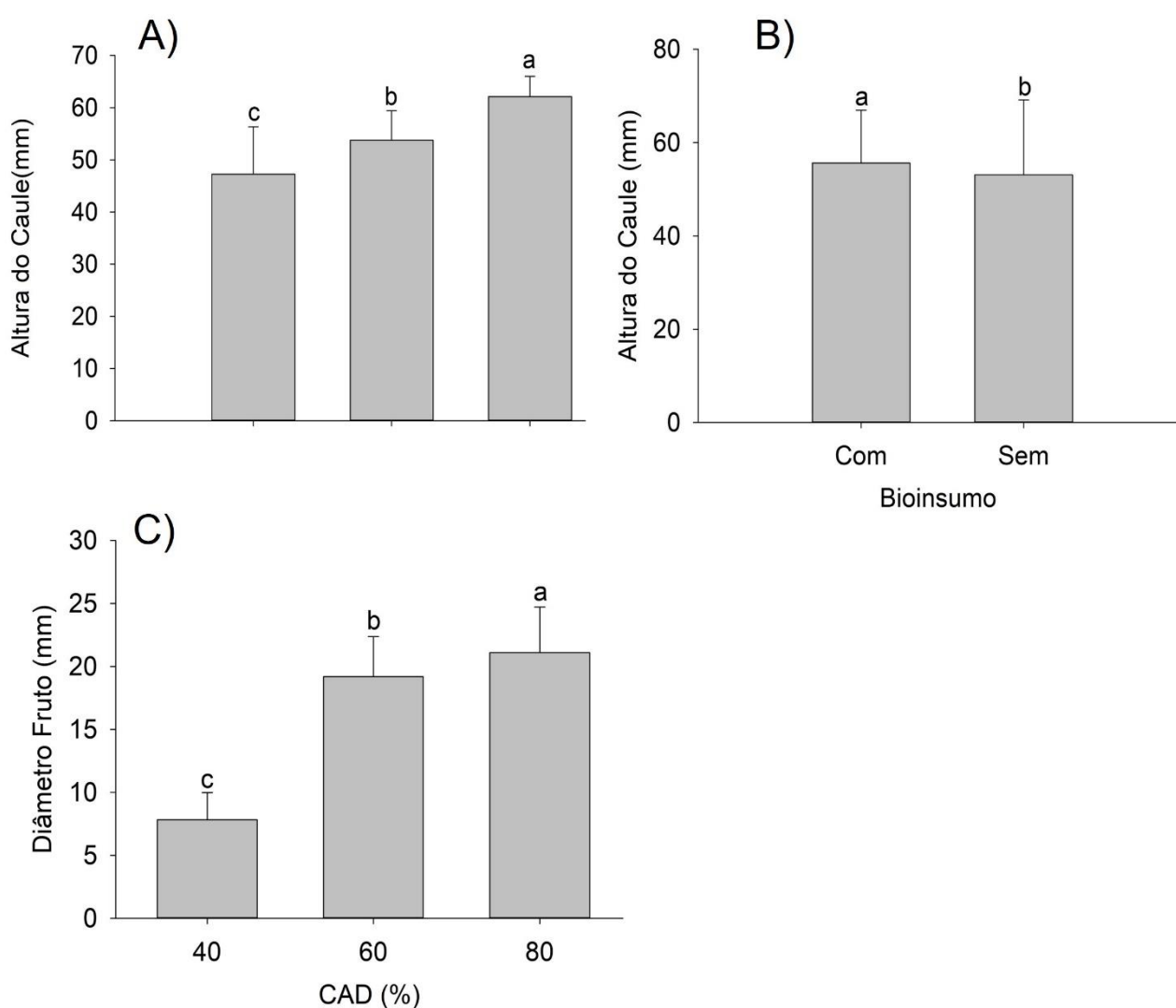


Fonte: O autor (2024).

Médias com letras iguais maiúsculas não diferem entre si na comparação entre as CADs dentro da inoculação ou não do bioinsumo, e médias com letras iguais minúsculas não diferem entre si na comparação entre a inoculação de bioinsumo dentro dos manejos de CADs. Letras diferentes indicam diferença entre as médias de acordo com o teste de Tukey ($p < 0,05$).

A altura de caule e o diâmetro de caule (Figura 7A e 7C) observa-se que entre as CADs a de 80 apresentou maior desenvolvimento de tamanho, como também é possível verificar o crescimento destes parâmetros conforme aumenta a disponibilidade de água. No entanto, quando se observa a altura do caule com análise a inoculação (Figura 7B), enfatiza que o bioinsumo garantiu 5% maior crescimento em relação com as plantas sem bioinsumo.

Figura 7- Altura do caule (A e B) e diâmetro do caule (C).

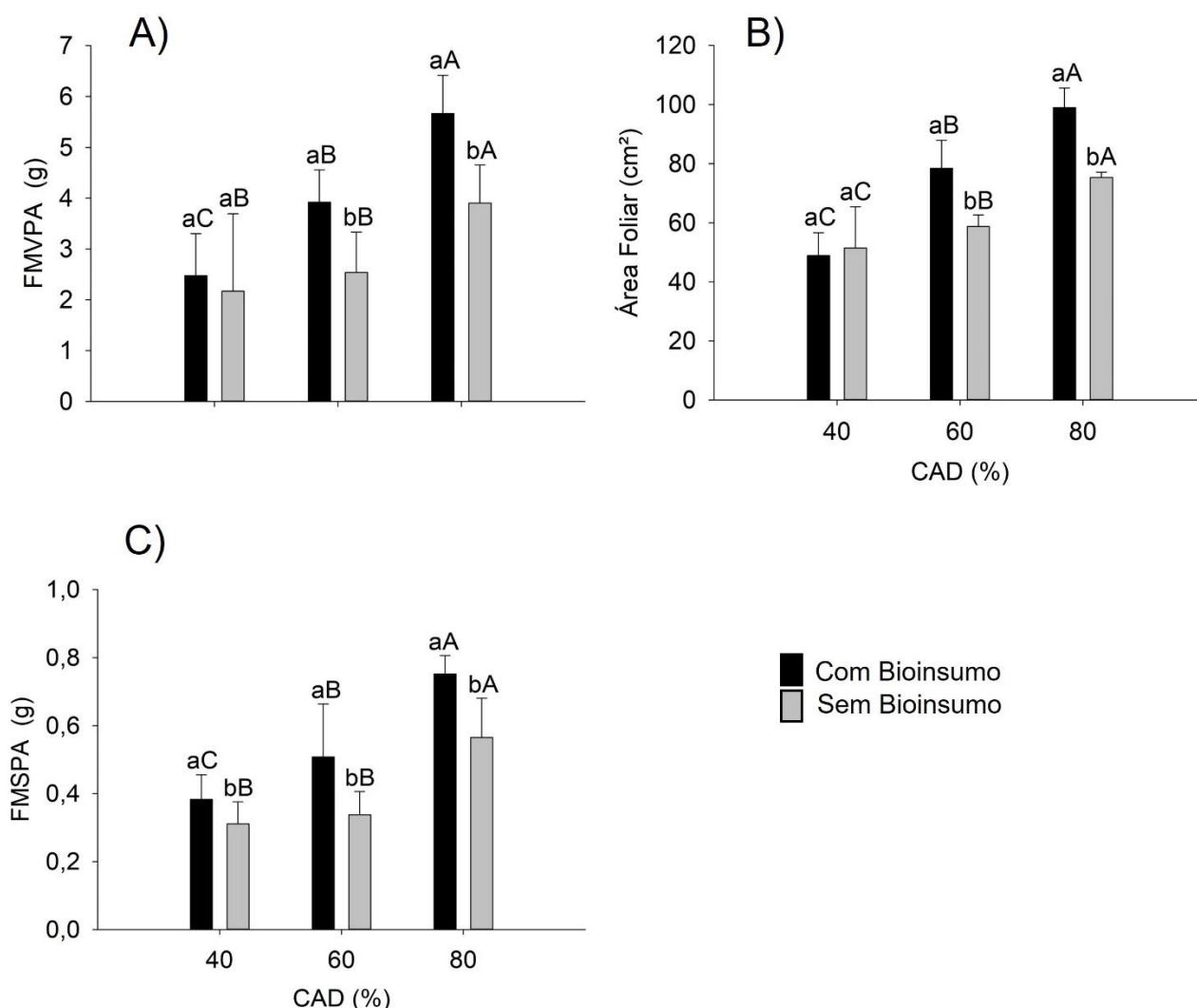


Fonte: O autor (2024).

Letras diferentes indicam diferença entre as médias de acordo com o teste de Tukey ($p < 0,05$).

Como também é perceptível para fitomassa vegetal da parte aérea (FMVPA) (Figura 8A), maior massa para as plantas com bioinsumo nas CADs 60 e 80. A fitomassa seca da parte aérea (FMSPA) (Figura 8C), maior massa das plantas com bioinsumo nas três CADs, 40, 60 e 80 respectivamente 23%, 50% e 33% superior às não inoculadas. O índice de área foliar as CADs 60 e 80 também apresentaram valores superiores no micro-tomateiro inoculado, representando 33% e 31% em comparação com os sem inoculação.

Figura 8 – Fitomassa vegetal da parte aérea (FMVPA – A), índice de área foliar (B), Fitomassa seca da parte aérea (FMSPA – C).



Fonte: O autor (2024).

Médias com letras iguais maiúsculas não diferem entre si na comparação entre as CADs dentro da inoculação ou não do bioinsumo, e médias com letras iguais minúsculas não diferem entre si na comparação entre a inoculação de bioinsumo dentro dos manejos de CADs. Letras diferentes indicam diferença entre as médias de acordo com o teste de Tukey ($p < 0,05$).

Na análise nutricional observa-se para o nitrogênio (Figura 9A), uma diferença na CAD 40, de 12% maior em plantas com bioinsumo. No entanto, as de 60 e 40, se têm 8% e 13% para o fator sem bioinsumo.

No fósforo (Figura 9C) as plantas com inoculação apresentaram maior concentração deste macronutriente, principalmente na CAD 60.

Já o potássio quando comparado às plantas inoculadas (Figura 9B), apresentou uma concentração superior em relação à sem inoculação. Com análise entre as CADs (Figura 6D), observa-se maior concentração na de 40.

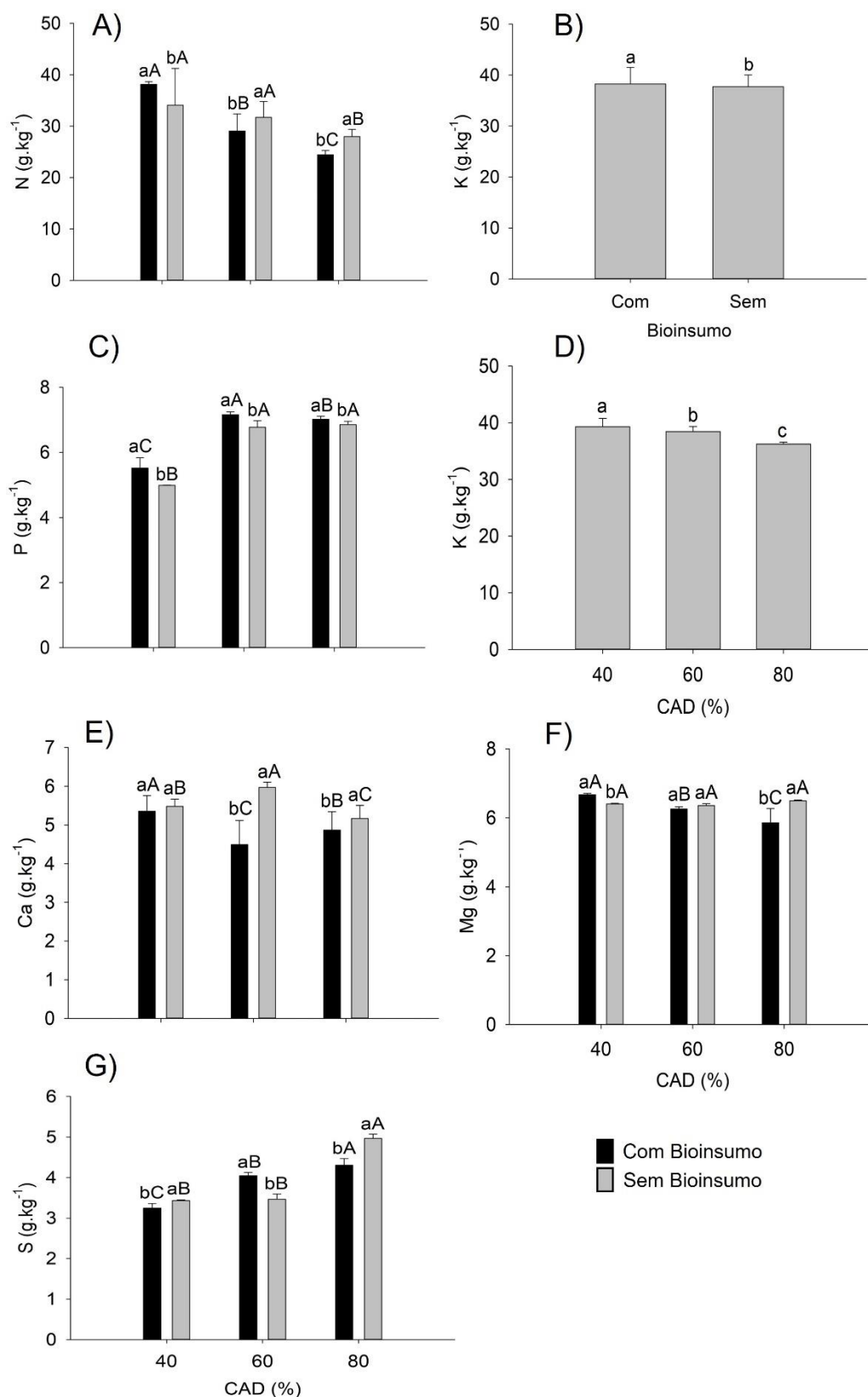
Para o cálcio (Figura 9E) a CAD 40 não apresenta diferença entre com e sem inoculação, porém para as de 60 e 80, resultou em um percentual maior de 25%

e 6% para as plantas sem bioinsumo. De forma que, pode observar maior concentração na CAD 60.

No caso do magnésio (Figura 9F), quando se analisa a inoculação de bioinsumo, observa-se que a CAD 40 obteve maior concentração deste mineral, além de apresentar a maior concentração entre todas as CADs. Já no caso das não inoculadas, pode-se observar que todas as CADs resultaram nas mesmas concentrações.

O Enxofre (Figura 9G) é constatado maior concentração para ambos os casos (com bioinsumo x sem bioinsumo) nas plantas submetidas a CAD 80, com diferença de 13% das não inoculadas para as com inoculação. Assim como, na CAD 40 com maior restrição hídrica, o micro-tomateiro não inoculado apresentou 6% maior teor em comparação com os inoculados.

Figura 9 – Nitrogênio (N – A), potássio (K – B e D), fósforo (P – C), cálcio (Ca – E), magnésio (Mg – F), Enxofre (S – G).



Fonte: O autor (2024).

Médias com letras iguais maiúsculas não diferem entre si na comparação entre as CADs dentro da inoculação ou não do bioinsumo, e médias com letras iguais minúsculas não diferem entre si na comparação entre a inoculação de bioinsumo dentro dos manejos de CADs. Letras diferentes indicam diferença entre as médias de acordo com o teste de Tukey ($p < 0,05$).

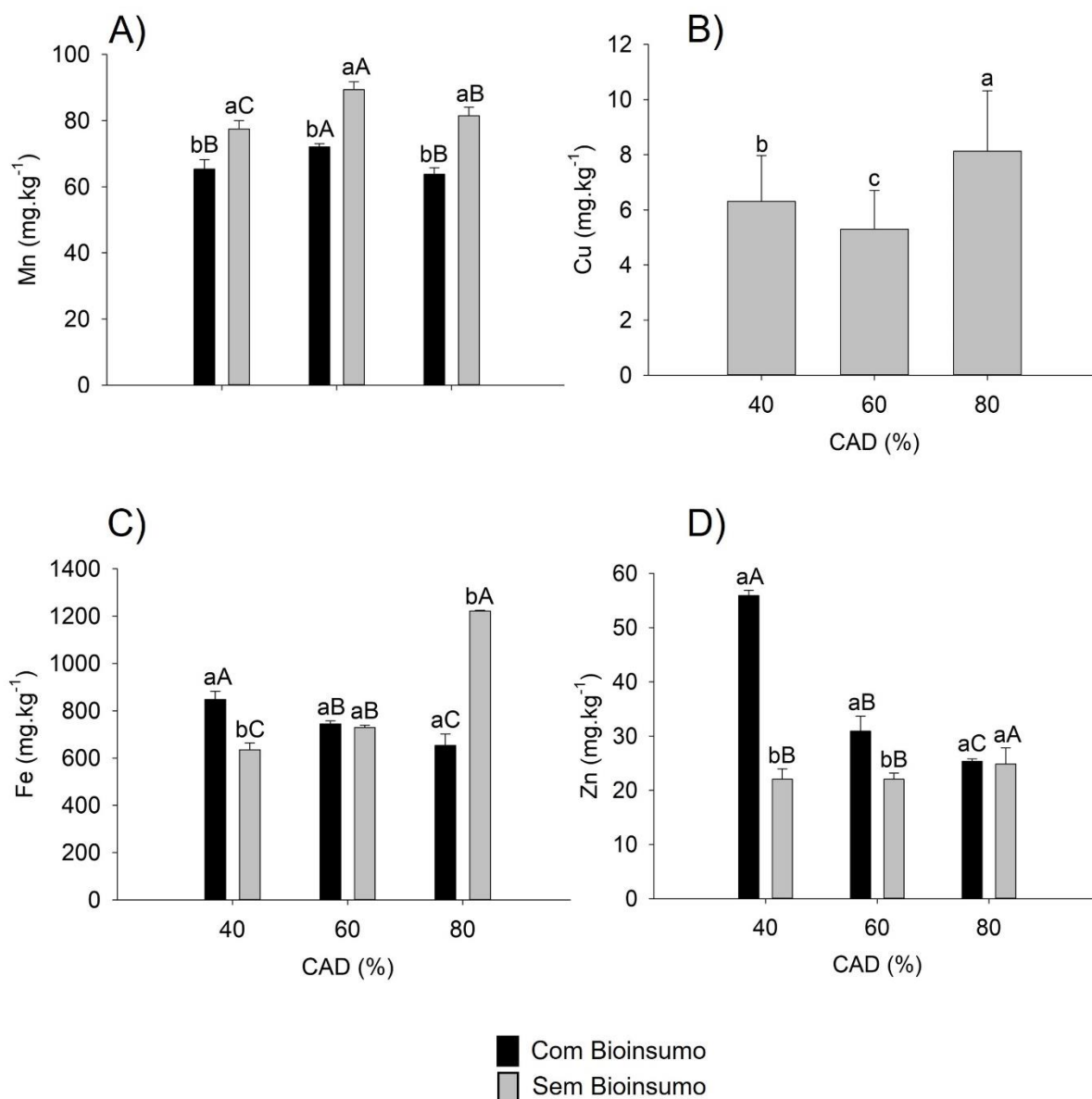
O teor de cobre (Figura 10B) é possível verificar maior concentração deste mineral na CAD 80.

Já o manganês (Figura 10A), as maiores concentrações se destacam nas plantas sem bioinsumo, além da CAD 60 apresentar o maior valor entre as CADs, com diferença das plantas com bioinsumo de 19%.

Na análise do zinco (Figura 10D) as plantas inoculadas com o bioinsumo evidenciaram concentrações maiores, e no caso da CAD 40, apresentou teor de 154% superior as plantas sem inoculação.

Para o teor de ferro (Figura 10C) mostra-se que a CAD 80 sem bioinsumo tem o teor maior, com diferença das inoculadas nesta mesma disponibilidade hídrica de 46%. No entanto, as plantas inoculadas, na CAD 40 apresentam a maior concentração entre os tratamentos com diferença de 34% das sem inoculação.

Figura 10 – Manganês (Mn – A), Cobre (Cu - B), ferro (Fe – C) e Zinco (Zn – D),



Fonte: O autor (2023).

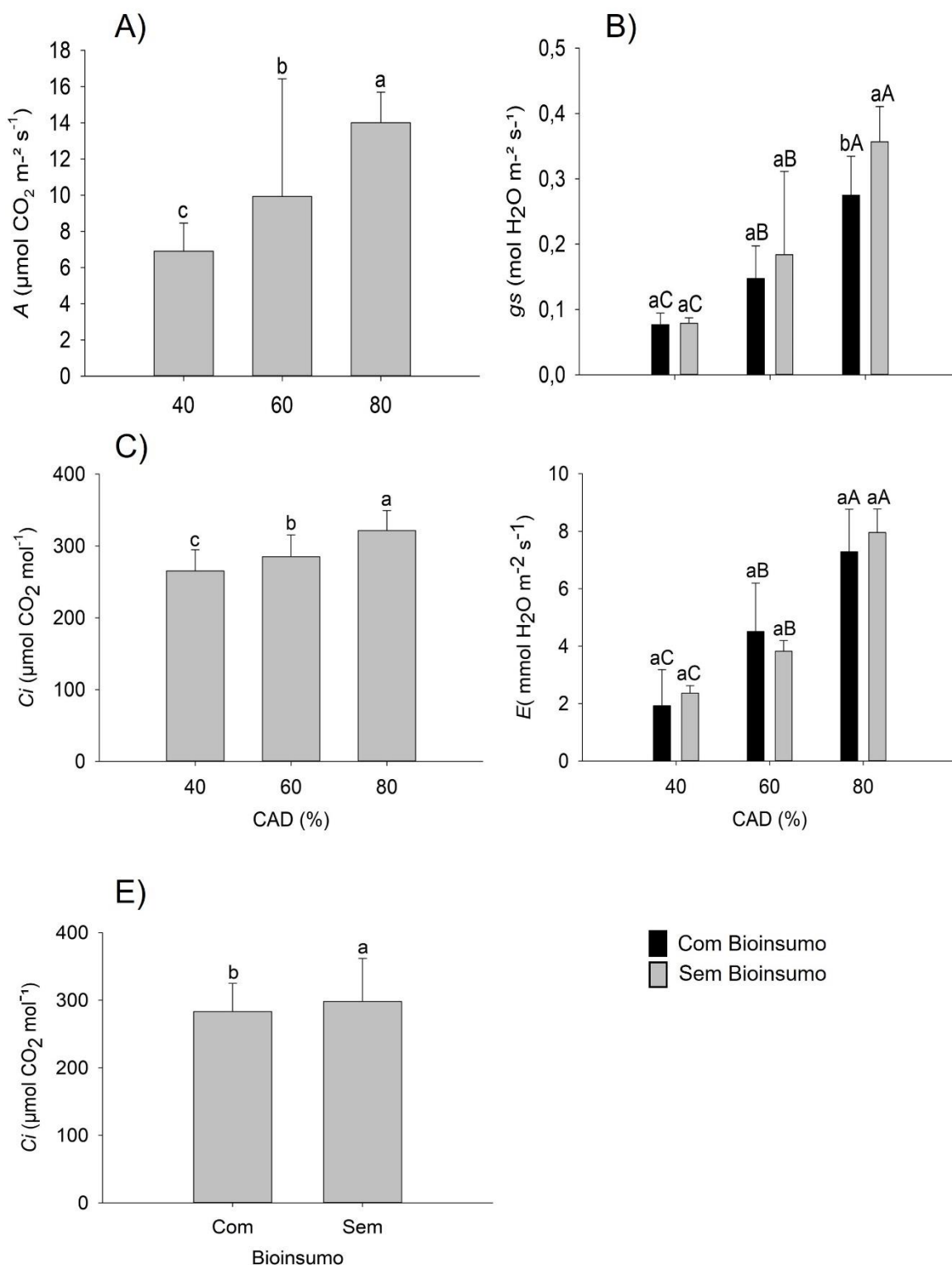
Médias com letras iguais maiúsculas não diferem entre si na comparação entre as CADs dentro da inoculação ou não do bioinsumo, e médias com letras iguais minúsculas não diferem entre si na comparação entre a inoculação de bioinsumo dentro dos manejos de CADs. Letras diferentes indicam diferença entre as médias de acordo com o teste de Tukey ($p < 0,05$)

A taxa de assimilação líquida de CO₂ (A) (Figura 11A) é maior na CAD 80, com diferença da de 60 em 41% e a de 40 em 103%. Maior condutância estomática (Figura 11B) nas plantas sem bioinsumo, com destaque na CAD 80, diferenciando da com bioinsumo em 23%.

A CAD 80 apresentou maior concentração interna de CO₂ na folha (Ci), com 5% superior em relação ao micro-tomateiro com bioinsumo (Figura 11C e E).

A taxa de transpiração (E) (Figura 11D) nas em plantas com e sem bioinsumo não apresentou valores significativos.

Figura 11 - Taxa de assimilação líquida de CO_2 (A - A), condutância estomática (gs - B), concentração interna de CO_2 na folha (C_i - C e E), taxa de transpiração (E - D).



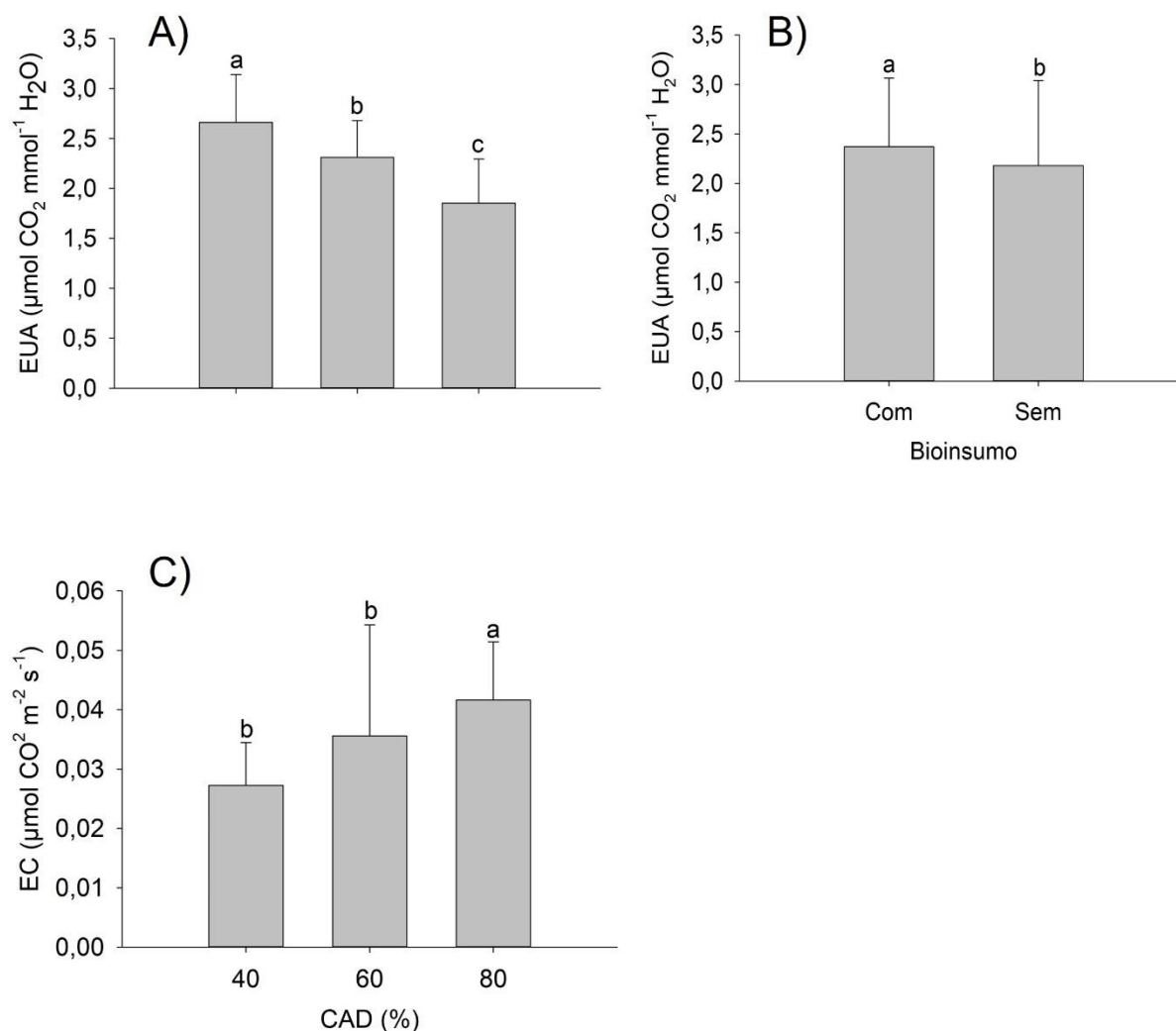
Fonte: O autor (2024).

Médias com letras iguais maiúsculas não diferem entre si na comparação entre as CADs dentro da inoculação ou não do bioinsumo, e médias com letras iguais minúsculas não diferem entre si na comparação entre a inoculação de bioinsumo dentro dos manejos de CADs. Letras diferentes indicam diferença entre as médias de acordo com o teste de Tukey ($p < 0,05$).

A CAD 40 obteve maior eficiência do uso da água (EUA), assim como as plantas com bioinsumo. (Figura 12A e B), com diferença de 9%. No entanto, a

eficiência de carboxilação (EC) foi maior na CAD 80, com diferença da de 60 e 40, em 17% e 52%.

Figura 12 - Eficiência do uso da água (EUA – A e B), eficiência de carboxilação (EC – C).



Fonte: O autor (2024).

Médias com letras iguais maiúsculas não diferem entre si na comparação entre as CADs dentro da inoculação ou não do bioinsumo, e médias com letras iguais minúsculas não diferem entre si na comparação entre a inoculação de bioinsumo dentro dos manejos de CADs. Letras diferentes indicam diferença entre as médias de acordo com o teste de Tukey ($p < 0,05$).

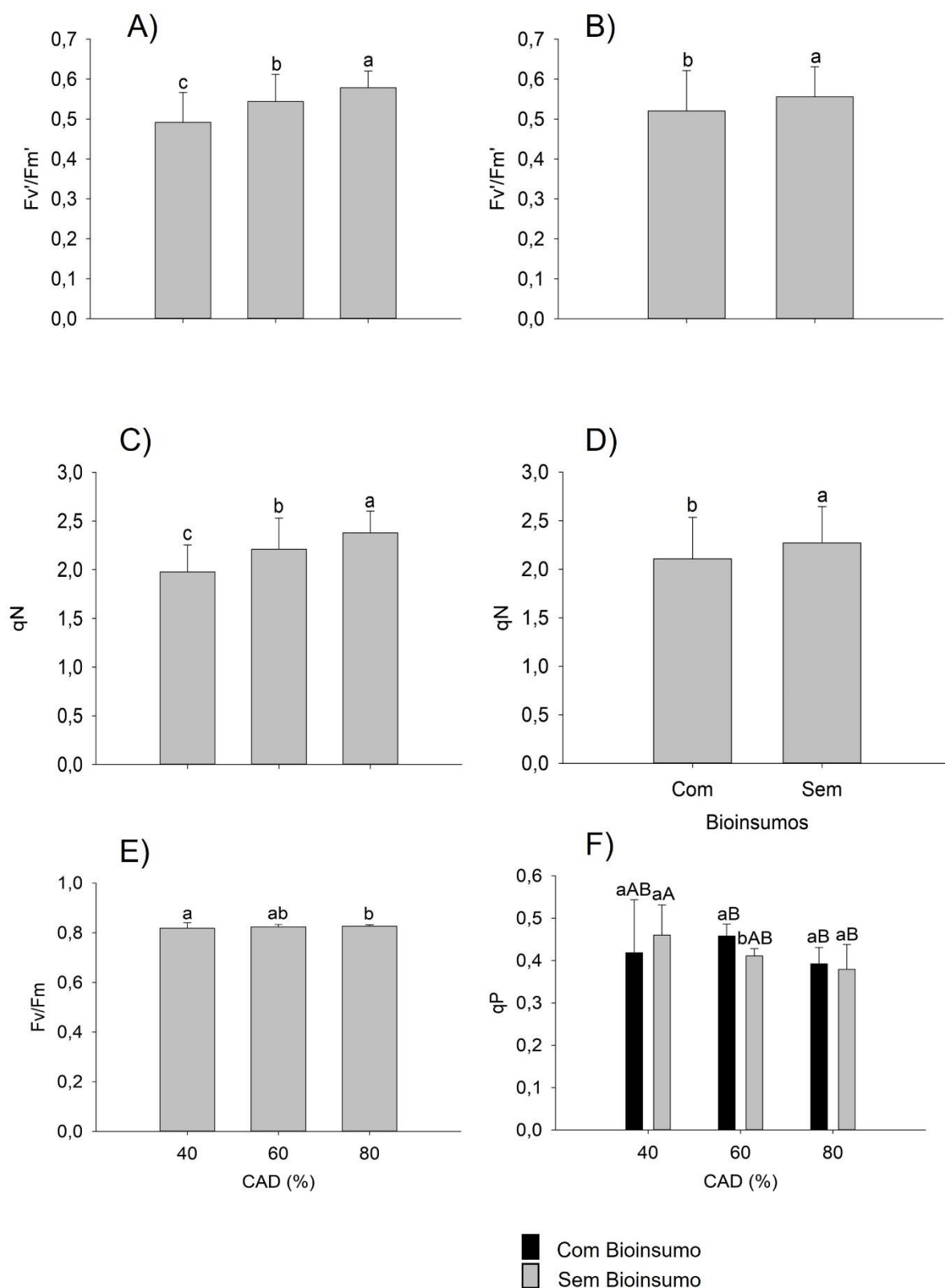
O rendimento quântico potencial do fotossistemas II (F_v'/F_m'), foi maior na CAD 80, com diferença das de 60 e 40, em 6% e 18%, como também foi observado aumento nas plantas sem bioinsumo, com diferença de 7% (Figura 13A e B).

O coeficiente de extinção não fotoquímico (q_N), foi superior na CAD 80, nas plantas sem bioinsumo apresentaram maior concentração (Figura 13C e D). Já a

eficiência fotoquímica máxima do fotossistema II (F_v/F_m), não foi observado diferença entre as CADs (Figura 13E).

Por fim, o coeficiente de extinção fotoquímico (qP) mostrou-se sem diferença nas CADs 40 e 80, somente maior média na CAD 60 para a inoculação, com uma diferença de 11% das plantas sem inoculação.

Figura 13 - Rendimento quântico potencial do fotossistemas II (F_v'/F_m' – A e B), coeficiente de extinção não fotoquímico (q_N – C e D), eficiência fotoquímica máxima do fotossistemas II (F_v/F_m - E), coeficiente de extinção fotoquímico (q_P - F).



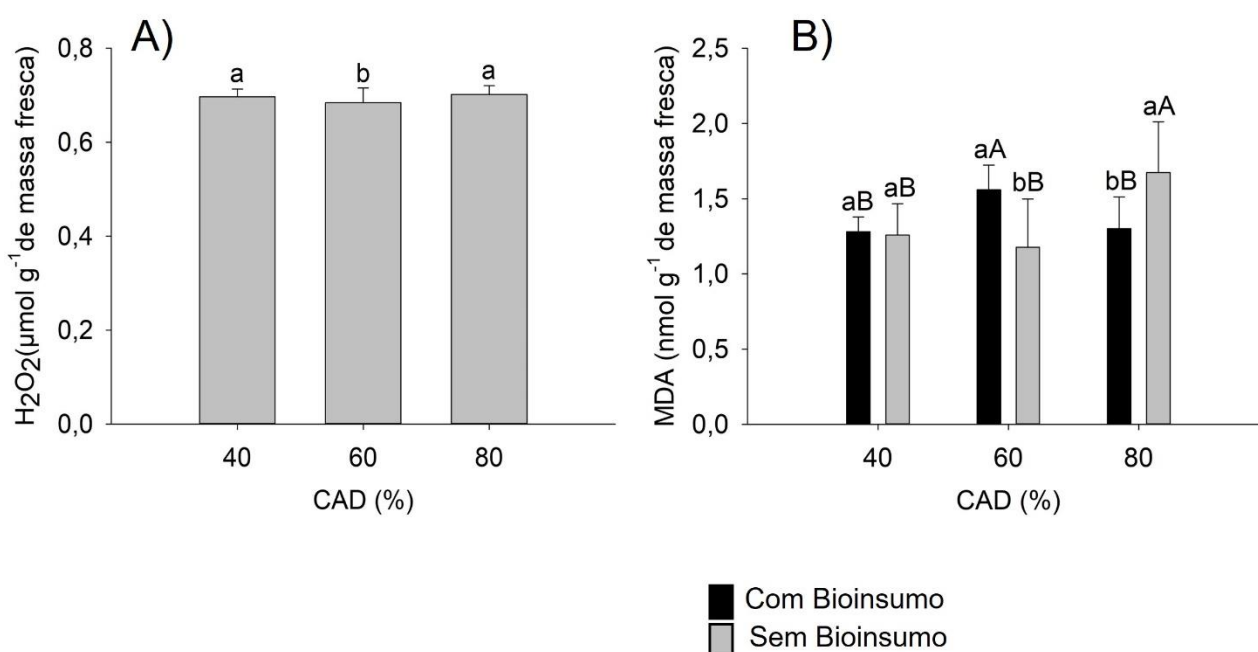
Fonte: O autor (2024).

Médias com letras iguais maiúsculas não diferem entre si na comparação entre as CADs dentro da inoculação ou não do bioinsumo, e médias com letras iguais minúsculas não diferem entre si na comparação entre a inoculação de bioinsumo dentro dos manejos de CADs. Letras diferentes indicam diferença entre as médias de acordo com o teste de Tukey ($p < 0,05$).

O peróxido de hidrogênio (Figura 14A), observa-se teores elevados na CAD 80 e 40, com diferença da de 60 em 3% e 2%.

No malondialdeído (Figura 14B), verifica-se que para ambos os tratamentos, na CAD 40, não apresentaram diferença. No entanto, a CAD 80 sem bioinsumo apresentou 29% superior às com bioinsumo, já as CAD 60 com bioinsumo foi 33% superior que as sem.

Figura 14 - Teores de peróxido de hidrogênio (H_2O_2 - A) e malondialdeído (MDA - B) submetido a diferentes CADs e na presença ou ausência da *Bacillus aryabhattai*.



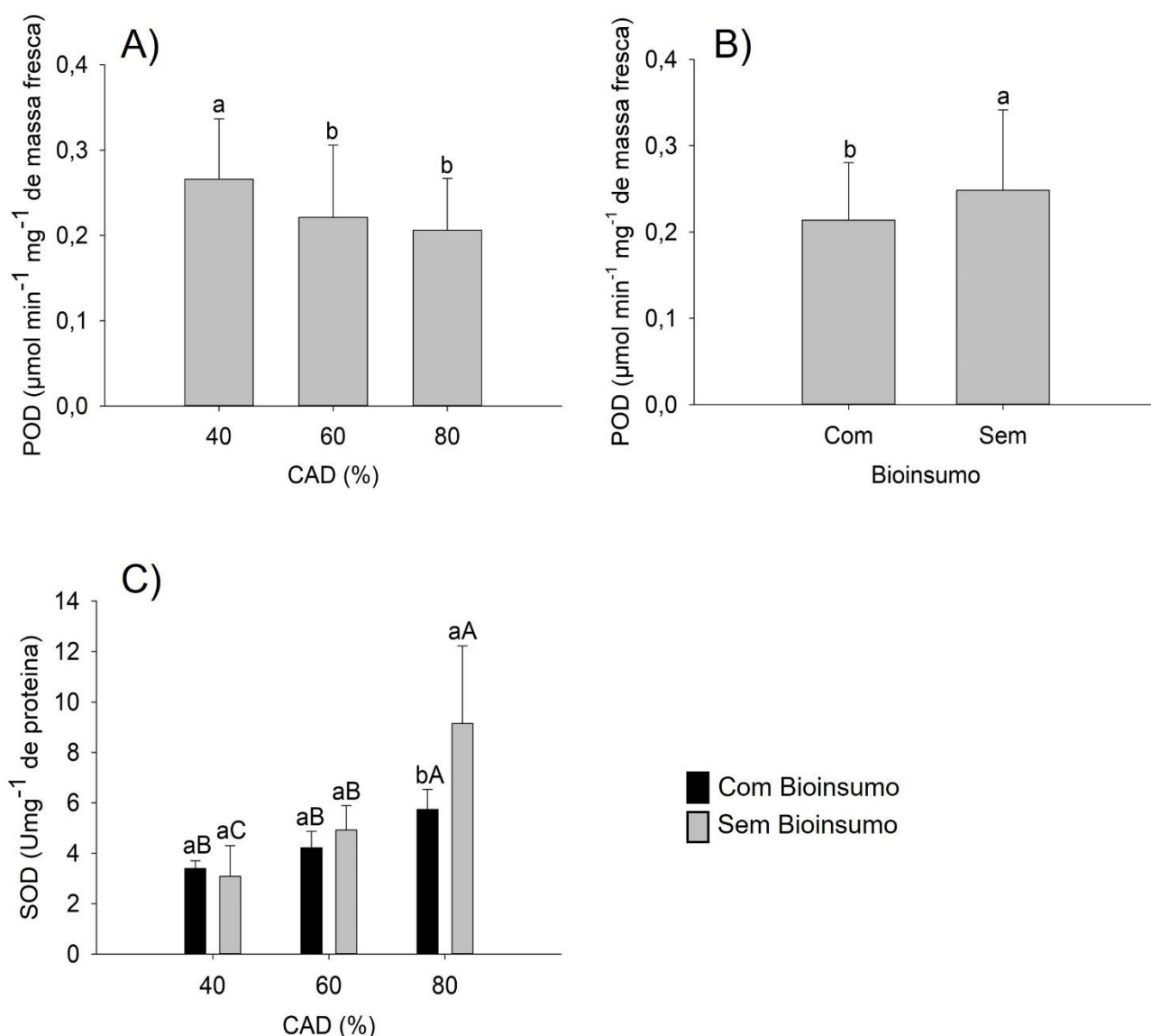
Fonte: O autor (2024).

Médias com letras iguais maiúsculas não diferem entre si na comparação entre as CADs dentro da inoculação ou não do bioinsumo, e médias com letras iguais minúsculas não diferem entre si na comparação entre a inoculação de bioinsumo dentro dos manejos de CADs. Letras diferentes indicam diferença entre as médias de acordo com o teste de Tukey ($p < 0,05$).

O comportamento do metabolismo enzimático das plantas de Micro-Tom para a peroxidase (Figura 15A) de acordo com as CADs, evidencia-se maior atividade na de 40, com diferença de 20% da de 60 e 29% da de 80. Além de ser observado na análise da inoculação (Figura 15B), que as plantas com bioinsumo apresentaram uma redução da atividade em 14% comparada com as sem.

Na atuação da superóxido dismutase (Figura 12C), observa-se maior atividade nas plantas sem bioinsumo, com maior produção das com bioinsumo, na CAD 40 de 10%, na de 60 de 17% e a de 80 com 59%.

Figura 15 – Atividade das enzimas peroxidase (POD – A e B), superóxido dismutase (SOD - C), submetido a diferentes CADs e na presença ou ausência da *Bacillus aryabhattai*.



Fonte: O autor (2024).

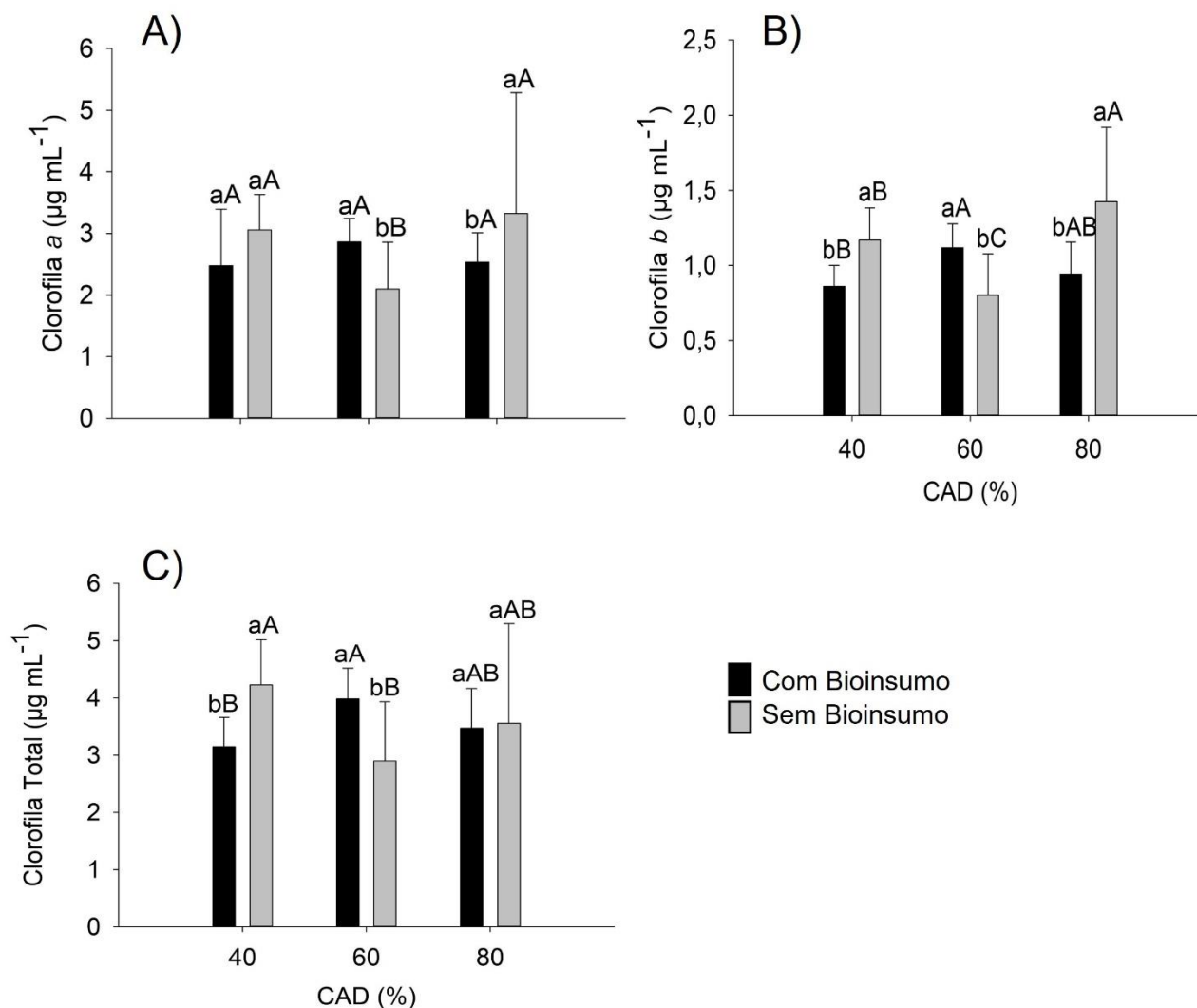
Médias com letras iguais maiúsculas não diferem entre si na comparação entre as CADs dentro da inoculação ou não do bioinsumo, e médias com letras iguais minúsculas não diferem entre si na comparação entre a inoculação de bioinsumo dentro dos manejos de CADs. Letras diferentes indicam diferença entre as médias de acordo com o teste de Tukey ($p < 0,05$).

Para a clorofila *a* (Figura 16A), observa-se teor de 37% maior na CAD 60 das plantas inoculadas com bioinsumo, em comparação com as sem. No entanto, na CAD 80 o micro tomateiro sem inoculação apresentou 31% superior que os inoculados.

Na clorofila *b* (Figura 16B), observa-se teor maior nas plantas sem bioinsumos nas CADs 40 e 80, com valor superior de 36% e 51%. As plantas inoculadas apresentaram 39% de teor superior na CAD 60 em comparação com as não inoculadas.

A clorofila total foi 34% maior nas plantas sem bioinsumo na CAD 40 em comparação às com bioinsumo. No entanto, na CAD 60 as com bioinsumo apresentaram 37% de teor superior as sem.

Figura 16 - Teores de clorofila *a* (A), clorofila *b* (B) e clorofila total (C) em plantas de tomate cultivar Micro-Tom com e sem bioinsumo, submetidos às CADs 40, 60 e 80.



Fonte: O autor (2023).

Médias com letras iguais maiúsculas não diferem entre si na comparação entre as CADs dentro da inoculação ou não do bioinsumo, e médias com letras iguais minúsculas não diferem entre si na comparação entre a inoculação de bioinsumo dentro dos manejos de CADs. Letras diferentes indicam diferença entre as médias de acordo com o teste de Tukey ($p < 0,05$).

4 DISCUSSÕES

Plantas cultivadas em solos arenosos podem ser frequentemente expostas ao déficit hídrico devido à rápida drenagem, o que pode resultar em disponibilidade irregular de água e nutrientes para as plantas (Siebielec *et al.*, 2020). Espécies de *Bacillus sp.* podem ajudar as plantas a se tornarem mais resistentes a esses estresses, permitindo-lhes desenvolver caules mais resistentes. Além de

promoverem o desenvolvimento das raízes com interações hormonais equilibradas que favorecem o crescimento por meio de auxinas e citocininas como observado no trabalho de Araujo *et al.*, (2021) em que aplicação de *Bacillus subtilis* assegurou o desenvolvimento da soja, destacando aumento do peso seco da raiz, biomassa do broto e a área foliar desenvolvido em solo arenoso.

Observando na análise radicular (Figura 6) deste trabalho, em que foi inoculado *Bacillus aryabhattai*, menor crescimento nas CAD 40 e 80 para as plantas inoculadas, no entanto a massa fresca e seca da raiz, para estas condições foram maiores. É possível observar esse comportamento visualmente do volume das raízes (Figura 6D), representando crescimento da zona de ramificação e das raízes primárias, ou seja, essas plantas não necessitaram desenvolver resposta adaptativa que permite às plantas explorar camadas profundas em busca de água e nutrientes no solo como destaca Plett *et al.*, (2020) sobre o comportamento das plantas em busca de água e nutrientes.

Essas espécies de bactérias com a capacidade produção de hormônios vegetais, como a auxina, também promovem o crescimento das plantas, como a expansão das folhas e o desenvolvimento dos brotos. Estudos demonstraram que a inoculação proporciona benefícios significativos para o crescimento e desenvolvimento das plantas, incluindo aumento da massa da parte aérea e aumento do índice de área foliar (IAF) como no trabalho de Hasan, (2020) inoculado *Bacillus sp.* na batata e no tomate de Ricci *et al.*, (2019).

Evidenciando os mesmos resultados neste trabalho, no qual as plantas com *B.aryabhattai* apresentaram maior diferença para a fitomassa vegetal da parte aérea (FMVPA), fitomassa seca da parte aérea (FMSPA) e índice de área foliar, mesmo em condições de maior déficit hídrico como o caso da CAD 40 (Figura 8). Uma vez que se mostram resultados também para altura de caule (Figura 7) (Frasca *et al.*, 2023).

Assim como, em resposta a pós-colheita das culturas, que muitas vezes podem variar pelas condições edafoclimáticas, além de fatores genéticos inerentes a cada cultivar. Considerando que os resultados deste trabalho evidenciam que o uso desta BPCP teve um impacto positivo, principalmente no número de frutos (Figura 4), como destacado no trabalho de Katsenios *et al.*, (2021) com benefícios na qualidade do fruto. Uma vez que, promovendo o crescimento das raízes, melhora a absorção de nutrientes, assegura o seu desenvolvimento, protege contra patógenos e estresse, garantindo a formação de flores e frutos.

Em termos de qualidade do fruto do tomate, o teor de sólidos totais (°Brix), deve ser o mais alto possível para aumentar o lucro, em torno de 4° a 6°, especialmente em tomates industriais utilizados para a produção de produtos de tomate (pasta, suco concentrado etc.) (OLIVEIRA *et al.* 2023). Esses valores geralmente variam dependendo do tipo e maturação do tomate e condições climáticas. Neste estudo, foi observado condições favoráveis ao uso de bioinsumos, com todas as CADs (Figura 5) nesta faixa, principalmente na CAD 40, com diferença de 77% em comparação a não inoculada, que não atingiu o mínimo desejado.

Como também o pH é importante para qualidade e segurança, cujo valor desejável deve apresentar valores inferior a 4,5 e superior a 3,7 para não ter acidez elevada, como destacado por Sousa *et al.*, (2011). De forma que, avaliando os resultados, para ambas as análises se mostraram dentro desta faixa, com maior variação apenas na CAD 80 com diferença de 10%, além dos valores inoculados aumentarem conforme o aumento da CAD (Figura 5).

Além disso, o *Bacillus* permite melhorar a estrutura do solo, tornando os nutrientes mais disponíveis para as plantas como evidenciado por Zhao *et al.*, (2021), com respostas significativas das comunidades bacterianas e fúngicas do solo com a introdução deste microorganismo. Ou seja, uma combinação de práticas de manejo do solo, incorporação de matéria orgânica e a aplicação de bactérias benéficas, podem ajudar no desenvolvimento das plantas em solos arenosos, como observado anteriormente.

Como na relação da parte nutricional, no trabalho de Ortiz *et al.*, (2015), foi observado que a aplicação de microrganismos nativos (inóculo bacteriano e micorrízico) sob estresse hídrico garantiu aumento em 89% de P, 131% de Ca, 79% de Mg e 62% de Zn, como também um aumento significativo para K. Neste estudo com *B. aryabhatai* (Figura 9), foi observado que para esses macronutrientes as plantas em CAD 40 com inoculação, apresentou-se aumento em relação com as sem. De modo que, a disponibilidade adequada e o equilíbrio desses nutrientes nestas condições de déficit maior, são essenciais para auxiliar as plantas a tolerar e se recuperar de condições de estresse, além de proteger o sistema fotossintético de danos oxidativos como afirmado por Tahiri *et al.*, (2022).

Bem como a translocação e função dos micronutrientes essenciais nas plantas, uma vez que desempenham papéis importantes para os processos bioquímicos e fisiológicos. Considerando em déficit hídrico, a diminuição da disponibilidade de Fe pode afetar na formação da clorofila, Mn na fotossíntese e no

metabolismo do nitrogênio, Zn implica em sintomas de murcha e Cu na formação de enzimas essenciais, como também pode afetar as reações metabólicas (TRIPATHI *et al.*, 2015). Inferindo nos resultados obtidos para Zn, que o emprego de bioinsumo apresentou maior concentração principalmente na CAD 40, de forma que bactérias do gênero *Bacillus* apresentam maior capacidade de absorção desse micronutriente por meio da solubilização, produção de sideróforos e estímulo ao crescimento radicular desses micronutrientes, como evidenciado no trabalho de Yadav *et al.*, (2023), com a identificação e caracterização de bactérias isoladas da rizosfera do trigo do gênero *Bacillus spp.* No entanto, a absorção foi menor de Mn, em comparação com as sem inoculação.

Em resposta ao estresse abiótico, também podem proporcionar respostas benéficas ao metabolismo das plantas e a eficiência fotossintética. Permitindo otimizar as trocas gasosas e a resposta a condições adversas, ou seja, promove a fotossíntese, aumentando a assimilação de CO₂ e a produção de carboidratos essenciais para o desenvolvimento das culturas como observado por Han *et al.*, (2022) com inoculação de *Bacillus amyloliquefaciens*.

Neste estudo, foram observadas reduções em *gs* e *E* com a inoculação com *B.aryabhatai* (Figura 11). Isto indica que as plantas inoculadas induziram ao fechamento dos estômatos de forma mais eficiente e aumentaram o teor de cera da epiderme foliar, garantindo redução da perda de água e assegurando tolerância à seca. Caso obtido em Liu *et al.*, (2023), com o uso de *Bacillus pumilus* em déficit hídrico no tomateiro. Observando ainda que *Ci* em plantas não inoculadas está 5% maior, representando que estas plantas podem estar mais estressadas, com um fechamento parcial ou total dos estômatos, como forma de regulação da troca gasosa, ou seja, proporciona limitações na taxa de fotossíntese. Visando efeitos positivos para o *Bacillus*, como no trabalho de Gu *et al.*, (2021) com emprego de *Bacillus methylotrophicus* em tomates.

Esses microrganismos podem influenciar nas plantas os parâmetros de fluorescência da clorofila *a*, assegurando eficiência fotossintética, conferindo proteção contra estresses, regulando os processos de fotossíntese e aprimorando o estado fisiológico evidenciado por Puthiyottil; Akkara, (2021) com a inoculação de *Bacillus subtilis*.

No entanto, no trabalho não foi observado diferença no rendimento quântico potencial do fotossistemas II (F_v'/F_m') e coeficiente de extinção não fotoquímico (q_N) (Figura 13), como também observado no trabalho de Costa-Santos,

et al., (2021), que realizou a análise de três *Bacillus sp.* (5PB1, 1PB1, FV46) e um *Brevibacillus sp.* (C9F) utilizando a cv. modelo 'MicroTom'. No entanto, foi observado para o coeficiente de extinção fotoquímico (qP) apenas na CAD 60 uma diferença de 11%.

Além disso, o acúmulo de MDA e H_2O_2 nos tecidos vegetais reflete o grau de danos às membranas celulares devido ao estresse oxidativo. Quanto maior o acúmulo, maiores serão (HOSSAIN *et al.*, 2015). Os resultados do presente estudo mostraram que plantas tratadas com *B. aryabhatai* e expostas ao estresse hídrico tiveram menor acúmulo de MDA na CAD 80 e sem diferença na CAD 40, no entanto a CAD 60 apresentou um acúmulo de 7%. Para H_2O_2 , não indicou diferença apenas as plantas da CAD 60 apresentaram menor acúmulo de estresse oxidativo.

De forma que, para combater a produção excessiva de espécies reativas de oxigênio (EROs) em condições de que envolvem o déficit hídrico, as plantas realizam a produção de enzimas antioxidantes como a SOD e POD, analisada neste trabalho. Uma vez que, nestas condições ocorre a superprodução de ERO nas células vegetais e motiva o desenvolvimento do estresse oxidativo para desenvolver uma adaptação e resistência a estresses bióticos e abióticos. (EKE *et al.* 2021).

O estudo constatou que as folhas dos tomateiros tratados com bioinsumos apresentaram menor desenvolvimento dessas enzimas. Apontando maior desenvolvimento da enzima SOD que atua na dismutação do O_2^- em O_2 e H_2O_2 , nas plantas não inoculadas nas CADs 60 e 80 (HASANUZZAMAN, *et al.*, 2022).

Algumas espécies de *Bacillus* podem influenciar também teores de clorofila *a*, *b* e total nas plantas, promovendo o aumento e assegurando eficiência fotossintética, conferindo contra estresses e regulando o metabolismo secundário das plantas como o *Bacillus amyloliquefaciens* QST713 no trabalho de Han *et al.*, (2022) e *Bacillus subtilis* no de Gul *et al.*, (2023). No entanto, para o micro-tomateiro não foram observados aumento dos teores nas plantas com maior déficit com essa espécie de microorganismo, somente na CAD 60.

5 CONCLUSÃO

Conclui-se que o *B. aryabhatai*, estirpe CMAA1363, inoculado no (*Lycopersicon esculentum* cv micro-tom) sob déficit hídrico em solo arenoso, apresenta-se como uma estratégia sustentável para enfrentar os desafios associados à escassez de água e garantir a segurança alimentar futura, sendo eficaz

no desenvolvimento, em comparação com as plantas não inoculadas. No entanto, necessita de aprofundamento em pesquisas para práticas em campo sob condições severas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AHMAD, N.; HUSSAIN, S.; ALI, M. A.; MINHAS, A.; WAHEED, W.; DANISH, S.; DATTA, R. Correlation of soil characteristics and citrus leaf nutrients contents in current scenario of Layyah District. **Horticulturae**, v. 8, n1, p.1-17, 2022.

ALEXIEVA, V.; SERGIEV, I.; MAPELLI, S.; KARANOV, E. The Effect of Drought and Ultraviolet Radiation on Growth and Stress Markers in Pea and Wheat. **Plant, Cell & Environment**, v.24, p.1337–1344, 2001.

ANDRADE, L. A. de.; SANTOS, C. H. B.; FREZARIN, E. T.; SALES, L. R.; RIGOBELLO, E. C. Plant Growth-Promoting Rhizobacteria for Sustainable Agricultural Production. **Microorganisms**, v.11, n.4, p.1-16, 2023.

ARAUJO, F. F.; BONIFACIO, A.; BAVARESCO, L. G.; MENDES, L. W.; ARAUJO, A. S. F. Bacillus subtilis changes the root architecture of soybean grown on nutrient-poor substrate. **Rhizosphere**, v. 18, p. 100348, 2021.

BAKER, N. R. Chlorophyll fluorescence: a probe of photosynthesis in vivo. **Annual Review of Plant Biology**, v. 59, n. 1, p. 89–113, 2008.

BARBOSA, W.; OJIMA, M.; CAMPO-DALL'ORTO, F.A.; RAIJ, B. van. Frutas de clima temperado: III. Caqui, maçã, macadâmia, pecã e pêra. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. (Ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: Instituto Agrônômico e Fundação IAC, 1997. P.141- 142 (Boletim Técnico, 100).

BASU, S.; RABARA, R. Absciscic acid-An enigma in the abiotic stress tolerance of crop plants. **Plant Gene**, v. 11, p. 90-98, 2017.

BRADFORD, M.M. A Rapid and Sensitive Method for the Quantitation of Microgram Quantities of Protein Utilizing the Principle of Protein-Dye Binding. **Analytical**

Biochemistry, v.72, p.248–254, 1976.

BORDONI, A. Insight into the Sustainability of the Mediterranean Diet: The Water Footprint of the Recommended Italian Diet. **Nutrients**, v. 15, n. 9, p. 2204, 2023.

BWAMBALE, E.; ABAGALE, F. K.; ANORNU, G. K. Geophrey K. Smart irrigation monitoring and control strategies for improving water use efficiency in precision agriculture: A review. **Agricultural Water Management**, v. 260, p.1-12, 2022.

CONTI, V.; ROMI, M.; GUARNIERI, M.; CANTINI, C.; CAI, G. Italian Tomato Cultivars under Drought Stress Show Different Content of Bioactives in Pulp and Peel of Fruits. **Foods**, v. 11, n. 3, p.1-19, 2022.

COSTA-SANTOS, M.; MARIZ-PONTE, N.; DIAS, M. C.; MOURA, L.; MARQUES, G.; SANTOS, C. Effect of *Bacillus* spp. and *Brevibacillus* sp. on the Photosynthesis and Redox Status of *Solanum lycopersicum*. **Horticulturae**, v. 7, n. 2, p. 24, 2021.

DING, Z.; MAJRASHI, M. A.; GHONEIM, A. M.; ALI, E. F.; EISSA, M. A.; SHAL, R. E. Irrigation and biochar effects on pearl millet and kinetics of ammonia volatilization from saline sandy soils. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 22, n. 2, p. 1546-1558, 2022.

EKE, P.; KUMAR, A.; SAHU, K. P.; WAKAM, L. N.; SHEORAN, N.; ASHAJYOTHI, M.; PATEL, A.; FEKAM, F. B. Corrigendum to" Endophytic bacteria of desert cactus (*Euphorbia trigonas* Mill) confer drought tolerance and induce growth promotion in tomato (*Solanum lycopersicum* L). **Microbiological research**, v. 245, p. 126689, 2021.

FRASCA, L. L. de M.; REZENDE, C. C.; AGUIAR, M.; NASCENTE, S. Plantas de cobertura inoculadas com microrganismos multifuncionais na entressafra em sistemas de produção da região do Cerrado. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 44, n.4, p.1489–1506, 2023.

GIANNOPOLITIS, C. N.; RIES, S. K. Superoxide Dismutases. **Plant Physiology, Rockville**, v. 59, n. 2, p. 309–314, 1977.

GIRI, V. P.; SHUKLA, P.; TRIPATHI, A.; VERMA, P.; KUMAR, N.; PANDEY, S.; DIMKPA, C.O.; MISHRA, A. A Review of Sustainable Use of Biogenic Nanoscale Agro-Materials to Enhance Stress Tolerance and Nutritional Value of Plants. **Plants**, v.12, n.4, p.1-27, 2023.

GONZÁLEZ-GARCÍA, Y.; LÓPEZ-VARGAS, E. R.; PÉREZ-ÁLVAREZ, M.; CADENAS-PLIEGO, G.; BENAVIDES-MENDOZA, A.; VALDÉS-REYNA, J.; PÉREZ-LABRADA, F.; JUÁREZ-MALDONADO, A. Seed Priming with Carbon Nanomaterials Improves the Bioactive Compounds of Tomato Plants under Saline Stress. **Plants**, v. 11, n. 15, p.1-24, 2022.

GUL, S., JAVED, S., AZEEM, M., AFTAB, A., ANWAAR, N., MEHMOOD, T., ZESHAN, B. Application of *Bacillus subtilis* for the Alleviation of Salinity Stress in Different Cultivars of Wheat (*Triticum aestivum* L.). **Agronomy**, v. 13, n. 2, p. 437, 2023.

GU, S.; LIAN, F.; YANG, H.; HAN, Y.; ZHANG, W.; YANG, F.; GAO, J. Synergic Effect of Microorganism and Colloidal Biochar-Based Organic Fertilizer on the Growth and Fruit Quality of Tomato. **Coatings**, v.11, n.12, p.1-11, 2021.

HAN, L.; ZHANG, M.; DU, L.; ZHANG, L.; LI, B. Effects of *Bacillus amyloliquefaciens* QST713 on photosynthesis and antioxidant characteristics of Alfalfa (*Medicago sativa* L.) under drought stress. **Agronomy**, v. 12, n. 9, p. 2177, 2022.

HASAN, Shima. Effect of potassium fertilizer, feldspar rock and potassium releasing bacterium (*Bacillus circulans*) on sweet potato plant under sandy soil conditions. **Scientific Journal of Agricultural Sciences**, v. 2, n. 2, p. 56-63, 2020.

HASANUZZAMAN, M.; RAIHAN, M.R.H.; NOWROZ, F.; FUJITA, M. Insight into the mechanism of salt-induced oxidative stress tolerance in soybean by the application of *Bacillus subtilis*: Coordinated actions of osmoregulation, ion homeostasis, antioxidant defense, and methylglyoxal detoxification. **Antioxidants**, v. 11, n. 10, p. 1856, 2022.

HOSSAIN, A.; YAMAGUCHI, F.; MATSUO, T.; TSUKAMOTO, I.; TOYODA, Y.; OGAWA, M.; NAGATA, Y.; TOKUDA, M. Rare sugar D-allulose: Potential role and therapeutic monitoring in maintaining obesity and type 2 diabetes mellitus.

Pharmacology & therapeutics, v. 155, p. 49-59, 2015.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz**. Métodos químicos e físicos para a análise de alimentos. Volume 1. 3. ed., São Paulo, 2008. 533p.

JALAL, A.; OLIVEIRA, C. E. da. S.; ROSA, P. A. L.; GALINDO, F. S.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M. Beneficial Microorganisms Improve Agricultural Sustainability under Climatic Extremes. **Life**, v.13, n. 5, p.1- 23, 2023.

KLAR, A.E.; VILLA NOVA, N.A.; MARCOS, Z.Z.; CERVellini, A. Determinação da umidade do solo pelo método das pesagens. **Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"**, v.23, p.16-30, 1966.

KATSENIOS, N.; ANDREOU, V.; SPARANGIS, P.; DJORDJEVIC, N.; GIANNOGLOU, M.; CHANIOTI, S., STERGIOU, P.; XANTHOU, M. Z.; IKAKABOUKI, I.; VLACHAKIS, D.; DJORDJEVIC, S.; KATSAROS, G.; EFTHIMIADOU, A. Evaluation of plant growth promoting bacteria strains on growth, yield and quality of industrial tomato. **Microorganisms**, v. 9, n. 10, p. 2099, 2021.

LICHTENTHALER, H. K. Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic biomembranes. **Methods in Enzimology**, v.148, p. 350-382, 1987.

LI, B.; FAN, R.; SUN, G.; SUN, T.; FAN, Y.; BAI, S.; GUO, S.; HUANG, S.; LIU, H.; ZHANG, H.; WANG, P.; ZHU, X.; SONG, C. P. Flavonoids improve drought tolerance of maize seedlings by regulating the homeostasis of reactive oxygen species. **Plant and Soil**, v. 461, p. 389-405, 2021.

LIU, J.; ZHANG, J.; SHI, Q.; LIU, X.; YANG, Z.; HAN, P.; LI, J.; WEI, Z.; HU, T.; LIU, F. The Interactive Effects of Deficit Irrigation and *Bacillus pumilus* Inoculation on Growth and Physiology of Tomato Plant. **Plants**, v.12, n.3, p.1-15, 2023.

MUNTEAN, L.; ONA, A.; BERINDEAN, I.; RACZ, I.; MUNTEAN, S. Maize Breeding: From Domestication to Genomic Tools. **Agronomy**, v.12, n.10, p.1-17, 2022.

REMPELOS, L.; BARAŃSKI, M.; SUFAR, E. K.; GILROY, J.; SHOTTON, P.; LEIFERT, H.; ŚREDNICKA-TOBER, D.; HASANALIYEVA, G.; ROSA, E. A. S.; HAJSLOVA, J.; SCHULZOVA, V.; CAKMAK, I.; OZTURK, L.; BRANDT, K.; SEAL, C.; WANG, J.; SCHMIDT, C.; LEIFERT, C. Effect of Climatic Conditions, and Agronomic Practices Used in Organic and Conventional Crop Production on Yield and Nutritional Composition Parameters in Potato, Cabbage, Lettuce and Onion; Results from the Long-Term NFSC-Trials. **Agronomy**, v.13, n.5, p.1-35, 2023.

REHAN, M., AL-TURKI, A., ABDELMAGEED, A. H., ABDELHAMEID, N. M., OMAR, A. F. Performance of Plant-Growth-Promoting Rhizobacteria (PGPR) Isolated from Sandy Soil on Growth of Tomato (*Solanum lycopersicum* L.). **Plants**, v. 12, n. 8, p. 1588, 2023.

OLIVEIRA, L. L.; CARDOSO, G. dos S.; FARNEZI, P. K. B., AZEVEDO, L. A. L. de; FRANÇA, A. C. Resposta do tomate cereja à adubação organomineral para incremento na produtividade. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, v. 8, n. 2, p. 054-061, 2023.

ORTIZ, N., ARMADA, E., DUQUE, E., ROLDÁN, A., AZCÓN, R. Contribution of arbuscular mycorrhizal fungi and/or bacteria to enhancing plant drought tolerance under natural soil conditions: effectiveness of autochthonous or allochthonous strains. **Journal of plant physiology**, v. 174, n.1, p. 87-96, 2015.

PLETT, D. C.; RANATHUNGE, K.; MELINO, V. J.; KUYA, N.; UGA, Y.; KRONZUCKER, H. J. The intersection of nitrogen nutrition and water use in plants: new paths toward improved crop productivity. **Journal of Experimental Botany**, v. 71, n. 15, p. 4452-4468, 2020.

PUTHIYOTTIL, P.; AKKARA, Y. Pre treatment with *Bacillus subtilis* mitigates drought induced photo-oxidative damages in okra by modulating antioxidant system and photochemical activity. **Physiology and Molecular Biology of Plants**, v. 27, p. 945-957, 2021.

RICCI, E.; SCHWINGHAMER, T.; FAN, D.; SMITH, D. L.; GRAVEL, V. Growth promotion of greenhouse tomatoes with *Pseudomonas* sp. and *Bacillus* sp. biofilms

and planktonic cells. **Applied Soil Ecology**, v. 138, p. 61-68, 2019.

SACHDEV, S.; ANSARI, S. A.; ANSARI, M. I.; FUJITA, M.; HASANUZZAMAN, M. Abiotic stress and reactive oxygen species: Generation, signaling, and defense mechanisms. **Antioxidants**, v. 10, n. 2, p. 277, 2021.

SLAMA, H. B.; CHENARI BOUKET, A.; ALENEZI, F. N.; LUPTAKOVA, L.; BARANOV, O.; AHADI, R.; BELBAHRI, L. Impacts of Salt Stress on the Rhizosphere and Endophytic Bacterial Role in Plant Salt Alleviation. **International Journal of Plant Biology**, v.14, n.2, p.361-376, 2023.

SIBCS, **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Embrapa Solos. Centro Nacional de Pesquisa de Solos: Rio de Janeiro, v. 3, 2013.

SIEBIELEC, S.; SIEBIELEC, G.; KLIMKOWICZ-PAWLAS, A.; GAŁĄZKA, A.; GRZĄDZIEL, J.; STUCZYŃSKI, T. Impact of water stress on microbial community and activity in sandy and loamy soils. **Agronomy**, v. 10, n. 9, p. 1429, 2020.

SOUSA, A. D. A.; GRIGIO, M. L.; DO NASCIMENTO, C. R.; SILVA, A. D. C. D. da; REGO, E. R. do; REGO, M. M. do. Caracterização química e física de frutos de diferentes acessos de tomateiro em casa de vegetação. **Revista Agro@ mbiente On-line**, v. 5, n. 2, p.113-118, 2011.

SOUSA, H. S.; SOUSA, G. G DE; VIANA, T. V. de A.; PEREIRA, A. P. de A.; LESSA, C.I. N.; SOUZA, M.V. P. de; GUILHERME, J. M. da S.; GOES, G. F.; ALVES, F. G. da S.; GOMES, S. P.; SILVA, F. D. B. da. *Bacillus aryabhattai* Mitigates the Effects of Salt and Water Stress on the Agronomic Performance of Maize under an Agroecological System. **Agriculture**, v. 13, n. 6, p. 1150, 2023.

TAHIRI, A. I.; MEDDICH, A.; RAKLAMI, A.; ALAHMAD, A.; BECHTAOUI, N.; ANLI, M.; OUFDUO, K. Assessing the potential role of compost, PGPR, and AMF in improving tomato plant growth, yield, fruit quality, and water stress tolerance. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 22, n.1, p. 1-22, 2022.

TEISSEIRE, H.; GUY, V. Copper-Induced Changes in Antioxidant Enzymes Activities in

Fronds of Duckweed (*Lemna Minor*). **Plant Science**, v,153, p.65–72, 2000.

TRIPATHI, D. K.; SINGH, S.; SINGH, S.; MISHRA, S.; CHAUHAN, D. K.; DUBEY, N. K. Micronutrients and their diverse role in agricultural crops: advances and future prospective. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 37, p. 1-14, 2015.

VAN DAMME, M.; ZOIS, R.; VERBEEK, M.; BAI, Y.; WOLTERS, A.-M. A. Directions from Nature: How to Halt the Tomato Brown Rugose Fruit Virus. **Agronomy**, v. 13, n. 5, p.1-23, 2023.

VARONE, L.; RIBAS-CARBO, M.; CARDONA, C.; GALLÉ, A.; MEDRANO, H.; GRATANI, L.; FLEXAS, J. Stomatal and non-stomatal limitations to photosynthesis in seedlings and saplings of Mediterranean species preconditioned and aged in nurseries: Different response to water stress. **Environmental and Experimental Botany**.v.75, n.1, p.235-247. 2012.

XU, J.; QIN, L.; XU, X.; SHEN, H.; YANG, X. *Bacillus paralicheniformis* RP01 Enhances the Expression of Growth-Related Genes in Cotton and Promotes Plant Growth by Altering Microbiota inside and outside the Root. **International Journal of Molecular Sciences**, v.24, n.8, p.1-17, 2023.

YADAV, R. C., SHARMA, S. K., VARMA, A., SINGH, U. B., KUMAR, A., BHUPENCHANDRA, I., RAI, J. P.; SHARMA, P. K.; SINGH, H. V. Zinc-solubilizing *Bacillus* spp. in conjunction with chemical fertilizers enhance growth, yield, nutrient content, and zinc biofortification in wheat crop. **Frontiers in Microbiology**, v. 14, n.1, p.1-27, 2023.

WANG, X.; FANG, S.; YANG, Y.; DU, J.; WU, H. A New Method for Crop Type Mapping at the Regional Scale Using Multi-Source and Multi-Temporal Sentinel Imagery. **Remote Sensing**, v. 15, n. 9, p.1-20, 2023.

WATSON, D. J. Comparative physiological studies on the growth of field crops: II. The effect of varying nutrient supply on net assimilation rate and leaf area. **Annals of Botany**, v. 11, n. 44, p. 375-407, 1947.

ZHAO, Y.; MAO, X.; ZHANG, M.; YANG, W.; DI, H. J.; MA, L.; LIU, W.; LI, B. The application of *Bacillus Megaterium* alters soil microbial community composition, bioavailability of soil phosphorus and potassium, and cucumber growth in the plastic shed system of North China. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 307, p. 107236, 20

CAPÍTULO III: *Bacillus aryabhattai* INOCULADO NO MICRO TOMATEIRO (*Lycopersicon esculentum* cv *micro-tom*), COMO EFEITO DE ATENUAÇÃO DO DÉFICIT HÍDRICO EM SOLO ARGILOSO

RESUMO

Nos últimos anos, houve um aumento significativo no estudo das bactérias promotoras de crescimento de plantas (BPCP), devido ao crescente interesse em aumentar a sustentabilidade agrícola e produtividade. Uma vez que, se tem uma projeção de crescimento populacional e aumento das interferências climáticas na produção de alimentos. Neste contexto, esse trabalho tem o objetivo avaliar os efeitos no micro-tomateiro (*Lycopersicon esculentum* cv *micro-tom*) da inoculação com *Bacillus aryabhattai* submetido ao déficit hídrico em solo argiloso. O desenvolvimento foi em casa de vegetação, separados em dois grupos, sendo um inoculado com a bactéria e outro sem, submetidos em três Capacidades de Água Disponível (CAD), 40-50%; 60-70% e 80-90%. Foram avaliadas variáveis fisiológicas, bioquímicas, biométricas e de qualidade do fruto. Destacando resultados promissores para o desenvolvimento das plantas inoculadas, como diferença de 32% de volume de massa fresca comparada com as sem em CAD 40, como também uma produção de frutos em CAD 60 de 127% maior comparado sem inoculação. Além de resultados de melhor absorção de nutrientes e de realização de fotossíntese. Mostrando-se um inoculador promissor e que pode apresentar benefícios a produção agrícola.

Palavras-chave: Inoculante. Tomate. Promoção de crescimento.

ABSTRACT

In recent years, there has been a significant increase in the study of plant growth-promoting bacteria (PGRB), due to the growing interest in increasing agricultural sustainability and productivity. Since there is a projection of population growth and increased climatic interference in food production. In this context, this work aims to evaluate the effects on micro-tomato (*Lycopersicon esculentum* cv *micro-tom*) of inoculation with *Bacillus aryabhattai* subjected to water deficit in clay soil. The plants were grown in a greenhouse, separated into two groups, one inoculated with the bacteria and the other without, subjected to three Available Water Capacities (AWC), 40-50%; 60-70% and 80-90%. Physiological, biochemical, biometric and fruit quality variables were assessed. Promising results for the development of inoculated plants were highlighted, such as a 32% difference in fresh mass volume compared to those without at CAD 40, as well as a 127% higher fruit production at CAD 60 compared to

those without inoculation. In addition to better nutrient absorption and photosynthesis results. This shows that it is a promising inoculator that can bring benefits to agricultural production.

Keywords: Inoculant. Tomato. Growth promotion.

1 INTRODUÇÃO

A agricultura enfrenta grandes desafios para atender às necessidades da crescente população mundial, de acordo com as estimativas das Organizações das Nações Unidas (ONU), em 2050 pode chegar a 9,7 bilhões de pessoas no mundo. Diante disso, aumentar a produtividade e qualidade dos alimentos é necessário para erradicar a fome. No entanto, a degradação ambiental e as mudanças climáticas dificultam atender este objetivo, interferindo na produção agrícola e a segurança alimentar (MUNTEAN *et al.*, 2022; GONZALEZ NIETO *et al.*, 2023).

Devido a este fato, há diversas discussões e preocupações em torno desses assuntos, principalmente, em relação à preservação dos recursos naturais, como os hídricos. Uma vez que, o volume e a qualidade da água são fundamentais para o desenvolvimento e qualidade de vida dos seres vivos, sendo necessário o seu uso racional para garantir a produtividade agrícola e atender às necessidades da população (DABAR *et al.*, 2022; BORDONI, 2023).

Assim, para preservar este setor e contornar os efeitos climáticos, especialmente durante períodos de irregularidades de chuvas, o manejo eficiente dos recursos hídricos é essencial. Estratégias devem ser adotadas para assegurar o uso adequado e atender as demandas fisiológicas para o desenvolvimento das culturas (HALKOS; ZISIADOU, 2023).

O déficit hídrico nas plantas pode desencadear impactos significativos no processo de sintetizar açúcares e outros compostos orgânicos a partir da energia solar, água e dióxido de carbono (CO₂), ou seja, a fotossíntese. Como também pode impactar todas as estruturas celulares, reduzindo a eficiência da atividade fotossintética (POSMYK *et al.*, 2023).

O tipo de solo também desempenha um papel importante no desenvolvimento da cultura, bem como no processo de déficit hídrico. Uma vez que, diferentes tipos de solo apresentam propriedades diferentes em termos de textura, composição química, estrutura, além da disposição de retenção de água e nutrientes (AHMAD *et al.*, 2022).

Portanto, é importante introduzir ferramentas hábeis para garantir a

disponibilidade adequada de água para as plantas manterem todos os processos fisiológicos e bioquímicos. De forma que, o emprego de bactérias para o crescimento de plantas (BPCP) vem trazendo diversos resultados promissores (DAMO *et al.*, 2023)

A introdução desses microrganismos que são bactérias capazes de produzir uma série de metabólitos secundários podem ajudar as plantas a enfrentarem condições de seca ou baixa umidade. A partir de mecanismos como produção de fitormônios de crescimento das raízes das plantas, permitindo aumentar a capacidade de absorção de água e nutrientes (AHMAD *et al.*, 2023; PAGLIARINI *et al.*, 2023).

E mesmo em solos que têm uma capacidade elevada de retenção de água e nutrientes, como os argilosos, essas bactérias podem desempenhar um papel importante para auxiliar na promoção do crescimento das plantas e maximizar os efeitos das BPCP (JOHANNES *et al.*, 2023).

Por conseguinte, evidenciando resultados promissores à tolerância a seca dessas bactérias, esse trabalho tem o objetivo de avaliar os efeitos no microtomateiro (*Lycopersicon esculentum cv micro-tom*) da inoculação com *Bacillus aryabhatai* submetido ao déficit hídrico em solo argiloso.

2 MATERIAL E MÉTODO

2.1 Localização

O desenvolvimento deste trabalho foi realizado em casa de vegetação na Área Experimental da Faculdade de Ciências e Engenharia, Campus de Tupã, São Paulo e com suporte aos laboratórios. No qual, está localizado de acordo com as definições de coordenadas geográfica a 22° 51' Latitude Sul (S) e 48° 26' Longitude Oeste (W) e altitude média de 786 metros. Com classificação Köppen a região é caracteriza em clima tropical de altitude (Cwa) com temperatura média anual de 24,5°C, sendo a velocidade média mensal do vento a 10 metros de altura é 3,1 m.s⁻¹ e a energia solar global média mensal diária de 4772,13 Wh.m⁻².

2.2 Delineamento e condução

Este trabalho foi conduzido em vasos (capacidade de 430 ml) com 340 gramas de solo (base seca) representado na tabela 3.

Tabela 3 - Análise textural de solo argiloso, coletados da camada de 0-20 cm.

Coleta	Areia	Silte	Argila	Classificação textural
.....g kg ⁻¹				
Botucatu - SP	235	193	572	Argiloso

A correção e fertilização foi determinada a partir do Boletim técnico 100 (Barbosa *et al.*, 1997) de recomendações de adubação mineral para o Estado de São Paulo para o tomate com base na análise de fertilidade química do solo apresentada na tabela 4.

Tabela 4 - Análise de fertilidade química coletado da camada de 0-20 cm do solo argiloso.

pH	MO	Presina	Al ³⁺	H+Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
CaCl ₂	g dm ⁻³	mg dm ⁻³	-----mmolc dm ⁻³ -----							%	-----mg dm ⁻³ -----					
5,3	6	0	-	36	0,2	2	1	3	39	8	-	0,14	0,5	6	0,2	0,2

MO Matéria orgânica; SB Soma de Base; CTC Capacidade de Troca de Cátion; V Saturação por Al.

Foi adotado o delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2 x 3. Sendo na presença e ausência da inoculação de *Bacillus aryabhattai*. Foram usados três níveis de Capacidades de Água Disponível (CAD): 40-50%; 60-70% e 80-90%. Deste modo, o experimento foi constituído de 6 tratamentos com 10 repetições, totalizando 60 unidades experimentais.

O cálculo da CAD foi realizado utilizando como referência o método gravimétrico (KLAR *et al.*, 1966). Para isso, antes do início do experimento, cada vaso preenchido com terra seca foi pesado e a massa do conjunto vaso + terra seca foi anotada e nomeada como Massa do Vaso com 0% de retenção de água (MV_{0% de retenção}). Posteriormente, os vasos foram irrigados até se observar o início da percolação, onde ficaram em repouso até que toda a água gravitacional fosse perdida.

Em seguida, os vasos irrigados (recipiente + terra + água) foram pesados e sua massa anotada para ser usada como Massa dos Vasos na capacidade máxima de retenção de água (MV_{100% de retenção}). A partir dos dados obtidos, foi calculado o conteúdo de água no solo (CAS), em porcentagem, por meio da fórmula (CAS = (MV_{tratamento} - MV_{0% de retenção})/(MV_{100% de retenção} - MV_{0% de retenção})*100) conforme Varone *et al.*, (2012).

Em seguida os vasos com o micro tomateiro foram separados em dois grupos, um inoculado com 3x10⁸ UFC (Unidade de formação de colônias) de *Bacillus aryabhattai* cada e outro não. Os tratamentos de deficiência hídrica foram aplicados após a estabilidade da cultura, padronizados as CADs conforme o

tratamento, em que os vasos foram pesados todos os dias para obtenção da Massa dos Vasos de cada tratamento ($MV_{\text{tratamento}}$). Quando os tratamentos atingiram seus respectivos níveis de CADs, próximo ao início do florescimento foi realizado a coleta dos parâmetros bioquímicos, de trocas gasosas e parâmetros de fluorescência da clorofila *a*. No final do ciclo, as coletas biométricas e de qualidade do fruto.

2.3 Variáveis analisadas

2.3.1 Parâmetros de trocas gasosas

Foram determinadas as seguintes taxas: assimilação líquida do CO_2 (A), condutância estomática (g_s), concentração interna de CO_2 na folha (C_i), taxa de transpiração (E), temperatura da folha e déficit de pressão de vapor (VPDL), com analisador de gases a infravermelho (IRGA) (LI-COR Biosciences Inc., LI-6400xt, Lincoln, NE, EUA). As medições foram realizadas entre o período das 08:00 e 11:00 horas da manhã. A eficiência do uso da água (EUA) foi calculada pela razão A/E e a eficiência de carboxilação (EC) pela razão A/C_i . Essas leituras foram realizadas no trifólio central da terceira folha completamente expandida no sentido ápice-base.

2.3.2 Parâmetros de fluorescência da clorofila *a*

Foi determinado utilizando a mesma área da folha e no horário em que foram realizadas as leituras das trocas gasosas, com auxílio de fluorômetro acoplado ao IRGA. Obtendo a medida da fluorescência máxima (F_m'), a fluorescência no estado de equilíbrio dinâmico (F') e a fluorescência mínima (F_0'), permitindo o cálculo dos seguintes critérios: eficiência fotoquímica máxima do fotossistema II (PSII) (F_v/F_m), rendimento quântico potencial do PSII (F_v'/F_m'), coeficiente de extinção fotoquímico (qP), coeficiente de extinção não-fotoquímico (nPQ) e taxa aparente de transporte de elétrons (ETR).

2.3.3 Análises bioquímicas

2.3.3.1 Pigmentos fotossintéticos

Com base na metodologia de Lichtenthaler (1987), foi determinado os teores de clorofila *a*, clorofila *b* e clorofila total, a partir da coleta da terceira folha no sentido ápice-base de 5 plantas por tratamento.

2.3.3.2 Determinação da atividade enzimática

A partir dos extratos processados foram realizadas a concentração proteica e atividades enzimáticas, superóxido dismutase (SOD-EC 1.15.1.1) em tampão fosfato de potássio 0,1 M em pH 7,8 e determinada de acordo com Giannopolitis e Ries (1977) com medida realizada em espectrofotômetro a 560 nm. Já a concentração de proteínas solúveis presentes nas amostras foi determinada de acordo método proposto Bradford, (1976).

Por fim, a atividade Peroxidase (POD – EC 1.11.1.7) foi determinada empregando a técnica descrita por Teisseire, (2000), com leitura em espectrofotômetro a 505 nm.

2.3.3.3 Determinação de parâmetros relacionados ao metabolismo oxidativo

A partir da metodologia descrita em Alexieva *et al*, (2001), o teor de peróxido de hidrogênio (H₂O₂) com leitura em 390 nm e malondialdeído (MDA) com leituras realizadas em absorbâncias de 535 e 600 nm.

2.3.4 Variáveis biométricas e qualidade do fruto

Foram avaliados comprimento de raiz (mm), peso de massa fresca (g) e peso da massa seca (g) da raiz. Além da Fitomassa vegetal da parte aérea (FMVPA) e Fitomassa seca da parte aérea (FMSPA) em gramas.

Por meio da metodologia de Watson, (1947) foi determinado o índice de área foliar (IAF) foi realizada por meio da coleta de todas as folhas das plantas e analisado em integrador de área foliar de bancada (LICOR, modelo LI-3100C, Lincoln, NE, EUA).

As características nos frutos avaliadas foram: número de frutos, comprimento e largura do fruto (cm), sólidos solúveis totais (SST), acidez total titulável (ATT) e relação SST/ATT (IAL, 2008).

2.3.5 Macro e micronutrientes

Os teores de N, P, K, Ca, S, Mg, Cu, Fe, Mn, e Zn foram determinados nas folhas em Espectrômetro de massa com plasma indutivamente acoplado (ICP-MS).

2.4 Análises estatísticas

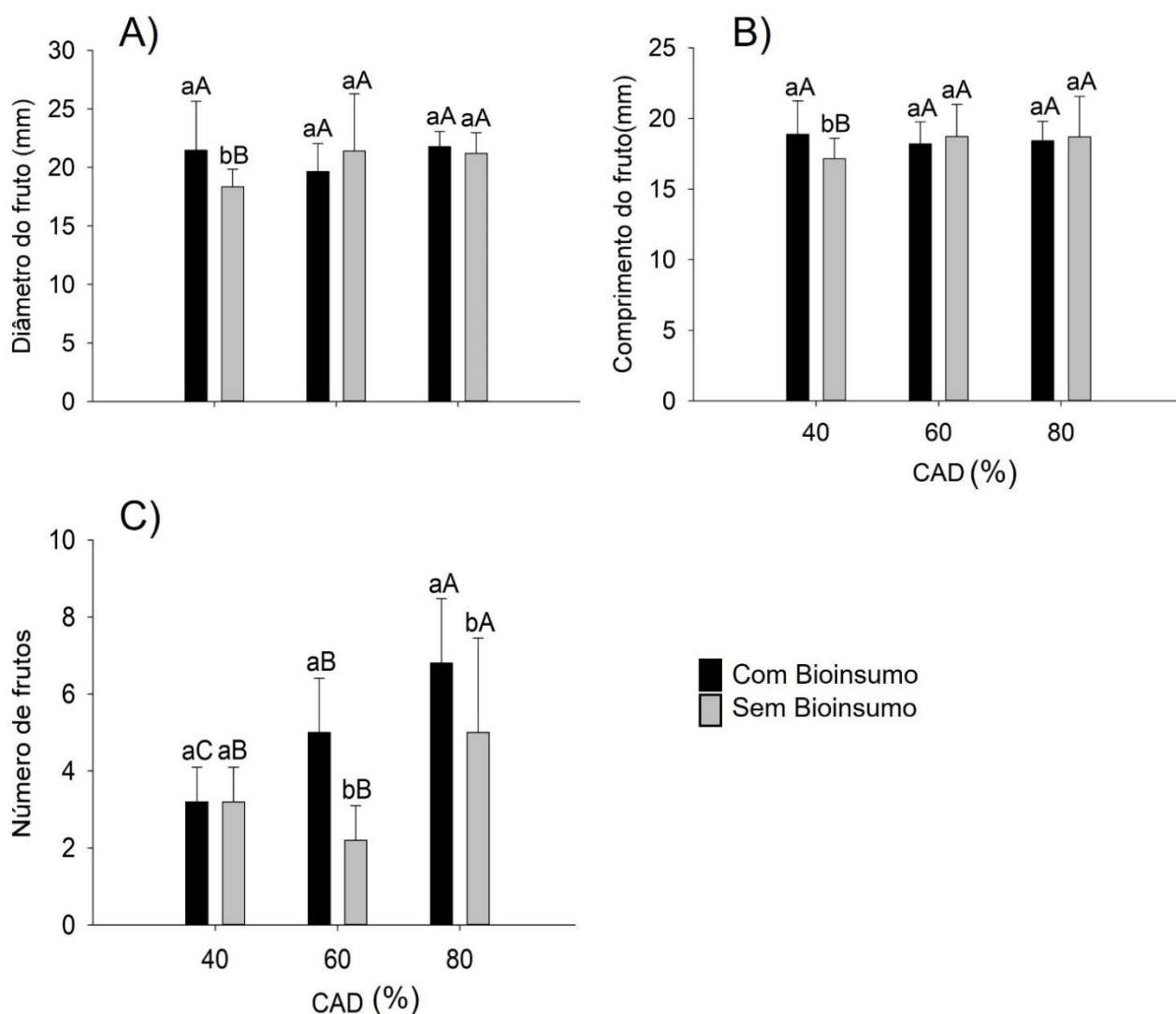
Em todos os conjuntos de dados obtidos, foram analisadas estatísticas de média, desvio padrão e Método de Tukey, tendo seus níveis de significância em 0,05 de probabilidade de erro através do teste F utilizando-se o *software AgroEstat*. Para a confecção dos gráficos foi utilizado o *software Sigmaplot*.

RESULTADOS

Na análise pós-colheita observa-se que o diâmetro do fruto (Figura 17A), na CAD 40, as plantas com bioinsumo apresentaram diferença 17% em comparação com as sem. Esse mesmo comportamento foi interpretado com o comprimento do fruto (Figura 17B), em que apresentou diferença de 10%.

Com relação ao número de frutos (Figura 17C), evidencia valores superiores para com bioinsumo na CAD 60 e 80, com diferença com as sem de 127% e 36%.

Figura 17 - Diâmetro do Fruto (A), comprimento do fruto (B), número de frutos (C).

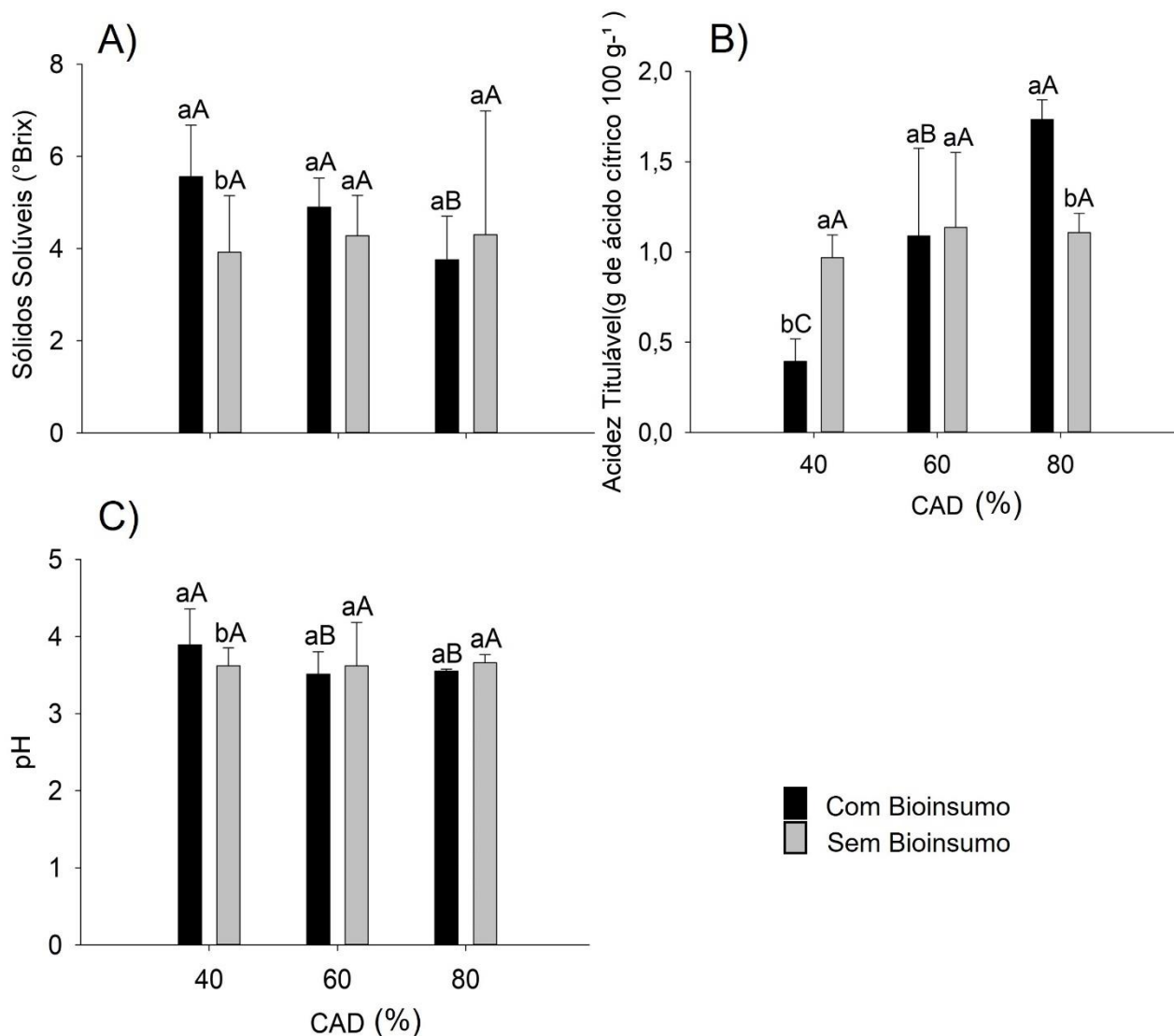


Fonte: O autor (2024).

Médias com letras iguais maiúsculas não diferem entre si na comparação entre as CADs dentro da inoculação ou não do bioinsumo, e médias com letras iguais minúsculas não diferem entre si na comparação entre a inoculação de bioinsumo dentro dos manejos de CADs. Letras diferentes indicam diferença entre as médias de acordo com o teste de Tukey ($p < 0,05$).

Em relação aos sólidos solúveis (Figura 18A) a CAD 40 e 60 com bioinsumo apresenta uma maior concentração em relação às plantas sem, em 37% e 14%. No caso da acidez titulável (Figura 18B), nas CAD 40 e 60, os micro-tom sem bioinsumo apresentaram valores superiores de acidez com diferença de 146% e 4% respectivamente.

O pH (Figura 18) na CAD 40 das plantas sem bioinsumo, apresentou 8% maior em comparação com as plantas com bioinsumo.

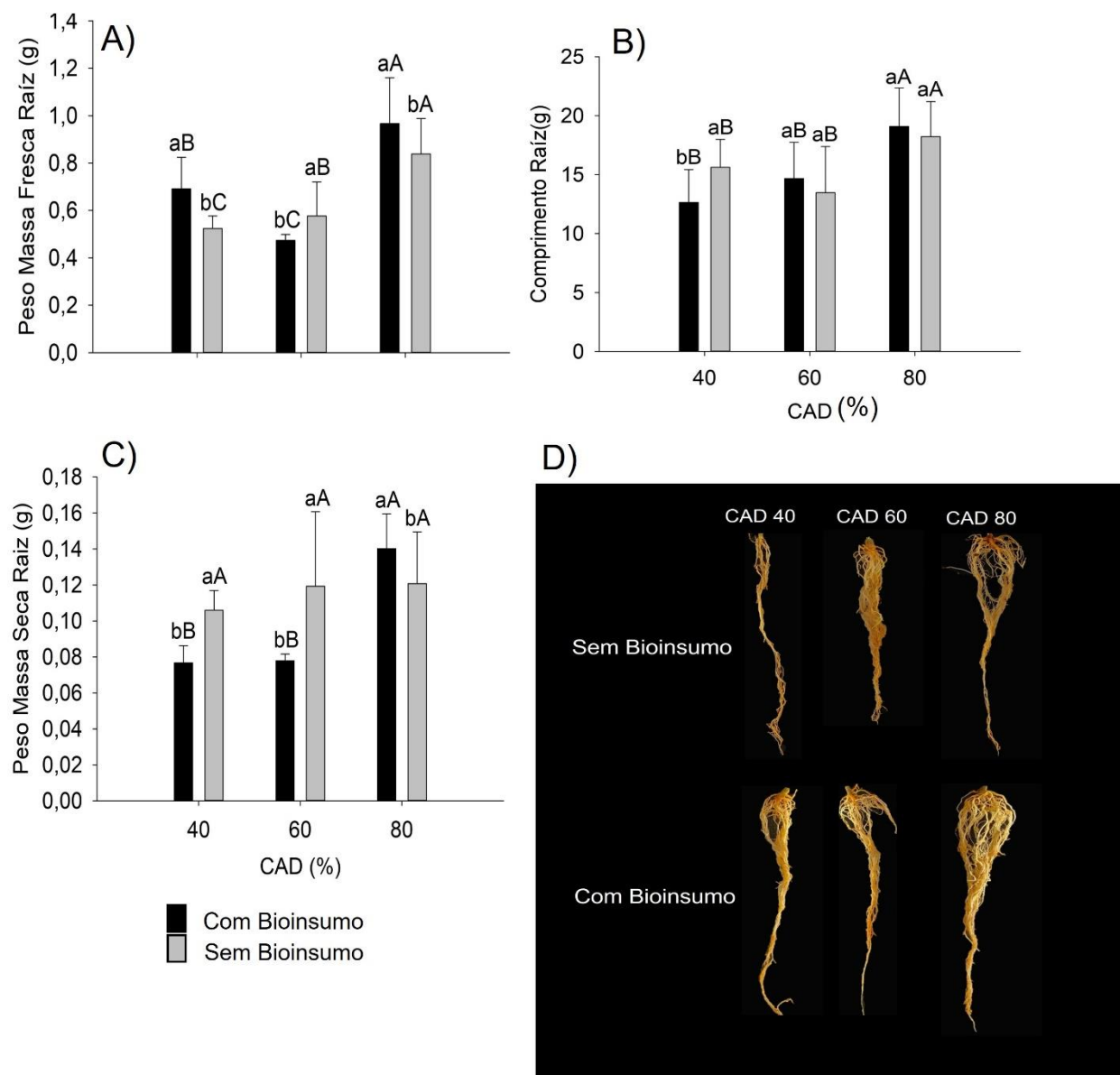
Figura 18 - Sólidos Solúveis (A), acidez titulável (B), pH (C).

Fonte: O autor (2024).

Médias com letras iguais maiúsculas não diferem entre si na comparação entre as CADs dentro da inoculação ou não do bioinsumo, e médias com letras iguais minúsculas não diferem entre si na comparação entre a inoculação de bioinsumo dentro dos manejos de CADs. Letras diferentes indicam diferença entre as médias de acordo com o teste de Tukey ($p < 0,05$).

O peso da massa fresca raiz evidencia um maior volume mesmo na condição de déficit mais restrito, como a CAD 40, com diferença das plantas inoculadas para as sem de 32%, porém o seu volume seco foi menor 54% em relação as não inoculadas (Figura 19A e C). No caso do comprimento de raiz, o comprimento para as plantas inoculadas foi menor com diferença de 24% na CAD 40 (Figura 19 B e D).

Figura 19 – Peso massa fresca raiz(A), comprimento raiz (B), peso massa seca raiz(C), raízes frescas (D).

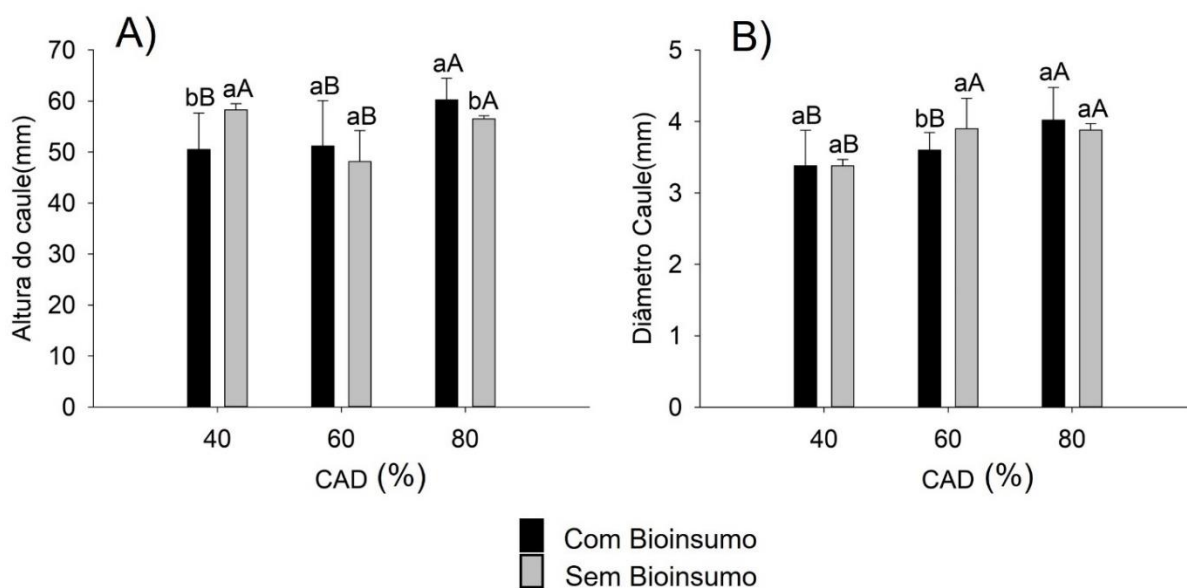


Fonte: O autor (2024).

Médias com letras iguais maiúsculas não diferem entre si na comparação entre as CADs dentro da inoculação ou não do bioinsumo, e médias com letras iguais minúsculas não diferem entre si na comparação entre a inoculação de bioinsumo dentro dos manejos de CADs. Letras diferentes indicam diferença entre as médias de acordo com o teste de Tukey ($p < 0,05$).

A altura do caule (Figura A) das plantas sem bioinsumo apresentaram melhor resposta na CAD 40 com diferença de 15%. No entanto, as com bioinsumo mostraram 7% maior altura na CAD 80. Em relação ao diâmetro do caule observa-se o micro tomateiro sem inoculação 8% maior em comparação com os inoculados.

Figura 20 - Altura do caule (A) e diâmetro do caule (B).



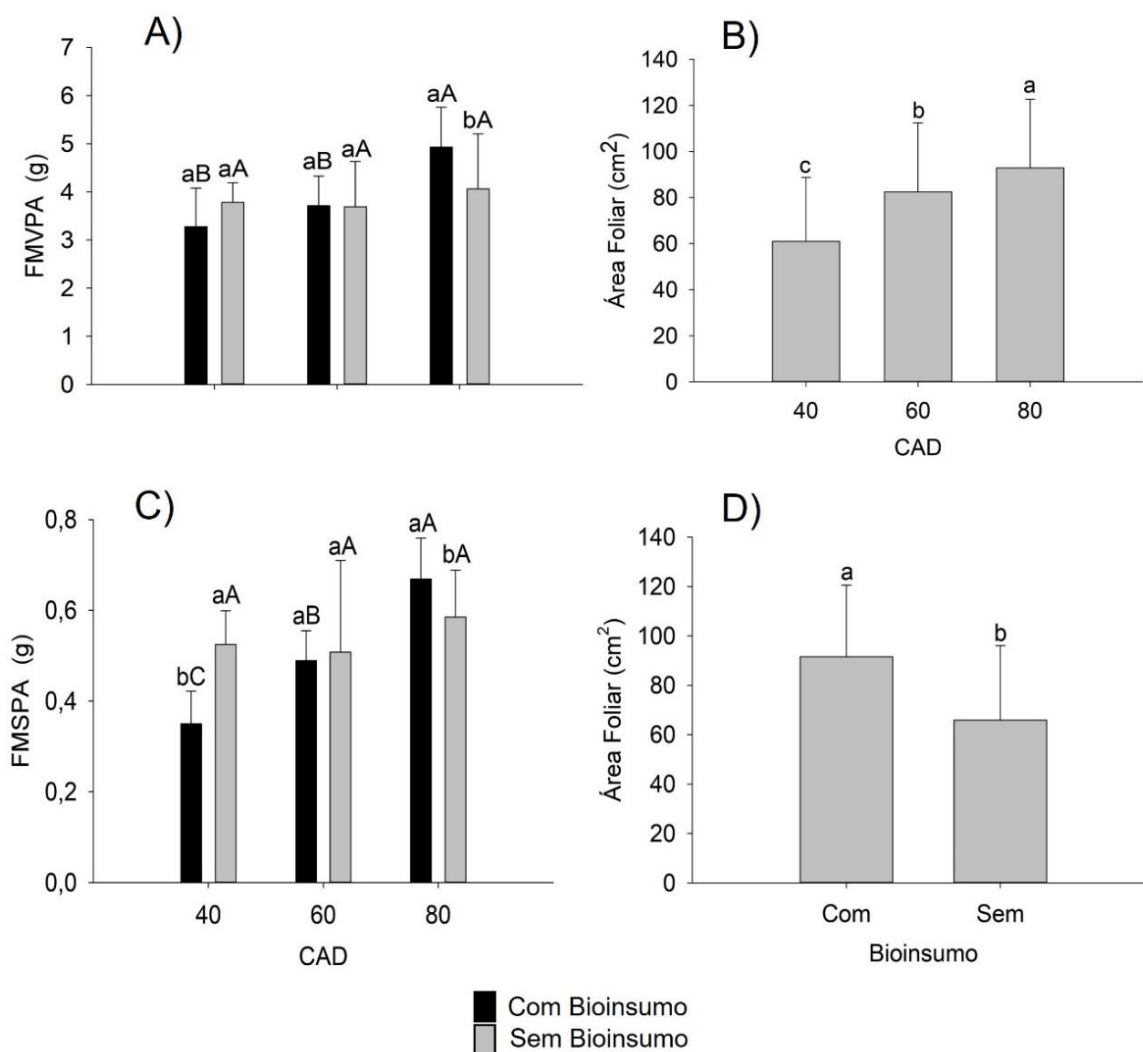
Fonte: O autor (2024).

Médias com letras iguais maiúsculas não diferem entre si na comparação entre as CADs dentro da inoculação ou não do bioinsumo, e médias com letras iguais minúsculas não diferem entre si na comparação entre a inoculação de bioinsumo dentro dos manejos de CADs. Letras diferentes indicam diferença entre as médias de acordo com o teste de Tukey ($p < 0,05$).

Com relação à fitomassa vegetal da parte aérea (FMVPA – A) e fitomassa seca da parte aérea (FMSPA – C), melhores respostas da inoculação foram destacadas na CAD 80 com diferença de 21% e 14%. Além de ser destacado que a CAD 60 em ambas as avaliações não foram identificadas diferença entre as médias.

No caso do índice de área foliar (Figura B), observa-se maior formação na CAD 80, com diferença com as CADs 60 e 40 de 86% e 90%. Destacando ainda que as plantas com bioinsumo apresentaram valores superiores com diferença de 39% (Figura 21 D).

Figura 21 - Fitomassa vegetal da parte aérea (FMVPA – A), área foliar (B-D), Fitomassa seca da parte aérea (FMSPA – C).



Fonte: O autor (2024).

Médias com letras iguais maiúsculas não diferem entre si na comparação entre as CADs dentro da inoculação ou não do bioinsumo, e médias com letras iguais minúsculas não diferem entre si na comparação entre a inoculação de bioinsumo dentro dos manejos de CADs. Letras diferentes indicam diferença entre as médias de acordo com o teste de Tukey ($p < 0,05$).

O Nitrogênio (Figura 22A) as CADs 40 e 80 apresentaram maior concentração deste mineral para as plantas com bioinsumo, com diferença das sem respectivamente de 94% e 17%. Já o potássio (Figura 22B) as maiores concentrações ocorrem na CAD 40 e 60 nas sem bioinsumos com valores superiores as com, de 12% e 11%.

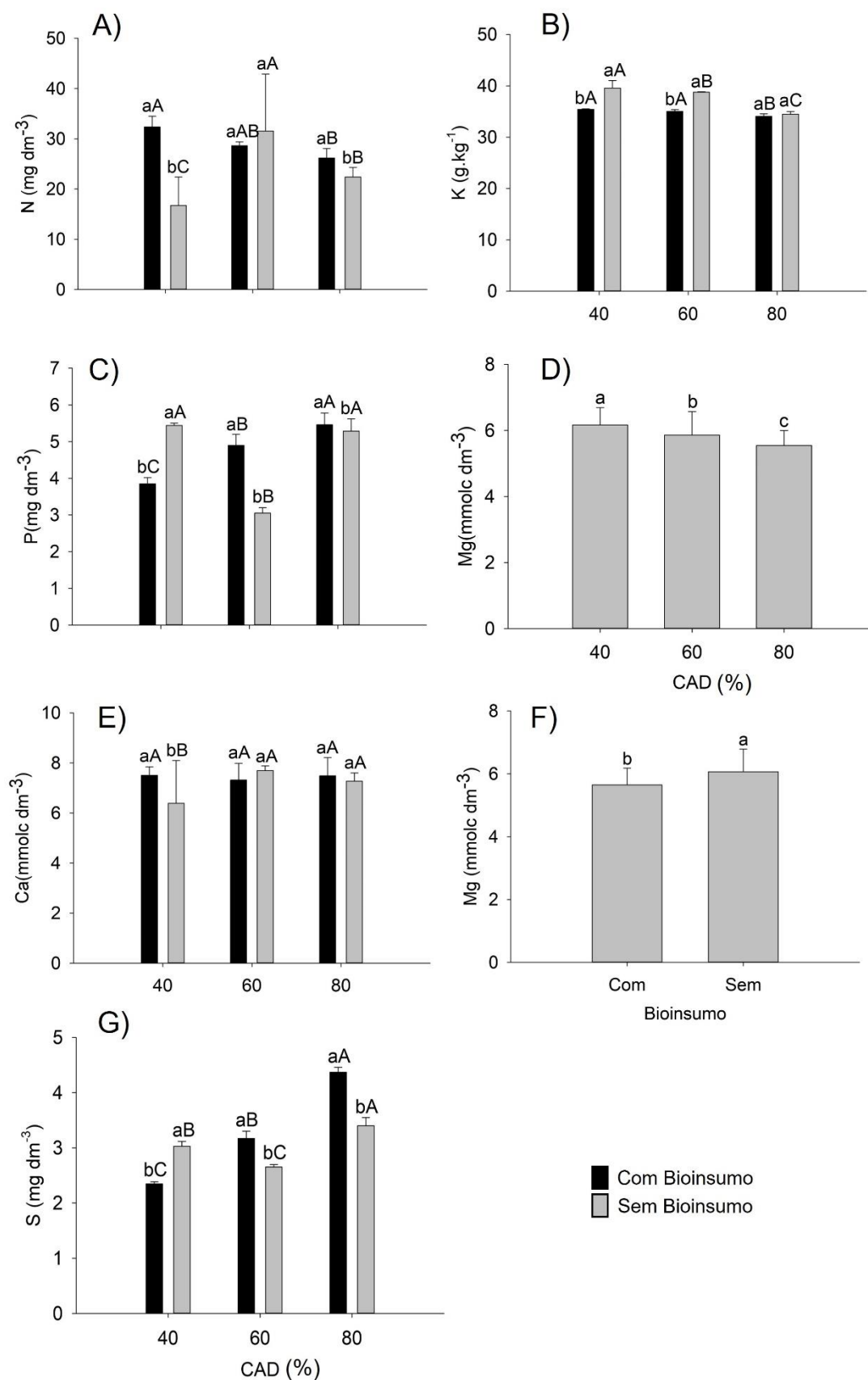
Para o macronutriente fósforo (Figura 22C), a CAD 40 tem maior concentração no micro-tom sem bioinsumo com diferença de 41%. No entanto, a CAD 60 e 80 apresentam as com bioinsumo com 60% e 3% maior teor.

O Magnésio (Figura 22 D e F) demonstra-se maior concentração na CAD 40 com diferença com a 60 e 80 de 5% e 11%. Assegurando ainda a concentração superior nas plantas sem bioinsumo com diferença de 7%.

O cálcio (Figura 22E) apresentou 17% de concentração maior na CAD 40 para as plantas com bioinsumos.

O enxofre (Figura 22G), nas plantas com bioinsumo apresentaram maior concentração deste mineral nas CADs 60 e 80, com diferença de 20% e 29% das sem bioinsumo.

Figura 22 - Nitrogênio (N – A), potássio (K – B), fósforo (P – C), magnésio (Mg – D- F) e cálcio (Ca – E), Enxofre (S - G).



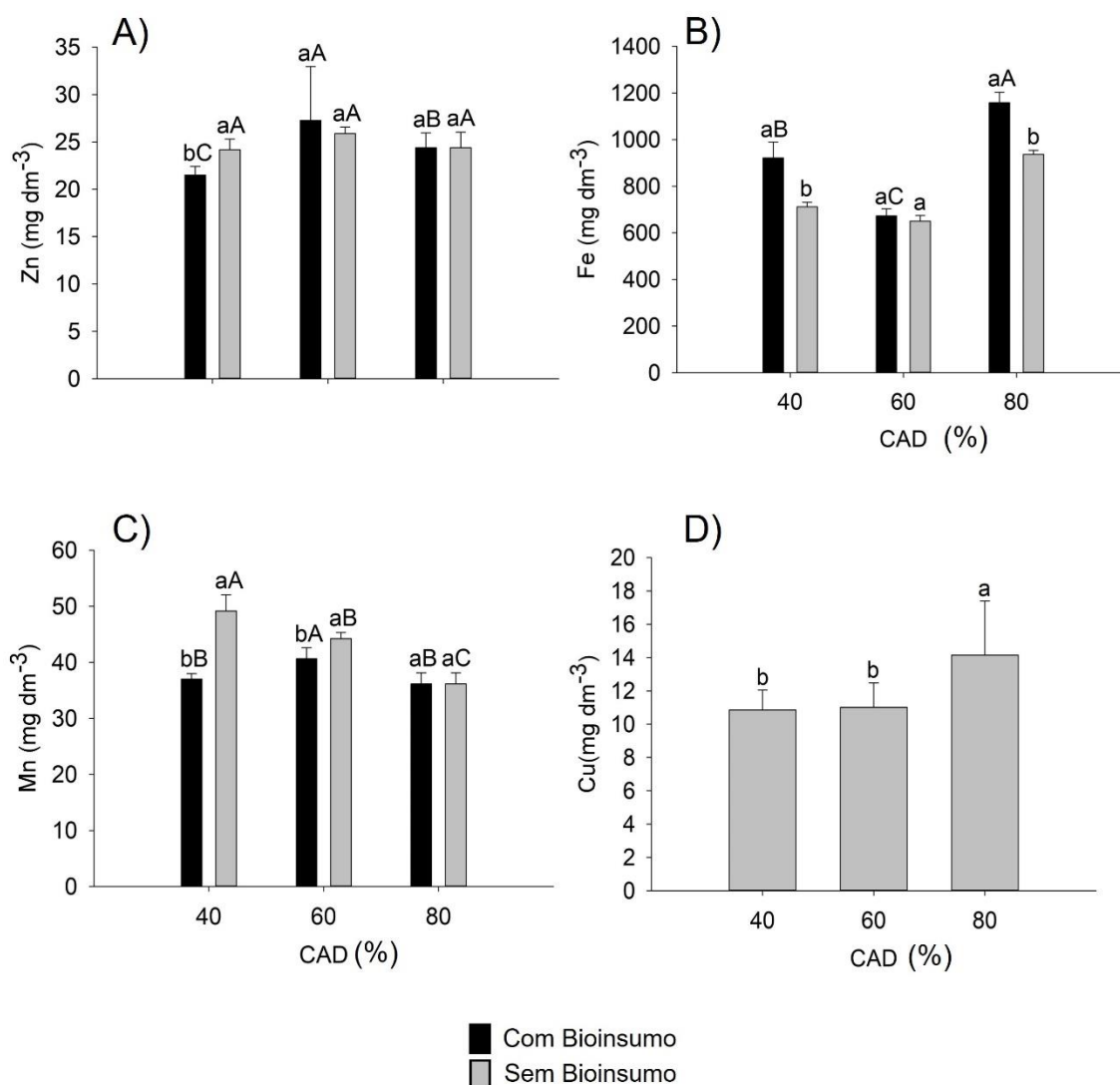
Fonte: O autor (2024).

Médias com letras iguais maiúsculas não diferem entre si na comparação entre as CADs dentro da inoculação ou não do bioinsumo, e médias com letras iguais minúsculas não diferem entre si na comparação entre a inoculação de bioinsumo dentro dos manejos de CADs. Letras diferentes indicam diferença entre as médias de acordo com o teste de Tukey ($p < 0,05$).

O zinco (Figura 23A) apenas apresentou diferença na CAD 40, com maior representação para as plantas sem inoculação, 12% maior. O ferro (Figura 23B), nas CADs 40 e 80 apresentam maior concentração para o micro-tom com bioinsumo, com diferença de 29% e 24%. Já o cobre apresentou apenas maior concentração na CAD 80 (figura 23D).

O manganês foi obtido 33% de teor maior nas plantas sem bioinsumo na CAD 40 (figura 23C).

Figura 23 - Ferro (Fe – B). cobre (B - B), manganês (Mn – C), zinco (Zn – D).



Fonte: O autor (2024).

Médias com letras iguais maiúsculas não diferem entre si na comparação entre as CADs dentro da inoculação ou não do bioinsumo, e médias com letras iguais minúsculas não diferem entre si na comparação entre a inoculação de bioinsumo dentro dos manejos de CADs. Letras diferentes indicam diferença entre as médias de acordo com o teste de Tukey ($p < 0,05$).

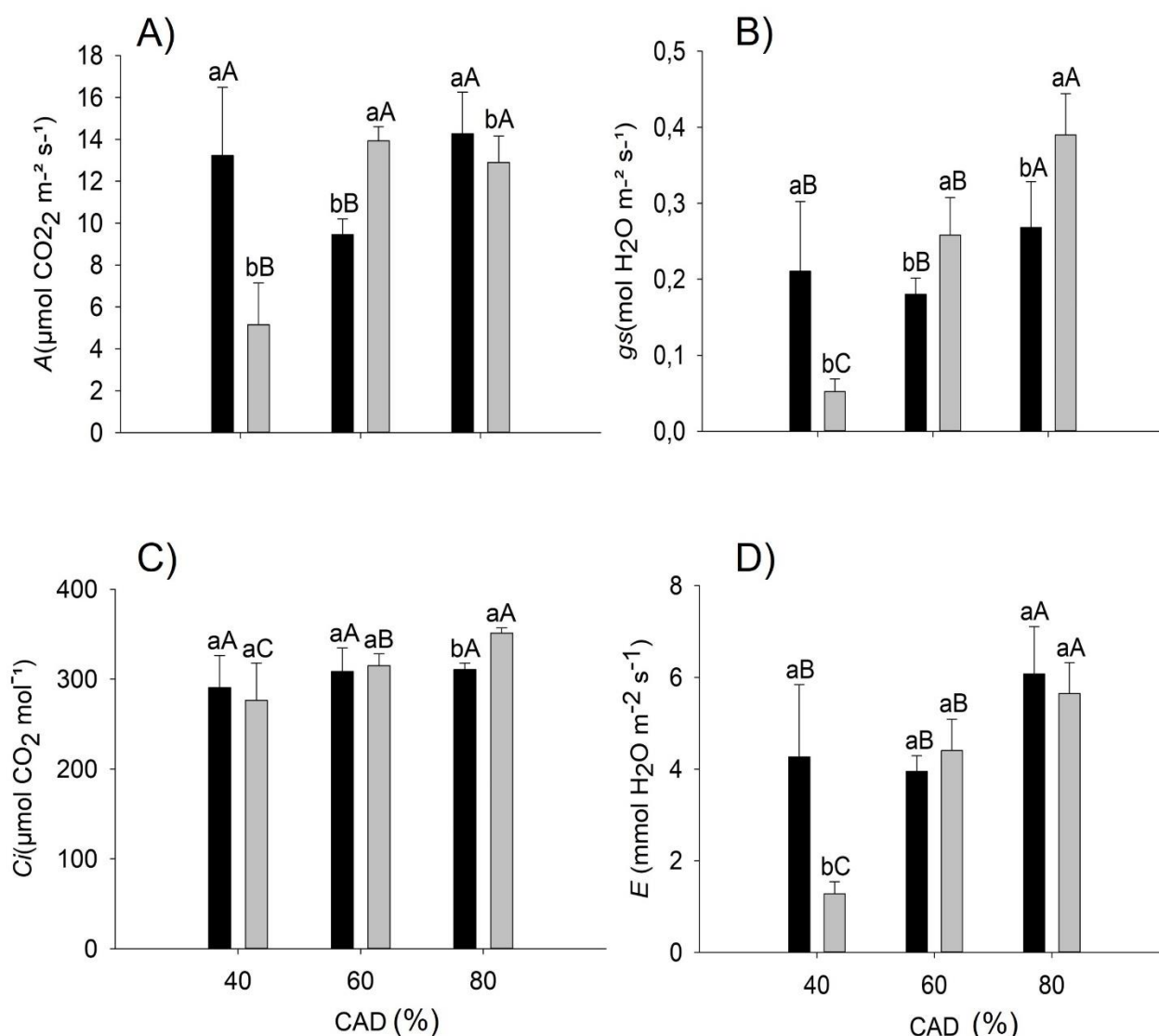
A taxa de assimilação líquida de CO₂ (A) (Figura 24A) nas plantas inoculadas foram maiores nas CADs 40 e 80, com diferença de 157% e 11% das sem bioinsumo. Já a condutância estomática (gs) (Figura 24B) as plantas sem bioinsumo apresentaram nas CADs 60 e 80 valores de 43% e 45% maior do que as com bioinsumo. No entanto, as com bioinsumo apresentaram diferença na CAD 40

de 303% em comparação com as sem.

Para a concentração interna de CO_2 na folha (C_i) (Figura 24C), na CAD 80 as plantas sem inoculação apresentaram 13% maior que as com.

As taxas de transpiração (E) (Figura 24D), foi observado que o microtomateiro inoculado apresentou maiores valores nas CADs 40 e 80, com diferença de 233% e 8%, já a CAD 60 as sem bioinsumo obtiveram 11% a mais que as com.

Figura 24 - Taxa de assimilação líquida de CO_2 (A - A), condutância estomática (g_s - B), concentração interna de CO_2 na folha (C_i - C) e taxa de transpiração (E - D).



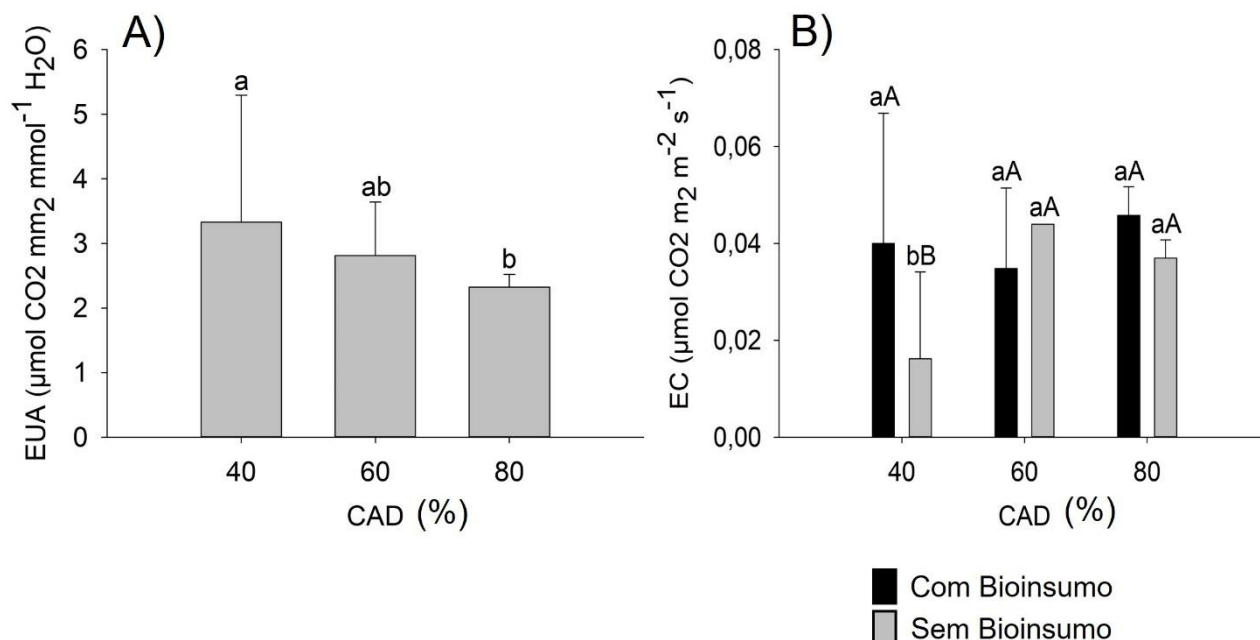
Fonte: O autor (2023).

Médias com letras iguais maiúsculas não diferem entre si na comparação entre as CADs dentro da inoculação ou não do bioinsumo, e médias com letras iguais minúsculas não diferem entre si na comparação entre a inoculação de bioinsumo dentro dos manejos de CADs. Letras diferentes indicam diferença entre as médias de acordo com o teste de Tukey ($p < 0,05$).

A CAD 40 obteve maior eficiência do uso da água (EUA) (Figura 25A). No entanto, a eficiência de carboxilação (EC) foi maior na CAD 40 e 80 nas plantas inoculadas, com diferença de 147% e 24%, já na de 60 as sem inoculação obtiveram

26% a mais que as com.

Figura 25 - Eficiência do uso da água (EUA – A) e eficiência de carboxilação (EC – B).



Fonte: O autor (2024).

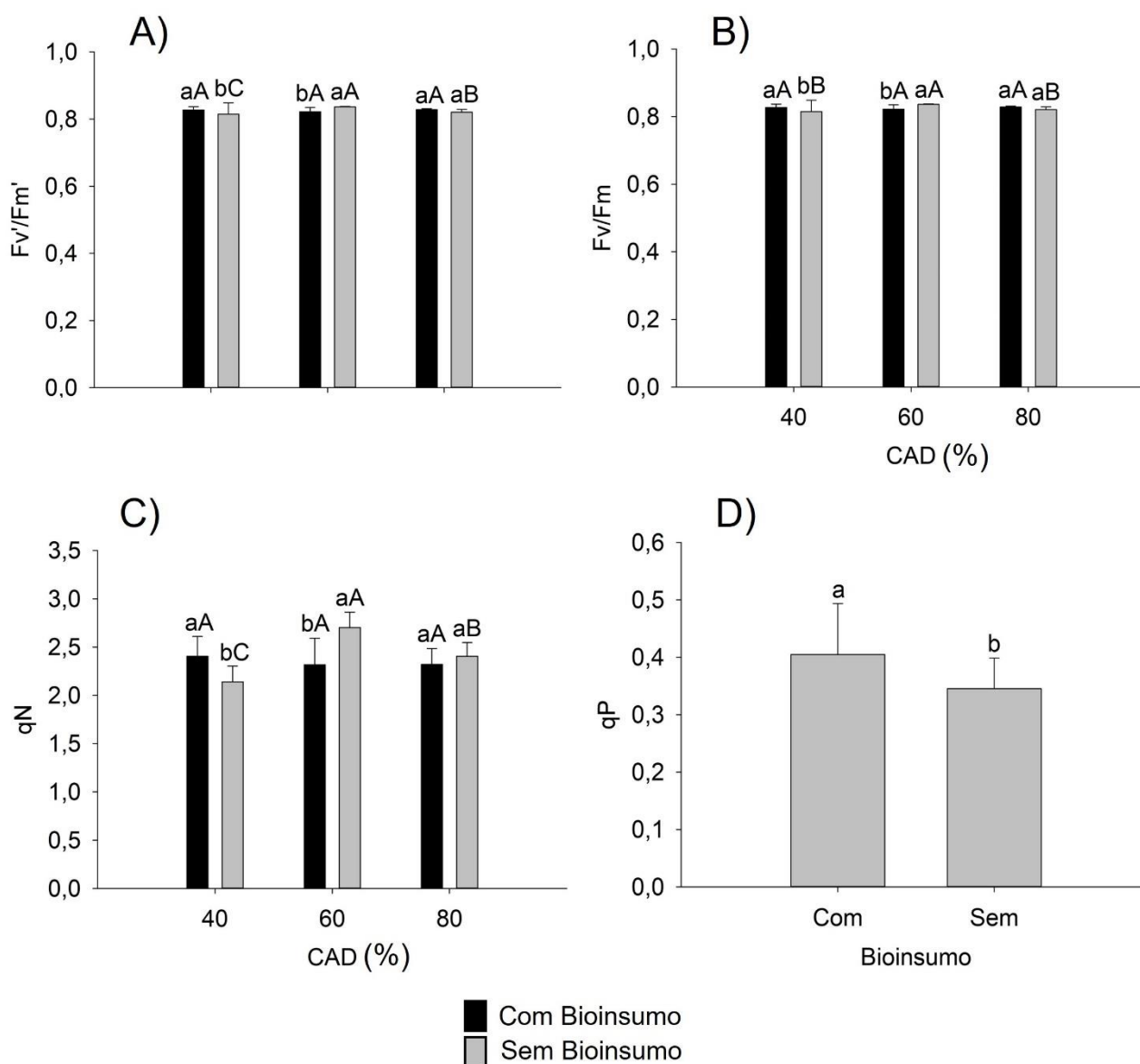
Médias com letras iguais maiúsculas não diferem entre si na comparação entre as CADs dentro da inoculação ou não do bioinsumo, e médias com letras iguais minúsculas não diferem entre si na comparação entre a inoculação de bioinsumo dentro dos manejos de CADs. Letras diferentes indicam diferença entre as médias de acordo com o teste de Tukey ($p < 0,05$).

Na análise do rendimento quântico potencial do fotossistemas II (F_v'/F_m'), na CAD 40, as plantas com bioinsumo apresentaram rendimento de 10% maior que as sem. No entanto, as sem bioinsumo apresentaram 12% maior que as com na CAD 60 (Figura 26A).

O coeficiente de extinção não fotoquímico (q_N), na CAD 40 o microtomateiro inoculado mostrou uma diferença maior de 12% em relação as sem inoculação, porém, na CAD 60 obteve uma diferença de 17% a menos (Figura 26C). Já a eficiência fotoquímica máxima do fotossistemas II (F_v/F_m), plantas com bioinsumo obtiveram maior valor na CAD 40 com diferença de apenas 1% e menor comparada com as sem na CAD 60, com diferença de 2% (Figura 26B).

O coeficiente de extinção fotoquímico (q_P) mostrou-se maior atividade nas plantas inoculadas, com diferença de 17% em relação as sem.

Figura 26 - Rendimento quântico potencial do fotossistemas II (F_v'/F_m' – A), coeficiente de extinção não fotoquímico (q_N – C e D), eficiência fotoquímica máxima do fotossistemas II (F_v/F_m - E), coeficiente de extinção fotoquímico (q_P - F).



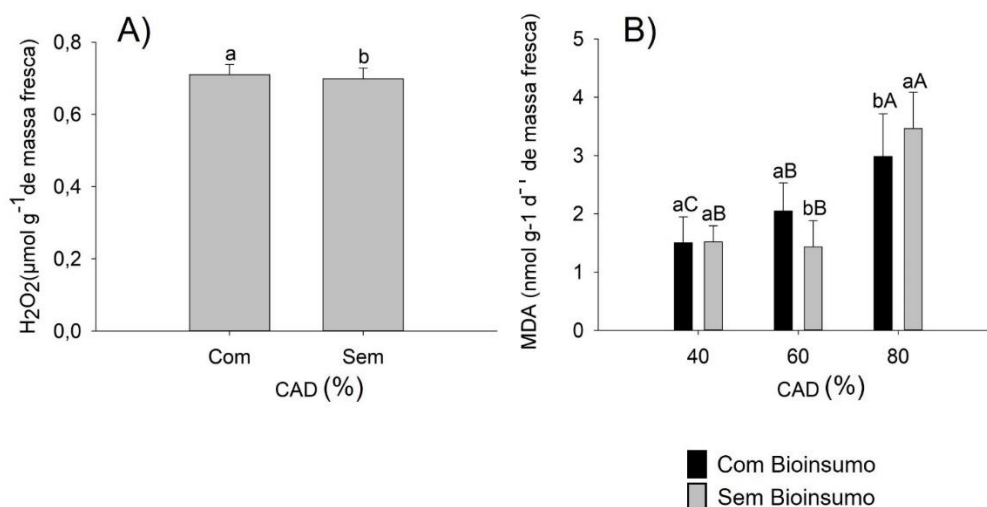
Fonte: O autor (2024).

Médias com letras iguais maiúsculas não diferem entre si na comparação entre as CADs dentro da inoculação ou não do bioinsumo, e médias com letras iguais minúsculas não diferem entre si na comparação entre a inoculação de bioinsumo dentro dos manejos de CADs. Letras diferentes indicam diferença entre as médias de acordo com o teste de Tukey ($p < 0,05$).

O peróxido de hidrogênio (Figura 27A) apresentou-se 2% a mais de produção desta enzima nas plantas com bioinsumo.

No malondialdeído (Figura 27B), verifica-se que para ambos os tratamentos na CAD 40, não apresentou diferença. No entanto, a CAD 80 sem bioinsumo apresentou maior teor, com diferença de 16%, já as plantas com bioinsumo na CAD 60, apresentaram 43% maior o teor comparado com as sem.

Figura 27 - Teores de peróxido de hidrogênio (H₂O₂ - A) e malondialdeído (MDA - B) submetido a diferentes CADs e na presença ou ausência da *Bacillus aryabhattai*.



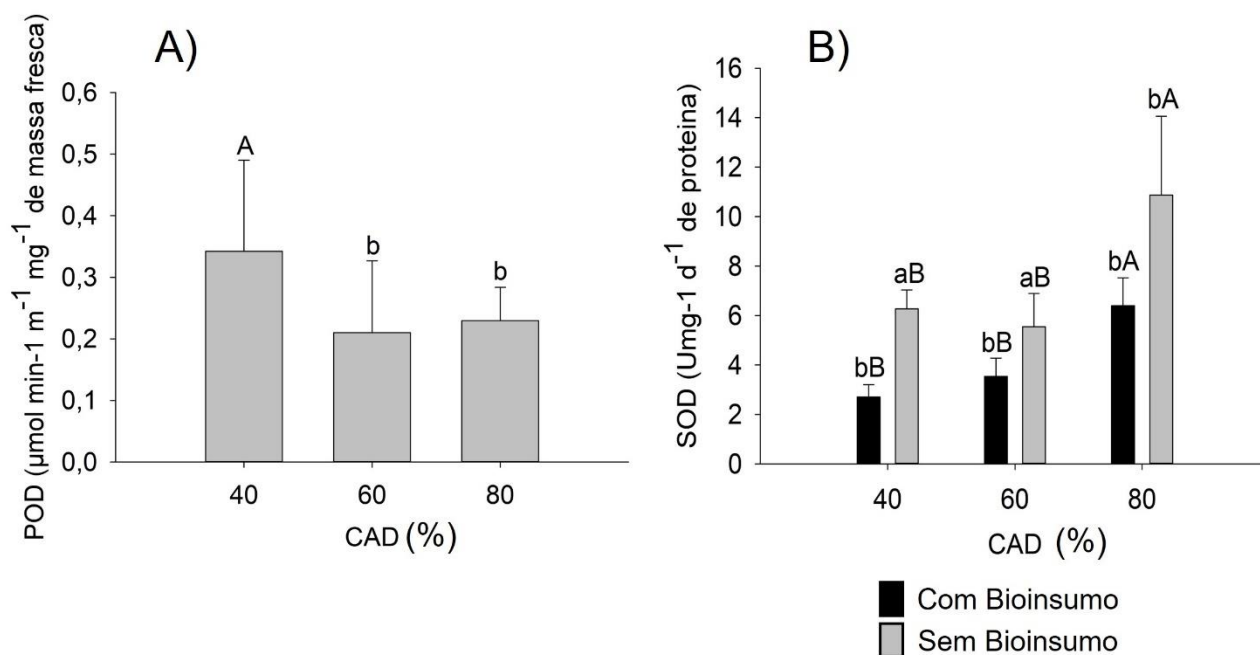
Fonte: O autor (2024).

Médias com letras iguais maiúsculas não diferem entre si na comparação entre as CADs dentro da inoculação ou não do bioinsumo, e médias com letras iguais minúsculas não diferem entre si na comparação entre a inoculação de bioinsumo dentro dos manejos de CADs. Letras diferentes indicam diferença entre as médias de acordo com o teste de Tukey ($p < 0,05$).

O comportamento do metabolismo enzimático das plantas de micro-tom para a peroxidase (Figura 28A) evidência-se maior concentração na CAD 40, com diferença de 36% na de 60 e 30% na de 80.

Na atuação da superóxido dismutase (Figura 28B), observa-se maior atividade nas plantas sem bioinsumo, com diferença das com, na CAD 40 de 133%, na de 60 com 57% e na de 80 com 70%.

Figura 28 - Atividade das enzimas peroxidase (POD – A) e superóxido dismutase (SOD - B) submetido a diferentes CADs e na presença ou ausência da *Bacillus aryabhattai*.

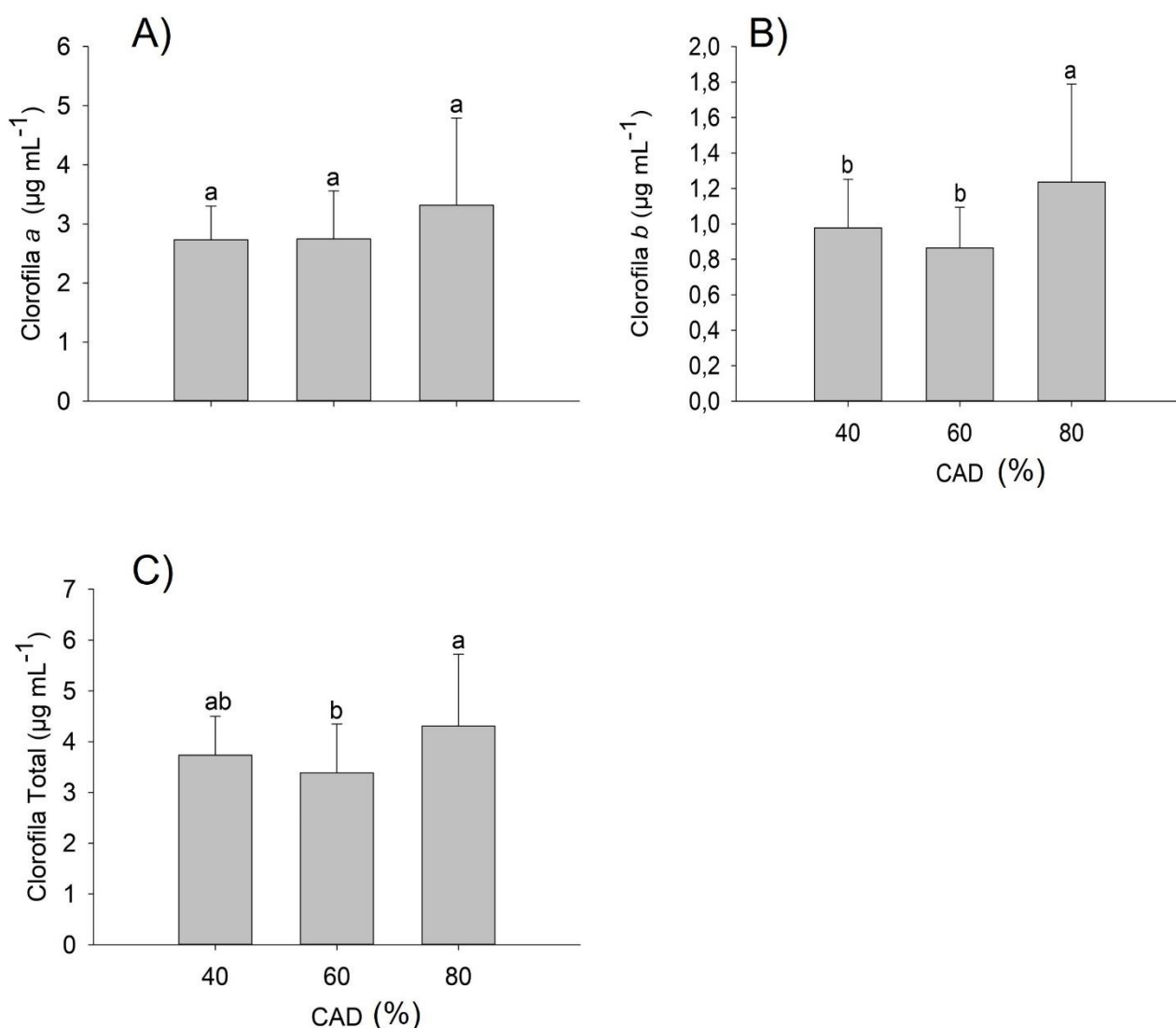


Fonte: O autor (2024).

Médias com letras iguais maiúsculas não diferem entre si na comparação entre as CADs dentro da inoculação ou não do bioinsumo, e médias com letras iguais minúsculas não diferem entre si na comparação entre a inoculação de bioinsumo dentro dos manejos de CADs. Letras diferentes indicam diferença entre as médias de acordo com o teste de Tukey ($p < 0,05$).

A clorofila *a* (Figura 29A), não apresentou diferença entre as CADs. A clorofila *b* (Figura 29B) apresentou maior teor na CAD 80, com diferença da de 60 e 40 de 43% e 26%. A clorofila total observou também a CAD 80 com maior teor, com diferença da de 60 e 40 de 27% e 15%.

Figura 29 - Teores de clorofila a (A), clorofila b (B) e clorofila total (C) em plantas de tomate cultivar micro-tom com e sem bioinsumo, submetidos às CADs 40, 60 e 80.



Fonte: O autor (2024).

Médias com letras iguais maiúsculas não diferem entre si na comparação entre as CADs dentro da inoculação ou não do bioinsumo, e médias com letras iguais minúsculas não diferem entre si na comparação entre a inoculação de bioinsumo dentro dos manejos de CADs. Letras diferentes indicam diferença entre as médias de acordo com o teste de Tukey ($p < 0,05$).

DISCUSSÃO

A seca desenvolve alterações morfológicas, fisiológicas e bioquímicas nas plantas, afetando negativamente tanto no crescimento como na produtividade (TOSCANO; ROMANO, 2021). A introdução de BPCP faz com que melhore o desempenho das plantas expostas a estresses ambientais, como o déficit hídrico, auxiliando no crescimento, na absorção de nutrientes e água, na fotossíntese, além dos sistemas antioxidantes (FLORES-DUARTE *et al.*, 2023). Neste estudo, o *B. aryabhattai* reduziu os efeitos negativos do déficit hídrico e aumentou o volume de biomassa, além de aumento da área foliar com a inoculação (Figura 21).

Outros estudos evidenciam ainda que esses microorganismos podem aumentar a biomassa da planta (peso fresco e seco de raízes) sob estresse hídrico como o trabalho de Bavaresco *et al.*, (2020) com *Bacillus subtilis*. Promovendo o crescimento dos sistemas radiculares e rebentos das plantas, equilibrando os níveis de hormônios vegetais, como auxinas (AX), citocininas (CK), giberelinas (GA) e ácido abscísico (ABA), ajudando assim as plantas a resistir à escassez hídrica (Aslam *et al.*, 2022; Bhardwaj, *et al.*, 2023). Constatando que os resultados radiculares (Figura 19), evidenciaram esta afirmação, com maior volume na CAD 40 em plantas inoculadas. Como também, estas plantas exibiram zonas de ramificação e crescimento de raízes primárias com menor crescimento expostos nesta CAD, podendo verificar esse efeito visualmente na (Figura 19D). De forma que, o microtomateiro não necessitou desenvolver as respostas adaptativas que permitem às plantas procurar água e nutrientes nas profundezas do solo, como salientaram Plett *et al.*, (2020), destacando o comportamento das plantas que envolve a necessidade da busca por água e nutrientes.

Considerando que os resultados deste trabalho evidenciaram que o uso desta BPCP para os parâmetros biométricos tem um impacto positivo, no comprimento e diâmetro dos frutos (Figura 17), como destacado no trabalho Katsenios *et al.*, (2021) com benefícios no fruto e no trabalho de Balderas-Ruíz *et al.*, (2021) com efeitos de produtividade com o maior número de frutos, como observado neste trabalho.

Já o teor de sólidos totais (°Brix), destacando a qualidade dos frutos, o mesmo na busca por lucro deve ser o mais alto possível, em torno de 4º a 6º (Oliveira *et al.*, 2023). Neste estudo, foram observadas condições favoráveis ao uso de bioinsumos, (Figura 5) nesta faixa, principalmente com as plantas com maior escassez de água. Bem como o pH com valores desejados na faixa inferior a 4,5 e superior a 3,7 para não ter acidez elevada, como destacado por Sousa *et al.*, (2011).

Os solos argilosos são caracterizados por suas propriedades de alta densidade e alta retenção de água, que embora benéficas em determinadas situações, também representam desafios significativos, especiais para a absorção de nutrientes devido à sua elevada capacidade de retenção de nutrientes e água (Sun *et al.*, 2020; Li *et al.*, 2022). A incorporação de microorganismos benéficos, como a bactéria *Bacillus sp.*, pode fornecer soluções para melhorar o desenvolvimento das raízes e assegurar uma melhor absorção Araujo *et al.*, (2021). Evidenciando que a inoculação no trabalho para a absorção dos macronutrientes foram representativos para a inoculação, principalmente de nitrogênio (N) e cálcio na CAD 40 (Figura 22).

No caso dos micronutrientes com processos bioquímicos e fisiológicos importantes, foi observado absorção significativo em plantas inoculadas com o bioinsumo, com destaque ao Fe, um importante mineral de influência na formação da clorofila, pela participação na fotossíntese e fixação de nitrogênio, em consequência da mudança de estados de valência dos cátions (Fe^{2+} para Fe^{3+}) destacado por Teixeira et al., (2020). Observando que os resultados apresentaram uma diferença de 29% e 24% nas CADs 40 e 80 com melhor absorção para as plantas inoculadas (Figura 23).

O crescimento e rendimento das plantas são afetados pelo déficit hídrico, uma vez que diminuem a turgescência, afeta o equilíbrio nutricional, as trocas gasosas e a regulação estomática. Considerando que o fechamento dos estômatos é um pré-requisito importante para a sobrevivência das plantas em situações de escassez de água, pois reduz a perda de água pela transpiração. Porém, a captação de CO_2 e taxa de fotossíntese também se reduz (ZHANG et al., 2019). Neste estudo, a deficiência hídrica aumentou a taxa de fotossíntese (A), condutância estomática (g_s) e a taxa de transpiração (E), (Figura 24), indicando que o bioinsumo possa ter desenvolvido uma resposta adaptativa dos estômatos que permite a entrada de mais CO_2 , limitando o fechamento dos estômatos visando melhorar a perda de água pela transpiração.

As plantas conseguem se adaptar a condições estressantes e utilizar melhor a água (Santos et al., 2020). Estudos têm demonstrado que o uso de microrganismos melhora a eficiência do uso da água (EUA) em plantas em condições de seca (Scudeletti et al., 2021). Observando no trabalho (Figura 25), que mesmo sem interação, mostra-se a CAD 40 com melhor resultado. Destacando ainda, que mesmo quando a disponibilidade de água é limitada, a planta ainda é capaz de assimilar dióxido de carbono (CO_2) de maneira eficiente, como se pode observar pela eficiência de carboxilação (EC) maior na CAD 40.

Com relação aos parâmetros de fluorescência da clorofila a , mecanismos que observam à eficiência fotossintética a proteção contra estresses. Evidenciando neste trabalho que o rendimento quântico potencial do fotossistemas II (F_v'/F_m'), coeficiente de extinção não fotoquímico (q_N) e eficiência fotoquímica máxima do fotossistemas II (F_v/F_m), de plantas inoculadas foram maiores, constatando proteção a seca (Figura 26). Como também, o coeficiente de extinção fotoquímico (q_P) está 17% maior em plantas inoculada, mostrando mecanismos adaptativos que permitem continuar realizando a fotossíntese de maneira eficiente, mesmo em condições de estresse como observado por Costa-Santos et al., (2021).

Com análise ao déficit hídrico que é um fator de estresse multidimensional

que afeta as plantas nos níveis subcelular, dos tecidos e dos órgãos. Evidencia-se que essa exposição no nicho intracelular provoca o acúmulo de espécies reativas de oxigênio (EROS), que atuam como um sinal de estresse e ativa ainda mais o sistema redox da planta (EKE *et al.* 2021). De forma que, ocorre a ativação de enzimas anti-oxidantes como respostas bioquímicas como superóxido dismutase (SOD) e Peroxidase (POD) analisadas neste estudo. Observando maior produção da SOD em todas as CADs nas plantas sem inoculação. Já a POD, não foi observado interferência, porém mostra maior produção dessas enzimas na CAD 40, evidenciando as respostas adaptativas como observado no trabalho de Ortiz *et al.* (2015).

Embora quando observa acúmulo de estresse oxidativo peróxido de hidrogênio (H₂O₂) e malondialdeído (MDA), relacionadas ao estresse oxidativo nos tecidos vegetais (HOSSAIN *et al.*, 2015), observa-se pouca variação de diferença entre plantas inoculadas ou não.

Além disso, trabalhos mostram que o estresse a seca reduz significativamente o conteúdo de pigmentos fotossintéticos (clorofila *a* e *b*) nas plantas, o que influenciam diretamente o progresso da fotossíntese destacado por Shareef; Abdi; Fahad, (2020). No entanto, neste trabalho não foi identificado interação que evidenciam efeitos da inoculação, apenas destaca maior concentração na CAD 80.

Destaca-se que as BPCP a partir dos estudos, vêm se mostrando potencialmente como uma ferramenta de valor e de importância na agricultura, devido aos seus diversos benefícios para as plantas. Uma vez que atuam colonizando as raízes das plantas e formam uma relação simbiótica, beneficiando tanto as culturas desde processos de absorção de nutrientes até hídrica como observado nos estudos de Arruda *et al.*, (2023) no feijão, Mehmood *et al.*, (2023) na batata e Masood; Zha; Shen, (2020) com tomate

Com destaque a esses microorganismo e voltando as questões de atenuação o gênero *Bacillus* com diversas espécies têm demonstrado potencial para reduzir os efeitos do déficit hídrico nas culturas agrícolas (DMITROVIĆ *et al.*, 2022). Essas bactérias possuem mecanismos adaptativos, de forma de algumas produzem exopolissacarídeos, que ajudam a reter a umidade do solo e a proteger as raízes, ou seja, garante tolerância a estresses ambientais como destaca Arun *et al.*, (2020) com o emprego de três estirpes de *Bacillus* melhorou o crescimento das plantas.

No entanto, é importante enfatizar que a eficácia dessas bactérias quanto ao déficit hídrico, pode variar dependendo das condições específicas do solo, clima, assim como a cultura. Além de que nem todos os fatores possam assegurar

destaques, como observado neste trabalho com o *B. aryabhattai* estirpe CMAA1363, recente no mercado, como destacado por Sousa *et al.*, (2023). Portanto, é importante conduzir pesquisas contínuas e avaliar o campo de aplicação para desenvolver estratégias precisas com essas bactérias às condições locais para maximizar os benefícios, de forma a garantir práticas agrícolas sustentáveis e eficientes.

CONCLUSÃO

Evidencia-se importantes aplicações de *Bacillus sp.* na agricultura, de forma que a estirpe utilizada neste trabalho *B. aryabhattai* CMAA1363 aplicada na cultura micro-tomateiro (*Lycopersicon esculentum cv micro-tom*) em solo argiloso com déficit, assegurou resultados promissores para desenvolvimento, a partir das características: qualidade do fruto, absorção de nutrientes e até mesmo de realização de fotossíntese comparadas com as plantas sem inoculação com a mesma proporção de água.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AHMAD, I.; AHMAD, M.; BUSHRA; HUSSAIN, A.; MUMTAZ, M. Z.; NAJM-UL-SEHER; ABBASI, G. H.; NAZLI, F.; PATACZEK, L.; ALI, H. M. Mineral-Solubilizing Bacteria-Mediated Enzymatic Regulation and Nutrient Acquisition Benefit Cotton's (*Gossypium hirsutum* L.) Vegetative and Reproductive Growth. **Microorganisms**, v. 11, n. 4, p.1-18, 2023.

AHMAD, N.; HUSSAIN, S.; ALI, M. A.; MINHAS, A.; WAHEED, W.; DANISH, S.; DATTA, R. Correlation of soil characteristics and citrus leaf nutrients contents in current scenario of Layyah District. **Horticulturae**, v. 8, n1, p.1-17, 2022.

ALEXIEVA, V.; SERGIEV, I.; MAPELLI, S.; KARANOV, E. The Effect of Drought and Ultraviolet Radiation on Growth and Stress Markers in Pea and Wheat. **Plant, Cell & Environment**, v.24, p.1337–1344, 2001.

ARAUJO, F. F.; BONIFACIO, A.; BAVARESCO, L. G.; MENDES, L. W.; ARAUJO, A. S. F. *Bacillus subtilis* changes the root architecture of soybean grown on nutrient-poor substrate. **Rhizosphere**, v. 18, p. 100348, 2021.

ARRUDA, B.; BEJARANO-HERRERA, W.F.; ORTEGA-CEPEDA, M.C.; CAMPO-QUESADA, J.M.; TORO-TOBÓN, G.; ESTRADA-BONILLA, G.A.; SILVA, A.M.M.; FERRARI PUTTI, F. Bioinput Inoculation in Common Beans to Mitigate Stresses Caused by a Period of Drought. **Stresses**, v.3, n.4, p.842-857, 2023

ARUN K, D.; SABARINATHAN, K. G.; GOMATHY, M.; KANNAN, R.; BALACHANDAR, D. Mitigation of drought stress in rice crop with plant growth-promoting abiotic stress-tolerant rice phyllosphere bacteria. **Journal of Basic Microbiology**, v. 60, n. 9, p. 768-786, 2020.

ASLAM, M. M.; IDRIS, A. L.; ZHANG, Q. I. A. N.; WEIFENG, X. U.; KARANJA, J. K.; WEI, Y. U. A. N. Rhizosphere microbiomes can regulate plant drought tolerance. **Pedosphere**, v. 32, n. 1, p. 61-74, 2022.

BAKER, N. R. Chlorophyll fluorescence: a probe of photosynthesis in vivo. **Annual Review of Plant Biology**, v. 59, n. 1, p. 89–113, 2008.

BALDERAS-RUÍZ, K. A.; GÓMEZ-GUERRERO, C. I.; TRUJILLO-ROLDÁN, M. A.; VALDEZ-CRUZ, N. A.; ARANDA-OCAMPO, S.; JUÁREZ, A. M.; LEYVA, E.; GALINDO, E. SERRANO-CARREÓN, L. *Bacillus velezensis* 83 increases productivity and quality of tomato (*Solanum lycopersicum* L.): Pre and postharvest assessment. **Current Research in Microbial Sciences**, v. 2, p. 100076, 2021.

BARBOSA, W.; OJIMA, M.; CAMPO-DALL'ORTO, F.A.; RAIJ, B. van. Frutas de clima temperado: III. Caqui, maçã, macadâmia, pecã e pêra. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. (Ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: Instituto Agrônômico e Fundação IAC, 1997. P.141- 142 (Boletim Técnico, 100).

BAVARESCO, L. G.; OSCO, L. P.; ARAUJO, A. S. F.; MENDES, L. W.; BONIFACIO, A.; ARAUJO, F. F. *Bacillus subtilis* can modulate the growth and root architecture in soybean through volatile organic compounds. **Theoretical and Experimental Plant Physiology**, v. 32, n. 2, p. 99-108, 2020.

BHARDWAJ, M.; KAILOO, S.; KHAN, R. T.; KHAN, S. S.; RASOOL, S. Harnessing fungal endophytes for natural management: a biocontrol perspective. **Frontiers in Microbiology**, v. 14, n.1, p.1-18, 2023.

BORDONI, A. Insight into the Sustainability of the Mediterranean Diet: The Water Footprint of the Recommended Italian Diet. **Nutrients**, v. 15, n. 9, p.1-11, 2023.

COSTA-SANTOS, M.; MARIZ-PONTE, N.; DIAS, M.C.; MOURA, L.; MARQUES, G.; SANTOS, C. Effect of *Bacillus* spp. and *Brevibacillus* sp. on the Photosynthesis and Redox Status of *Solanum lycopersicum*. **Horticulturae**. 2021; v.7, n.2,

DABAR, O. A.; ADAN, A. B. I.; AHMED, M. M.; AWALEH, M. O.; WABERI, M. M.; CAMBERLIN, P.; POHL, B.; MOHAMED, J. Evolution and Trends of Meteorological Drought and Wet Events over the Republic of Djibouti from 1961 to 2021. **Climate**, v. 10, n. 10, p.1-26, 2022.

DAMO, J. L. C.; SHIMIZU, T.; SUGIURA, H.; YAMAMOTO, S.; AGAKE, S.; ANARNA, J.; TANAKA, H.; SUGIHARA, S.; OKAZAKI, S.; YOKOYAMA, T.; YASUDA, M.; OHKAMA-OHTSU, N. The Application of Sulfur Influences Microbiome of Soybean Rhizosphere and Nutrient-Mobilizing Bacteria in Andosol. **Microorganisms**, v. 11, n. 5, p.1-20, 2023.

EKE, P.; KUMAR, A.; SAHU, K. P.; WAKAM, L. N.; SHEORAN, N.; ASHAJYOTHI, M.; PATEL, A.; FEKAM, F. B. Corrigendum to" Endophytic bacteria of desert cactus (*Euphorbia trigonas* Mill) confer drought tolerance and induce growth promotion in tomato (*Solanum lycopersicum* L). **Microbiological research**, v. 245, p. 126689, 2021.

FLORES-DUARTE, N. J.; PAJUELO, E.; MATEOS-NARANJO, E.; NAVARRO-TORRE, S.; RODRÍGUEZ-LLORENTE, I. D.; REDONDO-GÓMEZ, S.; CARRASCO LÓPEZ, J. A. A Culturomics-Based Bacterial Synthetic Community for Improving Resilience towards Arsenic and Heavy Metals in the Nutraceutical Plant *Mesembryanthemum crystallinum*. **International Journal of Molecular Sciences**, v.24, n.8, p.1-23, 2023.

GIANNOPOLITIS, C. N.; RIES, S. K. Superoxide Dismutases. **Plant Physiology, Rockville**, v. 59, n. 2, p. 309–314, 1977.

GONZALEZ NIETO, L.; HUBER, A.; GAO, R.; BIASUZ, E. C.; CHENG, L.; STROOCK, A. D.; LAKSO, A. N.; ROBINSON, T. L. Trunk Water Potential Measured with Microtensiometers for Managing Water Stress in “Gala” Apple Trees. **Plants**, v. 12, n.

9, p.1-17, 2023.

HALKOS, G.; ZISIADOU, A. The Effects of Climate Change to Weather-Related Environmental Hazards: Interlinkages of Economic Factors and Climate Risk. **Journal of Risk and Financial Management**, v. 16, n. 5, p.1-18, 2023.

HASAN, Shima. Effect of potassium fertilizer, feldspar rock and potassium releasing bacterium (*Bacillus circulans*) on sweet potato plant under sandy soil conditions. **Scientific Journal of Agricultural Sciences**, v. 2, n. 2, p. 56-63, 2020.

HOSSAIN, A.; YAMAGUCHI, F.; MATSUO, T.; TSUKAMOTO, I.; TOYODA, Y.; OGAWA, M.; NAGATA, Y.; TOKUDA, M. Rare sugar D-allulose: Potential role and therapeutic monitoring in maintaining obesity and type 2 diabetes mellitus. **Pharmacology & therapeutics**, v. 155, p. 49-59, 2015.

JOHANNES, A., SAUZET, O., MATTER, A., BOIVIN, P. Soil organic carbon content and soil structure quality of clayey cropland soils: A large-scale study in the Swiss Jura region. **Soil Use and Management**, v. 39, n. 2, p. 707-716, 2023.

KATSENIOS, N.; ANDREOU, V.; SPARANGIS, P.; DJORDJEVIC, N.; GIANNOGLOU, M.; CHANIOTI, S.; STERGIOU, P.; XANTHOU, M. Z.; IKAKABOUKI, I.; VLACHAKIS, D.; DJORDJEVIC, S.; KATSAROS, G.; EFTHIMIADOU, A. Evaluation of plant growth promoting bacteria strains on growth, yield and quality of industrial tomato. **Microorganisms**, v. 9, n. 10, p. 2099, 2021.

KLAR, A.E.; VILLA NOVA, N.A.; MARCOS, Z.Z.; CERVELLINI, A. Determinação da umidade do solo pelo método das pesagens. **Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"**, v.23, p.16-30, 1966.

LI, Y.; WANG, C.; GE, L.; HU, C.; WU, G.; SUN, Y.; Song, L.; Wu, X.; Pan, A.; Xu, Q.; Shi, J.; Liang, J.; LI, P. Environmental behaviors of *Bacillus thuringiensis* (Bt) insecticidal proteins and their effects on microbial ecology. **Plants**, v. 11, n. 9, p. 1212, 2022.

LICHTENTHALER, H. K. Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic biomembranes. **Methods in Enzimology**, v.148, p. 350-382, 1987.

MASOOD, S.; ZHAO, X. Q.; SHEN, R. F. *Bacillus pumilus* promotes the growth and nitrogen uptake of tomato plants under nitrogen fertilization. **Scientia Horticulturae**, v. 272, p. 109581, 2020.

MEHMOOD, S.; KHATOON, Z.; AMNA; AHMAD, I.; MUNEEER, M. A.; KAMRAN, M. A.; ALI, J.; ALI, B.; CHAUDHARY; H. J.; MUNIS, M. F. H. *Bacillus* sp. PM31 harboring various plant growth-promoting activities regulates *Fusarium* dry rot and wilt tolerance in potato. **Archives of Agronomy and Soil Science**, v. 69, n. 2, p. 197-211, 2023.

MUNTEAN, L.; ONA, A.; BERINDEAN, I.; RACZ, I.; MUNTEAN, S. Maize Breeding: From Domestication to Genomic Tools. **Agronomy**, v.12, n.10, p.1-17, 2022.

OLIVEIRA, L. L.; CARDOSO, G. dos S.; FARNEZI, P. K. B., AZEVEDO, L. A. L. de; FRANÇA, A. C. Resposta do tomate cereja à adubação organomineral para incremento na produtividade. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, v. 8, n. 2, p. 054-061, 2023.

ORTIZ, N., ARMADA, E., DUQUE, E., ROLDÁN, A., AZCÓN, R. Contribution of arbuscular mycorrhizal fungi and/or bacteria to enhancing plant drought tolerance under natural soil conditions: effectiveness of autochthonous or allochthonous strains. **Journal of plant physiology**, v. 174, n.1, p. 87-96, 2015.

PAGLIARINI, E.; GAGGIÀ, F.; QUARTIERI, M.; TOSELLI, M.; DI GIOIA, D. Yield and Nutraceutical Value of Lettuce and Basil Improved by a Microbial Inoculum in Greenhouse Experiments. **Plants**, v. 12, n. 8, p. 1700, 2023.

PLETT, D. C.; RANATHUNGE, K.; MELINO, V. J.; KUYA, N.; UGA, Y.; KRONZUCKER, H. J. The intersection of nitrogen nutrition and water use in plants: new paths toward improved crop productivity. **Journal of Experimental Botany**, v. 71, n. 15, p. 4452-4468, 2020.

POSMYK, M.; IMRAN, M.; LUZOLO MPOVO, C.; KHAN, M. A.; SHAFFIQUE, S.; NINSON, D.; BILAL, S.; KHAN, M.; KWON, E.-H.; KANG, S.-M.; YUN, B.-W.; LEE, I.-J. Synergistic Effect of Melatonin and *Lysinibacillus fusiformis* L. (PLT16) to Mitigate Drought Stress via Regulation of Hormonal, Antioxidants System, and Physio-Molecular Responses in Soybean Plants. **International Journal of Molecular Sciences**, v.24, n.10, p.1-20, 2023.

SANTOS, G. C. L.; GARCIA, P. D. M.; VIANA, T. B. L.; BORGES, P. F.; ARAUJO, L. S.; GONZAGA, S. Crescimento e eficiência do uso da água do sorgo sob distintos regimes hídricos contínuos. **Archivos de zootecnia**, v. 69, n. 266, p. 164-171, 2020.

SCUDELETTI, D.; CRUSCIOL, C. A. C.; BOSSOLANI, J. W.; MORETTI, L. G.; MOMESSO, L.; TUBANA, B. S.; CASTRO, S. G. Q. de; OLIVEIRA, E. F. de; HUNGRIA, M. Trichoderma asperellum inoculation as a tool for attenuating drought stress in sugarcane. **Frontiers in Plant Science**, v. 12, p. 645542, 2021.

SIBCS, **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Embrapa Solos. Centro Nacional de Pesquisa de Solos: Rio de Janeiro, v. 3, 2013.

SHAREEF, H. J.; ABDI, G.; FAHAD, S. Gholamreza; FAHAD, Shah. Change in photosynthetic pigments of Date palm offshoots under abiotic stress factors. **Folia oecologica**, v. 47, n. 1, p. 45-51, 2020.

SOUSA, A. D. A.; GRIGIO, M. L.; DO NASCIMENTO, C. R.; SILVA, A. D. C. D. da; REGO, E. R. do; REGO, M. M. do. Caracterização química e física de frutos de diferentes acessos de tomateiro em casa de vegetação. **Revista Agro@ mbiente On-line**, v. 5, n. 2, p.113-118, 2011.

SOUSA, H. S.; SOUSA, G. G DE; VIANA, T. V. de A.; PEREIRA, A. P. de A.; LESSA, C.I. N.; SOUZA, M.V. P. de; GUILHERME, J. M. da S.; GOES, G. F.; ALVES, F. G. da S.; GOMES, S. P.; SILVA, F. D. B. da. Bacillus aryabhattai Mitigates the Effects of Salt and Water Stress on the Agronomic Performance of Maize under an Agroecological System. **Agriculture**, v. 13, n. 6, p. 1150, 2023.

SUN, B. O.; GU, L.; BAO, L.; ZHANG, S.; WEI, Y.; BAI, Z.; ZHUANG, G. ZHUANG, X. Application of biofertilizer containing Bacillus subtilis reduced the nitrogen loss in agricultural soil. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 148, p. 107911, 2020.

TEIXEIRA, G. C. M., PRADO, R. de M.; OLIVEIRA, K. S., D'AMICO-DAMIÃO, V., & DA SILVEIRA SOUSA JUNIOR, G. Silicon increases leaf chlorophyll content and iron nutritional efficiency and reduces iron deficiency in sorghum plants. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 20, p. 1311-1320, 2020.

TEISSEIRE, H.; GUY, V. Copper-Induced Changes in Antioxidant Enzymes Activities in Fronds of Duckweed (*Lemna Minor*). **Plant Science**, v,153, p.65–72, 2000.

TOSCANO, S.; ROMANO, D. Morphological, physiological, and biochemical responses of zinnia to drought stress. **Horticulturae**, v. 7, n. 10, p. 362, 2021.

VARONE, L.; RIBAS-CARBO, M.; CARDONA, C.; GALLÉ, A.; MEDRANO, H.; GRATANI, L.; FLEXAS, J. Stomatal and non-stomatal limitations to photosynthesis in seedlings and saplings of Mediterranean species pre conditioned and aged in nurseries: Different response to water stress. **Environmental and Experimental Botany**, v.75, n.1, p.235-247. 2012.

WATSON, D. J. Comparative physiological studies on the growth of field crops: II. The effect of varying nutrient supply on net assimilation rate and leaf area. **Annals of Botany**, v. 11, n. 44, p. 375-407, 1947.

ZHANG, W.; XIE, Z.; ZHANG, X.; LANG, D.; ZHANG, X. Growth-promoting bacteria alleviates drought stress of *G. uralensis* through improving photosynthesis characteristics and water status. **Journal of Plant Interactions**, v. 14, n. 1, p. 580-589, 2019.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A inclusão das bactérias promotoras do crescimento de plantas (BPCP) vem se mostrando uma excelente alternativa para desenvolvimento do setor agrícola, frente às mudanças climáticas e a intensificação da seca, que resulta no estresse hídrico nas culturas. Uma vez que, afetam a capacidade produtiva e a qualidade dos alimentos.

Com os resultados da inoculação do *Bacillus aryabhattai* no micro tomateiro (*Lycopersicon esculentum* cv *micro-tom*) foi possível observar fatores favoráveis ao melhor desenvolvimento e tolerância ao estresse hídrico.

Foram observados aumento de características morfológicas: peso massa fresca parte aérea, das raízes, área foliar, bem como nos frutos, em questão de comprimento e diâmetro, além do número de frutos. Como também a qualidade desses frutos e absorção de nutrientes para ambos os solos trabalhados.

Fatores envolvendo fotossíntese, no solo arenoso apresentou 9% maior de eficiência do uso da água (EUA) nas plantas inoculadas. Porém, obtiveram respostas positivas na menor produção enzimática antioxidativa, podendo estar associado à interferência de atenuações do bioinsumo. Caso similar foi observado nessas análises em solo argiloso.

Constatando que o gênero *Bacillus* sp. oferece uma abordagem promissora para reduzir os efeitos negativos da escassez de água nas culturas agrícolas. Contribuindo significativamente para melhorar a tolerância das plantas por meio de diversos mecanismos, como a promoção do crescimento das raízes, a indução de resistência e a regulação da microbiota do solo. No entanto, a incorporação de *B. aryabhattai* no micro-tomateiro contribuiu para mitigar os efeitos do déficit hídrico, como evidenciado pelas características morfofisiológicas, área foliar, altura das plantas, quantidade e qualidade de frutos, volume das raízes e absorção de macronutrientes. Fundamentando a hipótese de que a inoculação reduz os efeitos do déficit hídrico, porém ainda é necessário aprofundar pesquisas para compreender como *B. aryabhattai* afeta suas características morfofisiológicas e de produção sob condições a campo severos, como também foi destacado em trabalhos que utilizou este mesmo *Bacillus* sp. na cultura do milho.

REFERÊNCIAS

- DABAR, O. A.; ADAN, A. B. I.; AHMED, M. M.; AWALEH, M. O.; WABERI, M. M.; CAMBERLIN, P.; POHL, B.; MOHAMED, J. Evolution and Trends of Meteorological Drought and Wet Events over the Republic of Djibouti from 1961 to 2021. **Climate**, v. 10, n. 10, p.1-26, 2022.
- DAS, A.; ALBINSSON, P. A. Consumption Culture and Critical Sustainability Discourses: Voices from the Global South. **Sustainability**, v. 15,n.9, p.1-19, 2023.
- HABIB-UR-RAHMAN, M.; AHMAD, A.; RAZA, A.; HASNAIN, M. U.; ALHARBY, H. F.; ALZAHIRANI, Y. M.; EL SABAGH, A. Impact of climate change on agricultural production; Issues, challenges, and opportunities in Asia. *Frontiers in Plant Science*, v. 13, p. 925548, 2022.
- KHONDOKER, M.; MANDAL, S.; GURAV, R.; HWANG, S. Freshwater Shortage, Salinity Increase, and Global Food Production: A Need for Sustainable Irrigation Water Desalination—A Scoping Review. **Earth**, v.4, n.2, p.223-240, 2023.
- MASMOUDI, F.; ALSAFRAN, M.; JABRI, H. Al; HOSSEINI, H.; TRIGUI, M.; SAYADI, S.; TOUNSI, S.; SAADAOU, I. Halobacteria-Based Biofertilizers: A Promising Alternative for Enhancing Soil Fertility and Crop Productivity under Biotic and Abiotic Stresses-A microorganisms Halobacteria-Based Biofertilizers: A Promising Alternative for Enhancing Soil Fertility and Crop Productivity under Biotic and Abiotic Stresses-A Review. **Microorganisms**, v.11, n.5, p.1-16, 2023.
- OROBIO, B.A.P; PAZ, J. S; SANTOS, A. R.; QUINTERO, K.F. S.; ESCORCIA, R. S.; RIVERA, I.C. D.; SÁNCHEZ, A. Assessment of the Water Footprint in Low-Income Urban Neighborhoods from Developing Countries: Case Study Fátima (Gamarra, Colombia). **Sustainability**, v.15, n.9, p.1-21, 2023.
- POSMYK, M.; IMRAN, M.; LUZOLO MPOVO, C.; KHAN, M. A.; SHAFFIQUE, S.; NINSON, D.; BILAL, S.; KHAN, M.; KWON, E.-H.; KANG, S.-M.; YUN, B.-W.; LEE, I.-J. Synergistic Effect of Melatonin and Lysinibacillus fusiformis L. (PLT16) to Mitigate Drought Stress via Regulation of Hormonal, Antioxidants System, and Physio-Molecular Responses in Soybean Plants. **International Journal of Molecular Sciences**, v.24, n.10, p.1-20, 2023.
- RENE, E. R.; ZAPPI, M.; GONZALEZ-GONZALEZ, L. M.; DE-BASHAN, L. E. The Potential of Microalgae-Bacteria Consortia to Restore Degraded Soils. **Biology**, v.12, n.5, p.1-15, 2023.
- SOARES, D.; PAÇO, T. A.; ROLIM, J. Assessing Climate Change Impacts on Irrigation Water Requirements under Mediterranean Conditions—A Review of the Methodological Approaches Focusing on Maize Crop. **Agronomy**, v.13, n.1, p.1-16, 2023.
- TERADA, N.; DISSANAYAKE, K.; OKADA, C.; SANADA, A; KOSHIO, K. Micro-Tom tomato response to fertilization rates and the effect of cultivation systems on fruit yield and quality. **Horticulturae**, v. 9, n. 3, p. 367, 2023.
- WANG, X.; FANG, S.; YANG, Y.; DU, J.; WU, H. A New Method for Crop Type Mapping at the Regional Scale Using Multi-Source and Multi-Temporal Sentinel Imagery. **Remote Sensing**, v. 15, n. 9, p.1-20, 2023.