

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS E ENGENHARIA
Programa de Pós-Graduação em Ciências

ANA LAURA SILVA SILVÉRIO

***PRIESTIA ARYABHATAI* NO COMBATE AO DÉFICIT HÍDRICO NO
TOMATEIRO HÍBRIDO VERO (HS 1188)**

TUPÃ
2026

ANA LAURA SILVA SILVÉRIO

***PRIESTIA ARYABHATTAI* NO COMBATE AO DÉFICIT HÍDRICO NO
TOMATEIRO HÍBRIDO VERO (HS 1188)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências - Agronegócio e Desenvolvimento da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” Faculdade de Ciências e Engenharia, Câmpus de Tupã, como requisito para obtenção do título de Mestre em Ciências, área Agronegócio e Desenvolvimento.

Área de Concentração: Agronegócio e Desenvolvimento

Linha de Pesquisa: Desenvolvimento e Meio Ambiente

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Angela Vacaro de Souza

Coorientadores: Prof. Dr. Fernando Ferrari Putti e Prof. Dr. Willian Aparecido Leoti Zanetti

Tupã

2026

S587p

Silvério, Ana Laura Silva

Priestia aryabhattai no combate ao déficit hídrico no tomateiro
híbrido vero (hs 1188) / Ana Laura Silva Silvério. -- Tupã, 2026
70 p. : il.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP),
Faculdade de Ciências e Engenharia, Tupã

Orientadora: Angela Vacaro de Souza

Coorientador: Fernando Ferrari Putti; Willian Aparecido Leoti
Zanetti.

1. Bioinsumos. 2. *Priestia aryabhattai*. 3. Manejo de água. 4.
Produtividade. I. Título.

Impacto potencial desta pesquisa

Esta pesquisa tem potencial significativo ao avaliar o uso de bactérias promotoras de crescimento de plantas (BPCPs) como alternativa sustentável para mitigar os efeitos do déficit hídrico na cultura do tomate, frente a um cenário de crescente instabilidade climática e escassez de recursos hídricos. Os resultados indicam a melhora na qualidade dos frutos, mesmo em condições de déficit hídrico, resultando em parâmetros de qualidade positivos, pois as BPCPs promovem a resiliência fisiológica das plantas. Com base no conhecimento científico sobre a interação planta-microrganismo, o estudo pode orientar produtores e pesquisadores com práticas de manejo biológico mais eficientes, que é o aspecto central para a agricultura atual, e apoiar a adoção de tecnologias sustentáveis na agricultura, especialmente em regiões com escassez hídrica.

Potential impact of this research

This research has significant potential in evaluating the use of plant growth promoter bacteria (BPCPs) as a sustainable alternative to mitigate the effects of water deficit on tomato cultivation, against a backdrop of increasing climate instability and water resource scarcity. The results indicate improvement in fruit quality, even under conditions of water deficit, resulting in positive quality parameters, as BPCPs promote the physiological resilience of plants. Based on scientific knowledge about plant-microorganism interaction, the study can guide producers and researchers to more efficient organic management practices, which is the central aspect for today's agriculture, and support the adoption of sustainable technologies in agriculture, especially in regions with water scarcity.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: BACTÉRIAS PROMOTORAS DO CRESCIMENTO DE PLANTAS NO COMBATE AO DÉFICIT HÍDRICO NO TOMATEIRO HÍBRIDO VERO (HS 1188)

AUTORA: ANA LAURA SILVA SILVERIO

ORIENTADORA: ANGELA VACARO DE SOUZA COORIENTADOR: FERNANDO FERRARI PUTTI COORIENTADOR: WILLIAN APARECIDO LEOTI ZANETTI

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

Documento assinado digitalmente



ANGELA VACARO DE SOUZA

Data: 24/02/2026 14:16:07-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof.^a Dr.^a ANGELA VACARO DE SOUZA (Participação Presencial)

Departamento de Engenharia de Biosistemas / UNESP / Câmpus de Tupã - FCE

Documento assinado digitalmente



ALINE MARTINELI BATISTA

Data: 24/02/2026 17:05:44-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

**Dr.^a ALINE MARTINELI BATISTA
(Participação Virtual) Bolsista de Inovação
/ EMBRAPA (Meio Ambiente)**

Documento assinado digitalmente



BRUNA ARRUDA

Data: 24/02/2026 15:57:06-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. BRUNA ARRUDA (Participação Virtual)

Docente / Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales (UDCA) (Colômbia)

Tupã, 24 de fevereiro de 2026.

Dedico este trabalho as minhas avós que sempre me apoiaram e a todas as mulheres que, de alguma forma, atuam em áreas do Agronegócio e Desenvolvimento brasileiro.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter me dado a oportunidade e a força para atingir meus objetivos.

Agradeço ao meu esposo, meus pais, familiares e amigos por todo incentivo durante minha trajetória.

As minhas avós que sempre me incentivaram, e que foram exemplo de mulheres fortes e guerreiras.

A minha orientadora Dr^a. Prof^a. Angela Vacaro de Souza por todo apoio, dedicação e conselhos durante o desenvolvimento do trabalho, assim como meus coorientadores Dr. Prof. Fernando Ferrari Putti e Willian Aparecido Leoti Zanetti.

A equipe envolvida neste trabalho, a assistente de suporte acadêmico II Yasmin Saegusa Tadayozzi, o técnico agropecuário Leandro de Souza Rosa, e colegas do grupo de Pesquisa BIOAGRO.

A UNESP Câmpus de Tupã por propiciar o ambiente necessário para minha aprendizagem e, assim, para meu desenvolvimento pessoal e profissional com a condução do trabalho.

A todos os docentes do Programa de Pós-Graduação em Agronegócio e Desenvolvimento pelo compartilhamento de seus conhecimentos profissionais.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) pelo apoio inicial na realização do presente trabalho.

Agradeço também ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pela concessão da bolsa de pesquisa para condução do experimento do trabalho.

“Tudo o que fizerem, façam de todo o coração.”

Colossenses 3:23a.

SILVÉRIO, Ana Laura Silva. *Priestia aryabhattai* no combate ao déficit hídrico no tomateiro híbrido Vero (HS 1188). 2026. 70 p. Dissertação (Mestrado em Ciências, área Agronegócio e Desenvolvimento) – Faculdade de Ciências e Engenharia, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Tupã, 2026.

RESUMO

As mudanças climáticas têm imposto desafios significativos ao setor agrícola, destacando-se o déficit hídrico como um dos principais estresses abióticos responsáveis por limitações no crescimento, no metabolismo e na produtividade do tomateiro. Nesse contexto, o uso de bactérias promotoras do crescimento de plantas (BPCPs) tem se destacado como estratégia sustentável para mitigar os efeitos do déficit hídrico. O presente estudo teve como objetivo avaliar a influência da inoculação com *Priestia aryabhattai* sobre as respostas bioquímicas, biométricas e a qualidade dos frutos de tomateiro submetidos a diferentes níveis de disponibilidade de água. O experimento foi conduzido em ambiente protegido na área experimental da Faculdade de Ciências e Engenharia da UNESP – Câmpus de Tupã (SP), em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2×3, considerando com e sem a aplicação do bioinsumo e três níveis de capacidade de água disponível (CAD) (40%, 60% e 80%). As avaliações incluíram parâmetros de crescimento, pigmentos fotossintéticos, enzimas antioxidantes, indicadores de estresse oxidativo da planta e atributos físico-químicos dos frutos. Os resultados demonstraram que a condição de maior restrição hídrica (CAD 40) intensificou o estresse oxidativo nas plantas não inoculadas, enquanto a aplicação da BPCP contribuiu para a redução do estresse oxidativo, promovendo maior equilíbrio antioxidante. Além disso, a inoculação favoreceu o crescimento vegetativo e melhorou atributos relacionados à qualidade tecnológica dos frutos. Conclui-se que *Priestia aryabhattai* pode atuar como ferramenta complementar ao manejo hídrico, aumentando a tolerância do tomateiro ao déficit hídrico e contribuindo para sistemas de produção mais sustentáveis.

Palavras-chave: Bioinsumos; Bactérias promotoras do crescimento de plantas; Manejo de água; Produtividade.

SILVÉRIO, Ana Laura Silva. ***Priestia aryabhattai* in combating water deficit in the tomato hybrid Vero (HS 1188)**. 2026. 70 p. Dissertation (Master of Science, area Agribusiness and Development) - Faculty of Sciences and Engineering, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Tupã, 2026.

ABSTRACT

Climate change has imposed significant challenges on the agricultural sector, highlighting water deficit as one of the main abiotic stresses responsible for limitations in tomato growth, metabolism and productivity. In this context, the use of plant growth promoter bacteria (BPCPs) has been highlighted as a sustainable strategy to mitigate the effects of water deficit. The present study aimed to evaluate the influence of inoculation with *Priestia aryabhattai* on biochemical, biometric and quality responses of tomato fruits subjected to different levels of water availability. The experiment was conducted in a protected environment in the experimental area of UNESP's Faculty of Science and Engineering - Tupã Campus (SP), in a completely randomized design, in factorial scheme 2 3, considering with and without bioinput application and three levels of available water capacity (CAD) (40%, 60% and 80%). The evaluations included growth parameters, photosynthetic pigments, antioxidant enzymes, indicators of oxidative stress of the plant and physicochemical attributes of the fruits. The results showed that the condition of greater water restriction (CAD 40) intensified oxidative stress in uninoculated plants, while the application of BPCP contributed to the reduction of oxidative stress, promoting greater antioxidant balance. In addition, inoculation favored vegetative growth and improved attributes related to the technological quality of fruits. It is concluded that *Priestia aryabhattai* can act as a complementary tool to water management, increasing the tomato plant's tolerance to water deficit and contributing to more sustainable production systems.

Keywords: Bioinputs; Plant growth promoting bacteria; Water management; Productivity.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mecanismo de abertura e fechamento estomático vegetal sob condição de déficit hídrico.....	27
Figura 2 - Mecanismos de atividade das BPCPs com ácido indol-3-acético (AIA), Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN) e Solubilização de Fosfato Inorgânico (SFI).....	32
Figura 3 - Síntese de mecanismos de bactérias para atenuar o déficit hídrico.	33
Figura 4 - Representação da estufa utilizada na condução do experimento.....	44
Figura 5 - Tabela de análise de Fertilidade química coletado da camada de 0-20 cm do solo arenoso.....	44
Figura 6 - Representação da disposição da condução experimental.	45
Figura 7 - Representação da estação meteorológica.....	46
Figura 8 - Diâmetro do caule (A), Comprimento do caule (B) e massa seca da raiz (C).....	49
Figura 9 - Teores de CA (A e D), CB (B) e CT (C e E) em tomateiro inoculado com bioinsumo sob diferentes CADs.....	50
Figura 10 - Teores de H ₂ O ₂ (A) e MDA (B) submetido a diferentes CADs e na presença ou ausência do bioinsumo.	51
Figura 11 - Representação da atividade enzimática SOD (A e C) e proteínas totais (B) do tomateiro.....	52
Figura 12 - Acidez titulável (A), sólidos solúveis (B), relação SS/AT (C) e textura (D) do fruto.	63
Figura 13 - Peso (A) e diâmetro (B) do fruto.	64

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AT – Acidez Titulável

BPCPs – Bactérias Promotoras do Crescimento de Plantas

CADs – Capacidades de Água Disponível

CAT – Catalase

CO₂ – Dióxido de carbono

DIC – Delineamento experimental Inteiramente Casualizado

EROs – Espécies Reativas de Oxigênio

ETc – Evapotranspiração da Cultura

ETo – Evapotranspiração de Referência

FAO – Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura

FCE – Faculdade de Ciências e Engenharia

H₂O₂ – Peróxido de Hidrogênio

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

Kc – Coeficiente da Cultura

Kp – Coeficiente do Tanque

MDA – Malonaldeído

ODS – Objetivos do Desenvolvimento Sustentável

POD – Enzima Peroxidase

SOD – Enzima Superóxido Dismutase

SS – Sólidos Solúveis

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL	15
1.1	JUSTIFICATIVA	17
1.1	OBJETIVO GERAL	18
2	ESTRUTURA DOS CAPÍTULOS	18
CAPÍTULO I: USO DE BACTÉRIAS PROMOTORAS DO CRESIMENTO DE PLANTAS COMO ALTERNATIVA SUSTENTÁVEL FRENTE AO DÉFICIT HÍDRICO NA CULTURA DO TOMATE		20
1	INTRODUÇÃO.....	20
1.1	OBJETIVO	22
2	METODOLOGIA DA PESQUISA	22
3	DESENVOLVIMENTO	23
3.1	ASPECTOS GERAIS DA CULTURA DO TOMATE (<i>SOLANUM LYCOPERSICUM</i> L.)	23
3.2	EFEITOS DO DÉFICIT HÍDRICO.....	25
3.3	BIOINSUMOS	28
3.1.1	Bactérias promotoras do crescimento de plantas (BPCPs)	30
4	CONSIDERAÇÕES FINAIS	34
	REFERÊNCIAS.....	35
CAPÍTULO II: INOCULAÇÃO DO <i>PRIESTIA ARYABHATAI</i> NO TOMATE HÍBRIDO VERO (HS 1188) SUBMETIDO AO DÉFICIT HÍDRICO.....		41
1	INTRODUÇÃO.....	42
1.1	OBJETIVO	43
2	METODOLOGIA DA PESQUISA	43
2.1	LOCALIZAÇÃO	44
2.2	CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO E DELINEAMENTO EXPERIMENTAL	44
2.3	VARIÁVEIS ANALISADAS	46
2.3.1	Análises bioquímicas da folha	46
2.3.1.1	Pigmentos fotossintéticos	46
2.3.1.2	Conteúdo de peróxido de hidrogênio (H ₂ O ₂) e nível de peroxidação lipídica.....	47
2.3.1.3	Conteúdo de proteínas solúveis totais	47
2.3.1.4	Atividade da superóxido dismutase (SOD) e peroxidase (POD)	47
2.4	ANÁLISES BIOMÉTRICAS DA PLANTA	48
2.5	FORMA DE ANÁLISE DOS RESULTADOS	48
3	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	48
3.1	RESULTADOS	48

3.2	DISCUSSÕES	52
4	CONCLUSÃO	55
	REFERÊNCIAS.....	55
CAPÍTULO III: INFLUÊNCIA DO USO DA BACTÉRIA PROMOTORA DO		
CRESCIMENTO DE PLANTAS <i>PRIESTIA ARYABHATAI</i> NA MENSURAÇÃO DE		
VARIÁVEIS FÍSICO-QUÍMICAS DO TOMATE		
		58
1	INTRODUÇÃO.....	59
1.1	OBJETIVO	60
2	METODOLOGIA DA PESQUISA	60
2.1	ANÁLISES DE QUALIDADE DO FRUTO	61
2.1.1	Textura	61
2.1.2	pH (Potencial Hidrogeniônico).....	61
2.1.3	Acidez titulável (AT)	61
2.1.4	Sólidos solúveis (SS)	62
2.1.5	Relação SS/AT (“ <i>Ratio</i> ”).....	62
2.1.6	Teor de Água.....	62
2.2	FORMA DE ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	62
3	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	62
3.1	RESULTADOS	62
3.2	DISCUSSÕES	64
4	CONCLUSÃO.....	66
	REFERÊNCIAS.....	67
3.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	70
	REFERÊNCIAS.....	70

1 INTRODUÇÃO GERAL

O setor agrícola tem enfrentado desafios crescentes associados às variações climáticas e ao aumento na frequência e intensidade de eventos extremos, com destaque para os episódios de déficit hídrico. Essas ocorrências, geralmente relacionadas a alterações nos padrões de precipitação, tornaram-se mais recorrentes como consequência das mudanças climáticas. A redução da disponibilidade hídrica compromete a qualidade das colheitas e o desempenho pós-colheita dos frutos, afetando o rendimento e a viabilidade das safras (Orobio *et al.*, 2023; Wang *et al.*, 2023).

A investigação sobre eventos climáticos extremos tem ganhado destaque nos últimos anos, impulsionada pela necessidade de compreender suas tendências atuais e projetar possíveis alterações em sua frequência e intensidade. Essa análise torna-se particularmente relevante em regiões onde os impactos se estendem tanto à produção agrícola quanto às comunidades em situação de vulnerabilidade socioeconômica. Temperaturas elevadas e escassez hídrica podem reduzir a eficiência das atividades agrícolas, comprometer a geração de energia, afetar ecossistemas naturais e aumentar o risco de queimadas, além de provocar impactos negativos à saúde humana (Marengo, 2024).

Tanto fenômenos naturais quanto atividades antrópicas têm alterado a composição atmosférica, gerando impactos relevantes para a agricultura quanto à temperatura e à disponibilidade hídrica. Atualmente, o déficit hídrico constitui um dos principais fatores de estresse ambiental, comprometendo a produtividade de várias culturas, como do tomate (*Solanum lycopersicum* L.), em regiões caracterizadas por precipitações insuficientes ou irregulares e pela ausência de sistemas de irrigação (Rawal *et al.*, 2022). Esses impactos, despertam preocupações por parte dos produtores, não apenas quanto à produtividade, mas também quanto à qualidade e à valoração de seus produtos, contribuindo para a instabilidade na oferta de alimentos, nos valores nutricionais e nos preços ao consumidor final (Soares, Paço, Rolim, 2023).

Diante dessas transformações, torna-se imprescindível a adoção de abordagens integradas que promovam a sustentabilidade nas cadeias produtivas, articulando dimensões ambientais, sociais e econômicas. Nesse contexto, a Agenda 2030, que estabelece os 17 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS), orienta ações voltadas à redução dos impactos ambientais e à busca por soluções para os desafios da relação entre homem e natureza. No cerne dos ODS está a preocupação com a gestão dos recursos naturais, especialmente quanto ao uso inadequado, ao esgotamento e à desigualdade em sua distribuição (Das, Albinsson, 2023).

Ao incorporar a sustentabilidade nos processos de tomada de decisão, organizações e produtores passam a considerar de forma mais criteriosa os efeitos sociais e ambientais de suas práticas. As 169 metas que compõem os ODS visam promover transformações rumo a sistemas produtivos mais sustentáveis, assegurando maior qualidade dos alimentos, mitigação de impactos climáticos e patogênicos e proteção da biodiversidade (Pânzaru *et al.*, 2023).

Nesse contexto, áreas de cultivo de tomate demandam a identificação de estratégias multifacetadas, preferencialmente de baixo custo, ambientalmente sustentáveis e passíveis de aplicação em curto prazo para mitigar os efeitos de déficit hídrico. Entre essas estratégias, destacam-se as associações simbióticas das plantas com microrganismos do solo, capazes de atenuar o déficit hídrico por seca e promover maior resiliência das plantas (Rawal *et al.*, 2022). Como alternativa para a promoção de práticas agrícolas mais sustentáveis, o uso de bioinsumos tem se destacado na produção vegetal, apresentando benefícios como a melhoria da qualidade do solo, o aumento da biodiversidade e a redução de impactos ambientais negativos. Nesse sentido, os bioinsumos também contribuem para a diminuição do uso de insumos sintéticos, e com a redução dos investimentos em sistemas de irrigação, tornando os sistemas produtivos mais eficientes e ambientalmente responsáveis (Corrêa *et al.*, 2025).

Com a crescente demanda por manejos sustentáveis no setor agrícola, destacam-se os bioinsumos à base de Bactérias Promotoras do Crescimento de Plantas (BPCPs). Esses microrganismos atuam no desenvolvimento das culturas e na mitigação de estresses ambientais por meio de mecanismos como a fixação biológica de nitrogênio e a solubilização de nutrientes. Além disso, seu uso tem se expandido para a recuperação de solos degradados, evidenciando seu elevado potencial agrícola (Gonzalez-Gonzalez, De-Bashan, 2023).

As BPCPs exercem papel fundamental no ecossistema agrícola ao contribuir para a melhoria da fertilidade do solo e para a indução de tolerância a estresses bióticos, como fitopatógenos e parasitas, e abióticos, como seca, salinidade e presença de metais pesados. Por meio de diferentes mecanismos, essas bactérias benéficas ativam processos morfológicos, fisiológicos e bioquímicos, influenciando o metabolismo vegetal e favorecendo interações positivas entre plantas e microrganismos do solo (Racioppo, *et al.*, 2023).

Embora essas bactérias possam ser aplicadas em diversas culturas, o tomate foi selecionado como objeto de estudo devido à sua expressiva relevância econômica no setor hortícola (Capítulo I). Destaca-se ainda que a cultivar Vero (HS1188)[®], desenvolvida pela Horticeres[®], apresenta ciclo de vida curto, variando de 90 a 110 dias, o que favorece a condução experimental e demonstra aptidão para o cultivo em larga escala, uma vez que sua produção pode ser realizada ao longo de todo o ano (Horticeres, 2025).

Assim, diante do contexto apresentado, esta pesquisa procurou responder à seguinte questão: *A inoculação de bactéria promotora de crescimento Priestia aryabhattai pode atenuar os efeitos do déficit hídrico em plantas de tomateiro e contribuir para a manutenção do desempenho fisiológico, do desenvolvimento vegetativo e da qualidade dos frutos?* Para responder a essa pergunta, este estudo partiu da hipótese de que *plantas de tomateiro inoculadas com Priestia aryabhattai e cultivadas sob condições de irrigação subótima apresentarão menor impacto negativo do déficit hídrico em comparação àquelas não inoculadas, evidenciado por maior eficiência no uso da água, menores perdas fisiológicas e biométricas, além de melhorias na qualidade físico-química dos frutos*. Tais características poderiam indicar que o uso de bactérias possibilita a redução da lâmina de água usada na irrigação do tomateiro mitigando prejuízos para a cultura.

1.1 JUSTIFICATIVA

Com a crescente demanda por alimentos e as incertezas climáticas, pesquisadores buscam desenvolver tecnologias agrícolas mais precisas para atender às necessidades humanas, preservar recursos naturais, como a água, e garantir uma produção sustentável, minimizando desperdícios ao longo de toda a cadeia produtiva.

Devido à grande representatividade do tomate no setor olerícola, e sua resposta negativa a seca, o interesse em métodos e tecnologias que visam contribuir ou aumentar o aproveitamento do produto tem aumentado. Uma destas tecnologias, está na aplicação de microrganismos para reduzir os efeitos do déficit hídrico, as quais são consideradas “*eco-friendly*”. Embora seja considerada uma temática promissora, ainda necessita de aprofundamento no entendimento dos mecanismos fisiológicos, bioquímicos e moleculares relacionados a esses processos.

O beneficiamento com a introdução das bactérias promotoras de crescimento durante a produção pode resultar em rendimento produtivo maior, e o estudo sobre a inserção dessas bactérias pode contribuir para a mitigação dos efeitos causados por déficit hídrico, e promover produção mais sustentável. Uma abordagem interdisciplinar para que seja possível agregar questões de qualidade do fruto em sua cadeia produtiva.

Associando a essa importância e aos 17 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) propostos pela ONU (Organização das Nações Unidas), este trabalho se justifica por estar alinhado a diferentes objetivos e indicadores como destacados a seguir (Nações Unidas, 2024).

ODS 2 - Fome Zero e Agricultura Sustentável

O tomate é uma cultura sensível à disponibilidade de água e às variações climáticas, com grande relevância na alimentação humana, de forma que, esse trabalho buscou a produção de alimentos de necessidades básicas, auxiliando a garantir a segurança alimentar

ODS 12 – Produção e consumo sustentável

O aumento da demanda por alimentos reforça a importância da investigação dos impactos de diferentes métodos de produção e processamento do tomate, fornecendo subsídios científicos para a escolha de tecnologias mais eficientes e sustentáveis. A geração desses dados favorece a otimização do uso da matéria-prima, a redução de perdas nutricionais e o desenvolvimento de produtos processados com maior valor agregado, promovendo práticas responsáveis ao longo da cadeia agroalimentar.

ODS 13 - Combate às alterações climáticas

Diante das mudanças climáticas e seus efeitos na agricultura, especialmente na disponibilidade de água, este trabalho busca mitigar esses impactos e fortalecer a resiliência agrícola. Propõe-se o uso sustentável da biodiversidade do solo como tecnologia alternativa para auxiliar regiões afetadas pela seca.

ODS 15 - Vida sobre a Terra

Este trabalho propôs uma gestão integrada e sustentável dos ecossistemas terrestres, usando a biodiversidade como ferramenta biológica para manter a capacidade do solo de sustentar a vida, especialmente em períodos de seca. A iniciativa visa promover a sustentabilidade e renovar o compromisso com a proteção dos recursos naturais do planeta.

1.1 OBJETIVO GERAL

Determinar a atenuação dos efeitos de déficit hídrico no tomateiro proporcionada pela bactéria promotora de crescimento de plantas *Priestia aryabhatai*, por meio da avaliação das respostas bioquímicas, biométricas e fisiológicas das plantas, bem como a qualidade dos frutos obtidos sob esta condição, para auxiliar o produtor na tomada de decisão.

2 ESTRUTURA DOS CAPÍTULOS

Esta dissertação foi estruturada em três capítulos com a finalidade de facilitar a compreensão dos tópicos abordados e dos resultados obtidos por meio do experimento realizado. O **Capítulo I** apresenta a fundamentação teórica sobre o objeto de estudo e as variáveis correlacionadas a ele no trabalho: a cultura do tomateiro com ênfase nos efeitos do déficit hídrico e no uso de bioinsumos, destacando o potencial das BPCPs como ferramenta sustentável para a mitigação de déficit hídricos. O **Capítulo II** descreve o experimento conduzido em estufa, no qual diferentes tratamentos envolvendo a aplicação de BPCPs foram

avaliados quanto ao desempenho produtivo do tomateiro sob condições de restrição hídrica, apresentando os principais resultados e discussões das análises realizadas. No **Capítulo III**, refere-se à apresentação dos resultados e discussões das análises biométricas e físico-químicas dos frutos, permitindo avaliar a influência dos tratamentos na qualidade final dos frutos.

CAPÍTULO I: USO DE BACTÉRIAS PROMOTORAS DO CRESCIMENTO DE PLANTAS COMO ALTERNATIVA SUSTENTÁVEL FRENTE AO DÉFICIT HÍDRICO NA CULTURA DO TOMATE

RESUMO

O aumento populacional e a intensificação das mudanças climáticas aumentam a pressão sobre a agricultura, especialmente quanto ao uso eficiente da água e à adoção de práticas sustentáveis. O tomate, cultura de relevância econômica e nutricional, apresenta alta sensibilidade ao déficit hídrico, que compromete processos fisiológicos, reduz produtividade e afeta a qualidade dos frutos. Para mitigar esses impactos, tecnologias como o uso de bioinsumos, especialmente bactérias promotoras de crescimento de plantas (BPCPs) do gênero *Priestia*, têm se destacado por promoverem o desenvolvimento radicular, melhorarem a absorção de nutrientes e regularem respostas hormonais, mesmo sob déficit hídrico. Esta revisão foi conduzida por meio de pesquisa bibliográfica qualitativa em bases científicas nacionais e internacionais (2021–2025), priorizando estudos experimentais e revisões sistemáticas sobre tomate, déficit hídrico e bioinsumos. O desenvolvimento aponta que, além de potencializarem o crescimento e a resiliência das plantas, as BPCPs podem reduzir a dependência de insumos, contribuindo para a sustentabilidade produtiva. Experimentos com *Priestia aryabhatai*, como o produto comercial Auras, demonstram benefícios na mitigação dos efeitos da seca, aumento de área radicular e manutenção da produtividade. Assim, pode-se ressaltar que as BPCPs representam uma ferramenta estratégica para fortalecer sistemas agrícolas mais resilientes, assegurando qualidade e rendimento do tomateiro em cenários de limitação hídrica, alinhando-se aos princípios da agricultura sustentável e à redução dos impactos ambientais da produção.

Palavras-chave: Clima; Produtividade; Sustentabilidade; Tecnologia.

ABSTRACT

Population growth and the intensification of climate change increase pressure on agriculture, especially with regard to water efficiency and the adoption of sustainable practices. The tomato, a crop of economic and nutritional relevance, has high sensitivity to water deficit, which compromises physiological processes, reduces productivity and affects fruit quality. To mitigate these impacts, technologies such as the use of bioinputs, especially plant growth promoting bacteria (PGPBs) of the genus *Priestia*, have been highlighted by promoting root development, improving nutrient absorption and regulating hormonal responses, even under water deficit. This review was conducted through qualitative bibliographical research in national and international scientific bases (2021-2025), prioritizing experimental studies and systematic reviews on tomato, water deficit and bioinputs. The development points out that, in addition to enhancing plant growth and resilience, PGPBs can reduce dependence on inputs, contributing to productive sustainability. Experiments with *Priestia aryabhatai*, such as the commercial product Auras, demonstrate benefits in mitigating the effects of drought, increasing root area and maintaining productivity. Thus, it can be emphasized that the PGPBs represent a strategic tool to strengthen more resilient agricultural systems, ensuring tomato quality and yield in water limitation scenarios, aligning with the principles of sustainable agriculture and reducing the environmental impacts of production.

Keywords: Climate; Productivity; Sustainability; Technology.

1 INTRODUÇÃO

Diante das projeções de aumento na demanda por alimentos nas próximas décadas, os desafios relacionados à sustentabilidade do setor agrícola têm-se intensificado, especialmente no que se refere à preservação ambiental, ao uso eficiente da água, à segurança alimentar e a gestão adequada dos resíduos gerados (Paredes Filho, Silva, Florentino, 2023). O aumento da frequência e intensidade de eventos climáticos extremos têm ocasionado impactos na agricultura, mas o efeito desses impactos a nível global gera grande preocupação devido a essa alta demanda no setor alimentício (Vijai, Worakamol, Elayaraja, 2023).

A escassez de água já é uma realidade em diversas regiões, e com o crescente aumento na produção de alimentos, a expansão da agricultura irrigada tende a crescer exponencialmente, como também em processos industriais. Esse aumento gera grande preocupação pois a irrigação utiliza cerca de 70% da água doce global, e sua quantidade varia de cultura, do clima local e do tipo de solo e de manejo utilizado (Ingrao *et al.*, 2023). Esse ponto gera reflexos nos níveis de preços, da produtividade e dos serviços, impactando na valoração do produto ao chegar ao consumidor (IBGE, 2023).

Além dos demais fatores conflitantes pelo uso da água como o setor urbano, industrial e agrícola, a escassez hídrica afeta diretamente processos fisiológicos fundamentais das plantas, como a fotossíntese, a absorção de nutrientes e o crescimento celular, gerando perdas significativas na qualidade e no rendimento das culturas. Esse cenário aumenta a competição entre plantas devido a sensibilidade ao déficit hídrico de algumas culturas, como espécies com baixa área radicular ou alta transpiração (Tabler *et al.*, 2023).

A água é uma variável primordial para garantir a produtividade e a qualidade do produto e, conseqüentemente, limita o desempenho fisiológico das plantas o que reduz a produtividade, incentiva adoção de tecnologias mais eficientes e ao manejo sustentável dos recursos hídricos. Neste cenário, o desenvolvimento de alternativas promissoras, como a irrigação de precisão, o manejo conservacionista do solo e o uso de bioinsumos tolerantes ao déficit hídrico (Rocha, Guimarães, Oliveira, 2024).

Considerando os bioinsumos como produtos biológicos compostos por microrganismos benéficos, reconhece-se seu potencial em estimular o crescimento vegetal, melhorar a absorção de água e nutrientes, o que pode contribuir para a qualidade final dos alimentos, como o tomate. A introdução desses microrganismos, capazes de produzir diversos metabólitos secundários, pode auxiliar as plantas a enfrentarem condições adversas, como seca e baixa umidade. Entre os mecanismos envolvidos, destaca-se a produção de fitormônios que estimulam o crescimento radicular, favorecendo o aumento da capacidade de absorção hídrica e nutricional pelas plantas (Pagliarini *et al.*, 2023; Corrêa *et al.*, 2025).

Esses bioinsumos, segundo Furquim, Nascimento e Corcioli, (2024) são potencialmente uma alternativa no agronegócio para atender a demanda populacional por alimentos, e a inserção deles na cadeia produtiva do tomate se torna promissora, pois é uma hortaliça de grande importância nutricional e econômica devido seu cultivo e consumo no mundo, se destacando pela aceitação do consumidor por suas características sensoriais.

A ocorrência de condições de seca configura um dos principais entraves à sustentabilidade dessa expansão, uma vez que o déficit hídrico afeta negativamente o crescimento vegetativo, o florescimento, a frutificação e o rendimento final da cultura. Além disso, a restrição hídrica compromete processos fisiológicos essenciais, como a fotossíntese, a assimilação de carbono e o balanço hídrico celular, resultando em frutos de menor calibre, redução da qualidade física e nutricional e maior suscetibilidade a estresses bióticos e abióticos, o que acarreta prejuízos econômicos significativos e limita a estabilidade produtiva (Coelho *et al.*, 2023 Marengo, 2024).

Assim, avaliar o efeito de microrganismos promotores de crescimento vegetal em condições de restrição hídrica na cultura do tomate pode representar um avanço importante para a adoção de tecnologias sustentáveis, contribuindo para a resiliência produtiva e a qualidade dos frutos mesmo em ambientes com limitação hídrica.

1.1 OBJETIVO

Realizar uma revisão do estado da arte sobre a cultura do tomateiro, abordando os efeitos do déficit hídrico na produção, o uso de bioinsumos e o papel das bactérias promotoras de crescimento de plantas (BPCPs) na mitigação desses estresses.

2 METODOLOGIA DA PESQUISA

Para elaboração deste capítulo foi realizada uma revisão de literatura de natureza qualitativa, baseada em pesquisa teórica realizada nas bases de dados científicas, como *SciELO*, *Scopus* e *Google Scholar*. A busca foi limitada a artigos publicados entre os anos de 2021 e 2025, e realizada com descritores relacionados ao tema como “Tomate”, “Déficit Hídrico”, “*Bacillus*”, “*Bacillus aryabhattai*”, e com a mudança de nomenclatura também foi utilizado o descritor “*Priestia aryabhattai*”, mantendo os dois termos utilizando operadores booleanos “AND” e “OR”. Foram priorizadas revisões sistemáticas, estudos experimentais e publicações em periódicos de alto impacto científico, no idioma inglês.

Após a etapa de busca e leitura dos resumos, os estudos selecionados foram avaliados na íntegra e analisados de forma descritiva e crítica, visando identificar tendências, lacunas e avanços na literatura científica relacionada ao tema. Os critérios de inclusão adotados

compreendem: (i) alinhamento temático com os objetivos da pesquisa; (ii) presença de dados experimentais ou revisões com rigor metodológico; (iii) publicação em periódicos científicos de alto impacto na área; e (iv) disponibilidade dos textos nos idiomas português, inglês ou espanhol. Foram excluídos trabalhos com dados inconclusivos, duplicação de conteúdo, resumos de eventos sem acesso ao texto completo e artigos que não abordam diretamente o tomate ou bioinsumos analisados.

3 DESENVOLVIMENTO

3.1 ASPECTOS GERAIS DA CULTURA DO TOMATE (*SOLANUM LYCOPERSICUM* L.)

O tomate exerce grande importância na economia mundial e brasileira devido a sua elevada adaptabilidade de plantio e à forte presença na mesa dos consumidores. De acordo com a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO), em 2022 a produção mundial de tomate atingiu cerca de 186 milhões de toneladas, evidenciando sua importância no cenário agrícola global (FAO, 2023). No Brasil, o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) reportou uma produção de aproximadamente 4,17 milhões de toneladas em 2023, e aponta uma produção estimada de tomate (safra 2024 atualizada em junho de 2025) de 4.67 milhões de toneladas (IBGE, 2023; IBGE, 2025).

A produção e o consumo de tomate vêm aumentando em todo o mundo, impulsionados principalmente pelo crescimento populacional, desempenhando um papel central na agricultura, na indústria alimentícia e na culinária de diversas culturas. Os frutos representam um componente importante na alimentação humana, sendo valorizados tanto pelo sabor quanto pelo valor nutricional. No entanto, trata-se de uma cultura altamente perecível, sujeita a perdas significativas no período pós-colheita. Por isso, é essencial adotar boas práticas agrícolas ao longo de todas as etapas do cultivo, tanto para o consumo *in natura* quanto para o processamento industrial (Machado *et al.*, 2025).

Dentro do setor olerícola, a produção de tomate destaca-se não apenas por sua relevância agrícola e nutricional, mas também por seu impacto socioeconômico expressivo. Trata-se de uma atividade que gera um elevado número de empregos diretos, em função da intensa demanda por mão de obra ao longo de toda a cadeia produtiva — desde o plantio e os tratamentos culturais até a colheita. Além disso, envolve a atuação de profissionais qualificados, tanto na operação de máquinas quanto na gestão das propriedades produtoras. Contudo, a cultura exige investimentos constantes, o que reforça a necessidade de manejo técnico eficiente e sustentável em todas as etapas (Rola, Santos, Burin, 2023).

O tomate, pertencente à família *Solanaceae*, é uma planta herbácea e sua fenologia apresenta estágios de germinação compostos pela formação das raízes, crescimento vegetativo integrando caule flexível, aumento das folhas, o surgimento das flores e pôr fim a frutificação. Seu sistema radicular é pivotante e profundo, com raízes principal, secundárias e de origem não primordial, promovendo com facilidade a absorção de nutrientes e água (Almeida, Oliveira, 2025). Os frutos são do tipo suculento, formados pelo epicarpo (casca) e pela polpa, a qual é composta por mesocarpo, endocarpo e sementes, podendo variar em forma, tamanho e cor, dependendo da cultivar (Fonseca, Megguer, 2023).

O tomateiro é considerado uma planta perene, embora seja conduzido como anual, especialmente em cultivos comerciais. Seu ciclo varia entre 4 e 7 meses, com colheita iniciando entre 45 e 55 dias após a floração ou 90 a 120 dias após a semeadura, especialmente em cultivos sob ambiente protegido (Almeida, Oliveira, 2025; Fonseca, Megguer, 2023).

As condições edafoclimáticas adversas e a incidência de doenças causadas por fungos, bactérias, vírus e nematoides podem ocasionar perda parcial ou total da produção, sendo manifestadas em diferentes partes da planta, desde a raiz até os frutos, comprometendo também da qualidade deles. Isso gera preocupações constantes para os produtores, e, diante disso, o cultivo em ambiente protegido é uma estratégia eficiente, pois possibilita maior controle fitossanitário, melhor manejo da irrigação e maior estabilidade climática (Cardoso *et al.*, 2024).

O tomate é reconhecido como uma fonte relevante de nutrientes e compostos bioativos, em particular os carotenoides que são pigmentos lipossolúveis abundantemente presente no fruto, que garantem a proteção contra o estresse oxidativo e na sinalização celular (Steckelberg, Conceição, 2025). No entanto, em razão de seu elevado teor de água e valor nutritivo, os tomates apresentam alta perecibilidade no período pós-colheita, tornando-se suscetíveis a doenças e alterações fisiológicas, sobretudo quando armazenados sob baixas temperaturas. Essas condições favorecem perdas nos parâmetros de qualidade dos frutos, como cor, textura, aroma e aparência, afetando diretamente sua aceitação comercial (Donjio *et al.*, 2023).

A busca por alimentos funcionais, que contenham compostos com ação antioxidante como carotenoides, ácidos graxos e fibras alimentares, que são capazes de reduzir ou prevenir efeitos prejudiciais à saúde tem se elevado devido a produção excessiva de radicais livres no organismo humano, sendo associada a danos celulares e ao desenvolvimento de diversas doenças crônicas. O tomate destaca-se como um alimento funcional relevante, por ser rico em vitamina C e compostos bioativos. Evidências científicas apontam que o consumo

regular desse fruto está relacionado à diminuição do risco de doenças cardiovasculares e de certos tipos de câncer, como diabetes e toxicidades (Alsina *et al.*, 2022; Santos *et al.*, 2024).

Apesar de sua importância, a produção de tomate enfrenta diversos desafios, como o alto custo de insumos, a incidência de pragas e doenças, as perdas pós-colheita e os danos mecânicos, além de limitações agronômicas relacionadas ao clima e manejo. Esses desafios reforçam a necessidade de alternativas tecnológicas sustentáveis, como o uso de bioinsumos, hidrogeis, o cultivo protegido e a adoção de boas práticas agrícolas (Machado *et al.*, 2025).

Diante de sua reconhecida relevância nutricional, econômica e funcional, aliada à sensibilidade a estresses bióticos e abióticos, a cultura do tomate exige a adoção de estratégias inovadoras que conciliem alta produtividade com práticas sustentáveis.

O uso de hidrogel na agricultura tem se apresentado como uma tecnologia sustentável promissora para mitigar os efeitos do déficit hídrico, especialmente em regiões com chuvas irregulares ou baixa disponibilidade de água. Ele é um polímero hidrofílico capaz de reter e liberar água gradualmente para as plantas, reduzindo perdas por evaporação e percolação. Seu uso na agricultura melhora a disponibilidade hídrica no solo, favorece o crescimento vegetal em períodos de estiagem, aumenta a eficiência do uso da água e potencializa a absorção de nutrientes, sendo uma alternativa eficaz para mitigar os efeitos do déficit hídrico (Silverio *et al.*, 2024).

No contexto de sustentabilidade, o uso de bioinsumos, especialmente as bactérias promotoras de crescimento de plantas (BPCPs), desponta como uma alternativa promissora para enfrentar os desafios impostos pelo déficit hídrico — temática que foi abordada nos próximos tópicos deste capítulo.

3.2 EFEITOS DO DÉFICIT HÍDRICO

O déficit hídrico, também conhecido como seca, é um fenômeno natural que ocorre quando há um desequilíbrio nas condições climáticas de uma região, caracterizado por baixos índices de precipitação e temperaturas elevadas de forma contínua. Em termos mais amplos, a seca corresponde a um período prolongado com precipitação inferior à média histórica, resultando em escassez de teor de água no solo. Trata-se de um dos desastres naturais mais impactantes do mundo, com consequências significativas nos âmbitos social e econômico, uma vez que compromete diretamente a produção agrícola, afeta a segurança alimentar e reduz a oferta de alimentos, dificultando o desenvolvimento sustentável desses setores (Castro, 2025; Gebrechorkos *et al.*, 2025).

Esse cenário tem se agravado nos últimos anos em razão das mudanças climáticas, que elevam a demanda evaporativa da atmosfera e intensificam a gravidade das secas. Além disso, podem ser influenciados por fatores físicos, como a baixa precipitação, ou econômicos, como a insuficiência de infraestrutura de irrigação, e por isso, torna-se necessário o monitoramento de algumas variáveis (Gebrechorkos *et al.*, 2025).

Nesse contexto, é importante compreender conceitos como balanço hídrico e evapotranspiração. O balanço hídrico avalia a interação entre o clima e a disponibilidade de água no solo em uma determinada região. Já a evapotranspiração corresponde à perda de água para a atmosfera, tanto pela evaporação do solo quanto pela transpiração das plantas (Gao *et al.*, 2023).

No setor agrícola, esta condição ocorre quando a água disponível no solo se torna insuficiente para atender às necessidades das plantas durante seu desenvolvimento vegetativo, limitando processos fisiológicos como a transpiração e absorção de nutrientes pelas raízes. Essa limitação impede a planta de alcançar seu potencial produtivo, podendo impedir a formação dos frutos ou comprometer seus padrões de qualidade, o que acarreta prejuízos significativos aos produtores. Esse quadro ocorre, em parte, quando a taxa de evapotranspiração excede a reposição por absorção radicular, levando à perda de turgor celular, que é responsável pela firmeza da planta, e ao fechamento estomático, impactando negativamente o crescimento e a produtividade (Feng *et al.*, 2025).

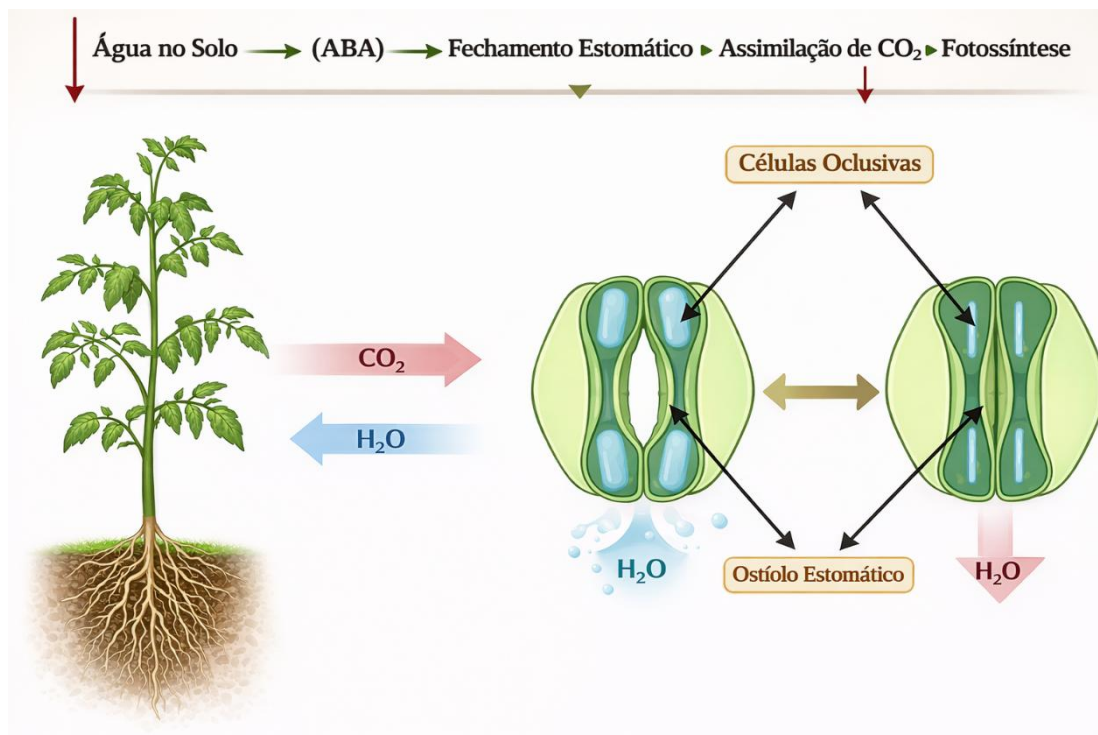
A escassez de água de boa qualidade para irrigação, aliada à ocorrência de chuvas irregulares e às altas temperaturas, contribuem para que a água disponível apresente, com frequência, elevados níveis de salinidade, comprometendo o desenvolvimento das culturas. A salinidade excessiva afeta as plantas por meio do estresse osmótico, que dificulta a absorção de água pelas raízes, e da toxicidade iônica, resultante do acúmulo de íons como sódio e cloreto nos tecidos vegetais. Esses efeitos danificam as células, interferem na fotossíntese e limitam o crescimento, resultando em queda de produtividade (Guedes *et al.*, 2024).

No tomateiro, essa condição resulta na diminuição do tamanho das folhas, peso seco dos brotos, índice de área foliar, além de causar danos estruturais aos tecidos vegetais. Também pode afetar os níveis de pigmentos foliares, como a clorofila, cujas variações podem estar relacionadas à genética da planta. Em condições de déficit hídrico, é comum observar queda na concentração de pigmentos, o que pode estar ligado tanto à redução da síntese quanto ao aumento da degradação dessas substâncias (Lima, Rezende, 2025; Zahedifar *et al.*, 2025).

Além disso, fatores relacionados à disponibilidade de água no solo, como a perda da pressão interna que a água exerce contra a parede celular de uma planta que faz com que ela

fique firme, e as alterações nas trocas gasosas, influenciam diretamente a concentração e a fluorescência da clorofila nas folhas do tomateiro (Lima, Rezende, 2025). Como resposta à escassez de água, as plantas ativam mecanismos de tolerância, como o fechamento estomático (estruturas localizadas na superfície foliar responsáveis pela regulação das trocas gasosas e da perda de água) devido a elevados níveis de ácido abscísico (ABA) nas folhas, enrolamento foliar, modificação na anatomia das folhas como perda da turgidez e alterações no desenvolvimento radicular. Como consequência, ocorre a diminuição da transpiração foliar e da assimilação de dióxido de carbono, além da modulação de processos dependentes de fatores ambientais, como luz e temperatura. Dessa forma, o fechamento estomático (Figura 1) configura-se como uma das principais respostas fisiológicas das plantas ao déficit hídrico do solo (Cruz *et al.*, 2023; Zanetti *et al.*, 2024).

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



Fonte: Gerado por IA a partir de Zanetti *et al.* (2024).

O déficit hídrico provoca diversas alterações nas plantas, além da degradação da clorofila, o fechamento dos estômatos e o ajuste osmótico celular, tem como resultado a redução da absorção de dióxido de carbono. Da mesma forma, estimula a produção de espécies reativas de oxigênio (EROs), que provocam danos às membranas celulares, ao DNA e às proteínas. A elevação dos níveis de malonaldeído (MDA) é um indicador desses danos, enquanto o aumento da atividade de enzimas antioxidantes reflete a resposta de defesa da planta (Almeida, Costa, 2023).

Nesse processo, a fotorrespiração, contribui para a geração de peróxido de hidrogênio (H_2O_2), que atua como sinalizador celular em condições de estresse. O acúmulo de H_2O_2 geralmente é acompanhado por maior atividade da enzima catalase (CAT), responsável por decompor esse radical em água e oxigênio, evitando o estresse oxidativo e protegendo as células vegetais (Almeida, Costa, 2023; Yang *et al.*, 2023).

Sob este tipo de estresse, há redução da resposta fisiológica das plantas, limitando a absorção e translocação de nutrientes. Esse processo, como os que ocorrem por fluxo de massa, consistem diretamente da quantidade de água disponível. Assim, quando a água diminui, a capacidade da planta de absorver e transportar nutrientes também é reduzida (Zahedifar *et al.*, 2025).

Na produção de tomate, o déficit hídrico compromete a qualidade dos frutos, reduzindo seu peso e teor de água, enquanto diminui a retenção de cálcio, o que compromete o rendimento físico. Por outro lado, essa condição pode promover o aumento dos compostos bioativos, como açúcares solúveis, flavonoides, carotenoides e vitamina C, elevando indicadores sensoriais e nutricionais (Wadood *et al.*, 2024). Ainda assim, os impactos negativos do déficit hídrico exigem estratégias eficazes de mitigação.

Nesse contexto, o uso de bioinsumos representa uma alternativa promissora e sustentável para enfrentar os efeitos do déficit hídrico, por meio da regulação de processos fisiológicos, da melhoria na absorção de água e nutrientes, e da ativação de mecanismos antioxidantes, reduzindo os danos aos tecidos vegetais e favorecendo a manutenção da qualidade dos frutos.

3.3 BIOINSUMOS

Diante das crescentes discussões sobre sustentabilidade e segurança na produção de alimentos, o setor agropecuário tem buscado inovações que contribuam para a redução de custos e perdas, além de promover o aproveitamento mais eficiente de produtos e subprodutos (Taneja *et al.*, 2023). Um dos principais desafios da agricultura sustentável é o controle de pragas e doenças de forma ambientalmente segura e economicamente viável. Nesse contexto, o uso de bioinsumos tem ganhado destaque como uma estratégia promissora, especialmente em cultivos de grande escala. Esses insumos biológicos vêm demonstrando eficácia no manejo fitossanitário, com baixo risco de contaminação ambiental e contribuição positiva para a saúde do agroecossistema (Ferraro *et al.*, 2023).

Devido a tendência visível no crescimento do setor de bioinsumos nacional, foi instituído o Decreto nº 10.375/2020, o qual criou o Programa Nacional de Bioinsumos e o

Conselho Estratégico do Programa Nacional de Bioinsumos, que define bioinsumo conforme o artigo 2º como:

Produto, processo ou 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, desenvolvimento e resposta de animais, plantas e microrganismos, interagindo com processos físico-químicos e biológicos” (Brasil, 2025).

Recentemente, a Lei nº 15.070/2024 regulamentou o uso de bioinsumos que define regras para produção, registro e fiscalização, e permite que produtores rurais criem seus próprios bioinsumos para uso pessoal, desde que respeitadas normas técnicas e sanitárias, visando o uso sustentável e seguro na agricultura (Brasil, 2024). O desenvolvimento de um produto biológico segue um processo regulamentado por normas específicas das áreas agrícola, ambiental e sanitária, que abrangem desde o acesso ao material genético até a comercialização. As etapas envolvem a coleta e identificação do material biológico, realização de testes laboratoriais e em campo, formulação do produto e, por fim, o registro junto aos órgãos competentes para sua liberação no mercado (Embrapa, 2023).

A Embrapa define os bioinsumos como insumos desenvolvidos a partir de organismos vivos ou de seus derivados, produtos desenvolvidos a partir de enzimas, extratos, macro e microrganismos (como fungos e bactérias), entre outros, destinados ao controle biológico. Com aplicações voltadas à nutrição vegetal, os promotores de crescimento de plantas, os mitigadores de estresses bióticos e abióticos (Embrapa, 2021).

Microrganismos são amplamente utilizados na agricultura devido às suas múltiplas funções benéficas. Atuam como fixadores de nitrogênio atmosférico, solubilizadores de macro e micronutrientes, controladores biológicos de pragas, antagonistas de patógenos e promotores do crescimento vegetal. Além disso, seu uso associado a práticas como plantio direto, rotação de culturas, aplicação de remineralizadores de solo e cobertura vegetal contribui significativamente para a regeneração da biodiversidade, em especial a microbiológica, promovendo a recuperação da saúde do solo, que é um dos principais ativos do agricultor (Minaré *et al.*, 2024).

Os bioinsumos são classificados conforme sua ação nas plantas, podendo atuar como bioestimulantes, biofertilizantes ou defensivos biológicos. Essa categorização também leva em conta sua origem, sendo os três principais grupos: microbianos, bioquímicos e macrobianos. Os bioinsumos microbianos são compostos por fungos, bactérias, protozoários

ou vírus, sendo utilizados no controle de pragas e patógenos. Já os bioinsumos bioquímicos são obtidos a partir de extratos vegetais e processos fermentativos, atuando na proteção e na regulação de processos fisiológicos das plantas. Por fim, os macrobianos são organismos vivos como ácaros e insetos benéficos, utilizados principalmente no controle biológico de pragas como biofungicidas, bionematicidas e bioinseticidas, promovendo uma proteção eficaz e sustentável às culturas agrícolas (Feitosa *et al.*, 2024).

Os gêneros *Bacillus* (bactérias) e *Trichoderma* (fungos) destacam-se entre os principais microrganismos utilizados como bioinsumos na agricultura, por promoverem o crescimento vegetal e aumentarem a tolerância a estresses bióticos e abióticos, ainda que atuem por mecanismos distintos (Ma *et al.*, 2025).

Bacillus, formador de esporos e tolerante a condições adversas, destaca-se na produção de fitormônios, solubilização de nutrientes, fixação de nitrogênio e formação de biofilmes protetores nas raízes, favorecendo a absorção de água e nutrientes, inclusive sob déficit hídrico. Dentre as bactérias tradicionalmente classificadas no gênero *Bacillus*, destaca-se *Priestia aryabhattai*, espécie recentemente reclassificada com base em evidências genômicas (Ma *et al.*, 2025; Etesami; Jeong; Glick, 2023).

Já *Trichoderma*, produtor de conídios e clamidósporos, coloniza rapidamente a rizosfera e se sobressai no controle biológico de patógenos, degradando hifas de fungos e liberando compostos bioestimulantes, além de melhorar a arquitetura radicular e a qualidade do solo. O uso combinado desses microrganismos pode potencializar benefícios, desde que haja compatibilidade entre cepas e condições ambientais, sendo a escolha guiada pelas metas agronômicas e pelo contexto de cultivo (Ma *et al.*, 2025; Etesami; Jeong; Glick, 2023).

Segundo Corrêa *et al.* (2025), bioinsumos como microrganismos benéficos, extratos vegetais e compostos orgânicos atuam no manejo integrado de pragas e doenças, no estímulo ao crescimento vegetal e na melhoria da fertilidade do solo, o que diminui a necessidade de defensivos e fertilizantes sintéticos. Essa substituição parcial ou total reduz impactos negativos, como a contaminação de recursos hídricos, a degradação da biodiversidade e os riscos à saúde humana.

Assim, a integração de bioinsumos nos sistemas de produção não apenas substitui parte dos agroquímicos, mas também promove benefícios ambientais, econômicos e sociais, consolidando-se como um pilar das estratégias de agricultura sustentável no Brasil e no mundo.

3.1.1 Bactérias promotoras do crescimento de plantas (BPCPs)

Bioinsumos são produtos de origem biológica, como microrganismos benéficos, extratos vegetais ou compostos naturais, que promovem o crescimento vegetal, melhoram a

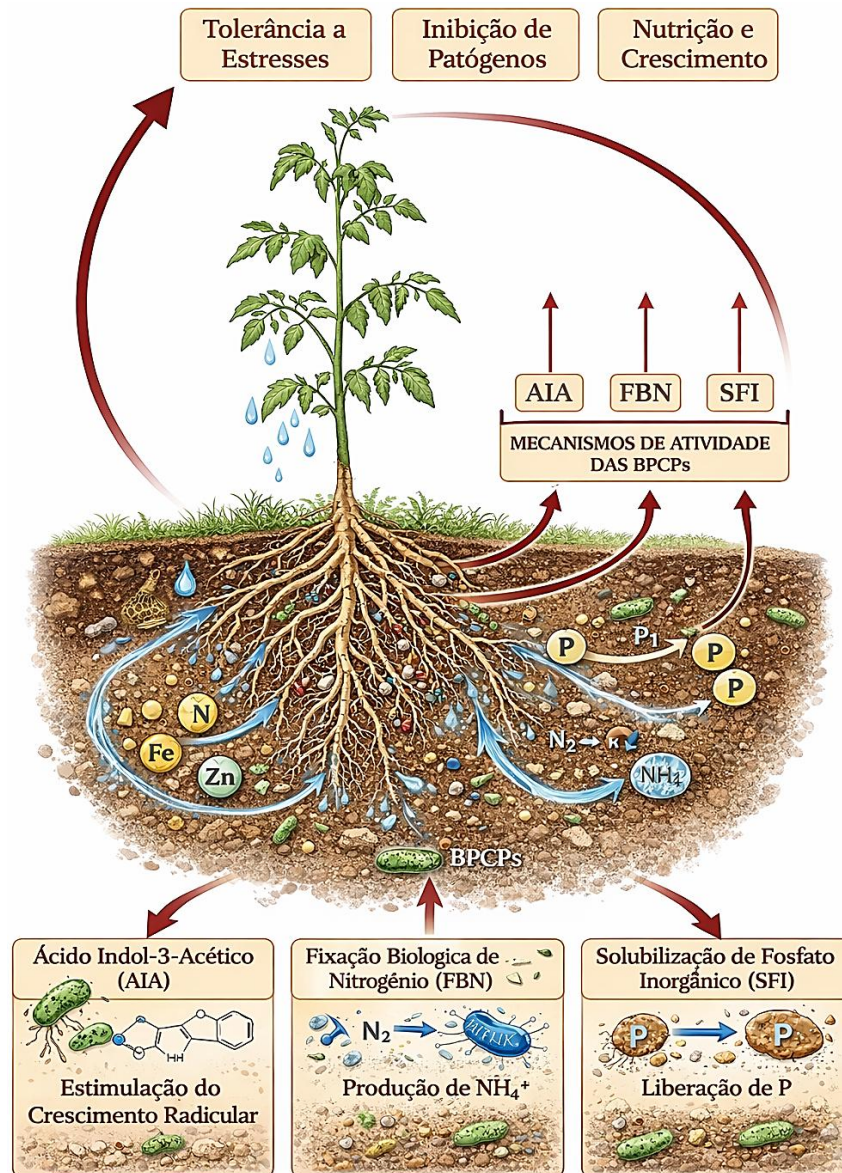
qualidade do solo e atuam no controle de estresses bióticos e abióticos com menor impacto ambiental. Entre esses, as bactérias promotoras do crescimento de plantas, especialmente do gênero *Bacillus*, vêm se destacando como ferramentas eficazes e sustentáveis no enfrentamento da escassez hídrica (Orozco-Mosqueda; Santoyo; Glick, 2023).

Esses microrganismos podem ser inoculados na forma líquida ou turfosa em diversas culturas, por meio do tratamento de sementes, aplicação no sulco de semeadura ou via pulverização foliar. Essas bactérias contribuem para a melhoria da eficiência no uso da água por meio de múltiplos mecanismos fisiológicos e bioquímicos. Entre eles, destaca-se o estímulo ao desenvolvimento radicular, que amplia a capacidade da planta de explorar camadas mais profundas do solo e acessar reservas hídricas adicionais (Devi *et al.*, 2023).

Sua atuação ocorre de maneira direta e indireta, melhorando a eficiência do uso da água, e de nutrientes (como fósforo e potássio) por meio da produção de compostos bioativos, como aminoácidos, e da secreção de fitormônios, incluindo ácido indol-3-acético (AIA), citocininas, giberelinas e etileno, além de outros mecanismos reguladores do crescimento vegetal, favorecendo a ação da enzima ACC desaminase. (Mahreen *et al.*, 2023). Além disso, a ação da enzima ACC desaminase por essas bactérias degrada o precursor do etileno, hormônio que, em níveis elevados, pode inibir o crescimento vegetal em condições adversas. Ao reduzir a concentração de etileno, esses microrganismos mitigam os impactos do déficit hídrico.

Esses processos contribuem para o incremento da Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN) e da Solubilização de Fosfato Inorgânico (SFI), como demonstrado na Figura 2, promovendo melhorias na nutrição e no crescimento das plantas, bem como na inibição de patógenos e no aumento da tolerância a estresses abióticos. (Gómez-Godínez *et al.*, 2023; Mahreen *et al.*, 2023).

Figura 2 - Mecanismos de atividade das BPCPs com ácido indol-3-acético (AIA), Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN) e Solubilização de Fosfato Inorgânico (SFI).



Fonte: Gerado por IA a partir de Zanetti *et al.* (2024).

Dentro do gênero *Bacillus* temos a rizobactéria *Bacillus aryabhattai*, que é encontrada na rizosfera do mandacaru (*Cereus jamacaru*), importante cacto da região da Caatinga, e atua eficazmente na mitigação dos efeitos adversos da falta de água quando inoculada a cultivar de estudo (Embrapa, 2021). Esses microrganismos promovem o crescimento radicular, preservam a integridade celular sob estresse osmótico e mantêm a atividade fotossintética (Devi *et al.*, 2023).

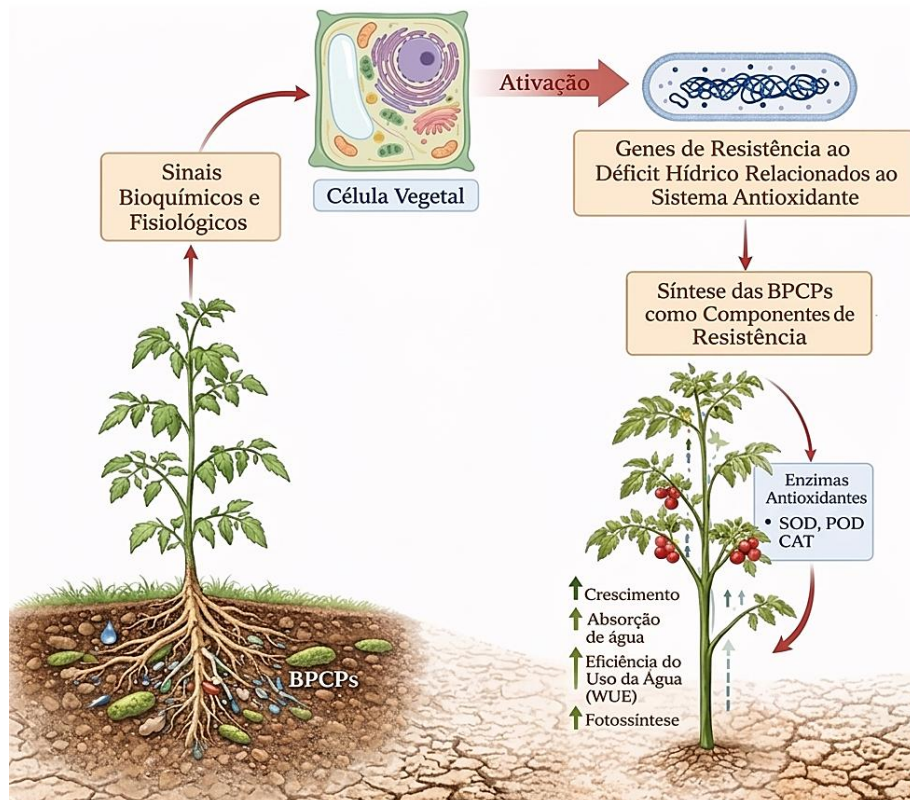
A Embrapa (2021) desenvolveu o Auras[®], primeiro produto comercial à base de *Bacillus aryabhattai* destinado a mitigar os efeitos do estresse hídrico nas plantas. Este bioinsumo é capaz de promover o crescimento das culturas mesmo em condições de seca,

reduzindo os impactos das estiagens prolongadas, minimizando riscos produtivos e contribuindo para que as lavouras expressem todo o seu potencial.

Um estudo realizado com tomateiro demonstrou que a aplicação de fertilizantes microbianos à base de *Bacillus* promoveu aumento da taxa fotossintética, expansão do sistema radicular, melhoria na eficiência do uso da água e manutenção do desempenho fisiológico, mesmo sob condições de irrigação reduzida (Liu *et al.*, 2023). Estudos em outras culturas como soja e milho corroboram esses achados: a inoculação com *Bacillus aryabhattai* induz tolerância à seca (Mun *et al.*, 2024; Sousa *et al.*, 2023).

Dessa forma, a aplicação das BPCPs configura-se como uma estratégia promissora para o aumento da resistência das plantas a estresses abióticos, especialmente ao déficit hídrico. A colonização radicular por essas bactérias desencadeia sinais bioquímicos e fisiológicos que ativam genes associados à resistência ao déficit hídrico, envolvendo múltiplas rotas metabólicas, incluindo genes associados ao sistema antioxidante (SOD, POD e CAT). Esses mecanismos contribuem para o ajuste osmótico celular, o controle estomático e a manutenção do balanço redox, além de promoverem alterações morfológicas e histológicas nos tecidos vegetais, resultando em maior eficiência fisiológica e mitigação 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: Gerado por IA a partir de Zanetti *et al.* (2024).

Com o avanço das análises filogenômicas e genômicas, pesquisadores demonstraram que o gênero *Bacillus* reunia linhagens evolutivamente distintas. Atualmente, a bactéria conhecida taxonomicamente como *Bacillus aryabhatai* é denominada *Priestia aryabhatai*, anteriormente classificada no gênero *Bacillus*, agora pertence ao gênero *Priestia* designado à família *Bacillaceae* da ordem *Bacillales* e tem sido reconhecida como uma bactéria promotora do crescimento de plantas, com potencial para mitigação de estresses abióticos (Shahid *et al.*, 2022).

O gênero *Priestia* trata-se de um agrupamento filogenético fortemente sustentado, constituído por sete espécies anteriormente classificadas no gênero *Bacillus*, com nomenclatura validamente publicada: *Bacillus megaterium*, *B. abyssalis*, *B. aryabhatai*, *B. endophyticus*, *B. filamentosus*, *B. flexus* e *B. koreensis* (Gupta *et al.*, 2020).

Além de sua relevância taxonômica, esta BPCP tem se destacado por apresentar múltiplos mecanismos associados à promoção do crescimento vegetal, incluindo a produção de fitormônios, a solubilização de nutrientes, a melhoria da arquitetura radicular e a indução de tolerância a estresses abióticos, como déficit hídrico e salinidade. Esses efeitos contribuem para o aumento da eficiência fisiológica das plantas, favorecendo a absorção de água e nutrientes e a manutenção do metabolismo vegetal sob condições adversas. Dessa forma, a utilização de *P. aryabhatai* como bioinsumo representa uma estratégia promissora para o desenvolvimento de sistemas agrícolas mais resilientes e sustentáveis (Wahab *et al.*, 2022).

Atualmente, aproximadamente 10 milhões de hectares de áreas agrícolas no Brasil utilizam algum tipo de bioinsumo voltado ao controle biológico de pragas, enquanto cerca de 40 milhões de hectares são manejados com o uso de bactérias promotoras de crescimento vegetal (Brasil 2024).

Assim, as BPCPs configuram-se como solução sustentável para mitigar os efeitos do déficit hídrico, promovendo produtividade e qualidade mesmo sob estresse. Com mecanismos que incluem estímulo radicular, modulação hormonal e melhoria na absorção de nutrientes, esses microrganismos, exemplificados por produtos como o Auras, contribuem para reduzir a dependência de insumos e fortalecer sistemas agrícolas mais resilientes.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A seca configura-se como um dos principais estresses abióticos limitantes da produtividade agrícola, representando um desafio crescente diante do aumento populacional e da necessidade de assegurar a segurança alimentar de forma sustentável. Nesse contexto, o uso de bactérias promotoras do crescimento de plantas (BPCPs) destaca-se como uma alternativa

promissora para a mitigação dos efeitos negativos do déficit hídrico. Os resultados obtidos neste estudo demonstram que a aplicação dessas bactérias pode contribuir positivamente para a tolerância das plantas ao déficit hídrico, refletindo em melhorias no desempenho produtivo e oferecendo ao produtor uma estratégia viável para sistemas agrícolas sob limitação de água.

Além disso, o uso de BPCPs insere-se em um setor em expansão, tanto no setor da agricultura quanto da pesquisa científica, impulsionado pela identificação de novas estirpes e pela consolidação de seus benefícios agrônômicos. Dessa forma, os achados deste trabalho reforçam o potencial desses microrganismos como ferramentas sustentáveis no enfrentamento dos desafios impostos pelas mudanças climáticas, contribuindo para sistemas produtivos mais resilientes e eficientes.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, F. H. M. de; OLIVEIRA, A. H. DOENÇAS, PRAGAS E DISTÚRBIOS FISIOLÓGICOS EM TOMATEIRO (*Solanum lycopersicum* L.). **Editora Impacto Científico**, p. 47-63, 2025.

ALMEIDA, G. M.; COSTA, A. C. **Mecanismos de tolerância ao déficit hídrico e a alta temperatura em plantas de girassol tratadas com compostos mitigadores**. Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em Ciências Agrárias – Agronomia, 81 p., Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde, 2023.

ALSINA, I.; ERDBERGA, I.; DUMA, M.; ALKSNI, R.; DUBOVA, L. Changes in Greenhouse Grown Tomatoes Metabolite Content Depending on Supplemental Light Quality. **Frontiers in Nutrition**. 9:830186. doi: 10.3389/fnut.2022.830186.

BRASIL. **Decreto nº 10.375, de 26 de maio de 2020**. Institui o Programa Nacional de Bioinsumos. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 27 maio 2020. Disponível em: <<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/inovacao/bioinsumos/o-programa/marco-regulatorio-1/programa-nacional-de-bioinsumos-decreto-no-10-375-de-26-de-maio-de-2020>>. Acesso em: 18 jul. 2025.

BRASIL. **Lei nº 15.070, de 26 de dezembro de 2024**. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 27 dez. 2024. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2024/lei/15070.htm. Acesso em: 18 jul. 2025.

BRASIL. **Bioinsumos como alternativa a fertilizantes químicos em gramíneas**: Uma análise sobre aspectos de inovação do setor. Ministério da Agricultura e Pecuária. Secretaria de Inovação, Desenvolvimento Sustentável, Irrigação e Cooperativismo. Brasília, DF: MAPA/SDI, 2024. Disponível em: <<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/inovacao/bioinsumos/o-programa/estudos-estrategicos/FBNemGramineas.pdf>>. Acesso em: 11 ago. 2025.

CARDOSO, D. B.; BORELLI, V. A. DA S.; PUTTI, F. F.; GÓES, B. C. Horticultura no Brasil: Desafios e oportunidades na produção e sustentabilidade do tomate. **Revista Tema On-Line**, v. 2, n. 2, 2024.

CASTRO, C. N. de. **Semiárido, escassez hídrica e articulação de políticas públicas**. Rio de Janeiro: Ipea, fev. 2025. 48 p.: il. (Texto para Discussão, n. 3086). DOI: <https://dx.doi.org/10.38116/td3086-port> 2025.

COELHO, M. C.; RODRIGUES, A. S.; TEIXEIRA, J. A.; PINTADO, M. E. Integral valorisation of tomato by-products towards bioactive compounds recovery: Human health benefits. **Food Chemistry**, v. 410, p. 135319, 2023.

CRUZ, N. T.; PORTO, E. M. V.; RAMOS, B. L. P.; SANTOS, H. P.; SEIXAS, A. A.; SANTOS, A. P. da S. Estresse hídrico em plantas forrageiras: uma breve revisão. **Revista Científica Rural**, Bagé-RS, volume25, nº1, ano 2023. ISSN 2525-6912. DOI: <https://doi.org/10.29327/246831.25.1-14>

DEVI, S.; Sharma, S., Tiwari, A., Bhatt, A. K., Singh, N. K., Singh, M., ... & Kumar, A. Screening for multifarious plant growth promoting and biocontrol attributes in bacillus strains isolated from indo gangetic soil for enhancing growth of rice crops. **Microorganisms**, v. 11, n. 4, p. 1085, 2023. <https://doi.org/10.3390/microorganisms11041085>

DONJIO, R. T.; NGUEMEZI, J. A., ANOUMAA, M.; PHOUNZONG, E. T.; KENFACK, J. O.; FONKOU, T. Usando a Metodologia de Superfície de Resposta para Otimizar Formulações de Revestimentos Comestíveis para Retardar o Amadurecimento e Preservar a Qualidade Pós-colheita de Tomates. **Journal of Food Quality**, v. 2023, ed. 1. <https://doi.org/10.1155/2023/1019310>

EMBRAPA. **Bactéria encontrada no mandacaru vira bioproduto que promove tolerância à seca em plantas**. 2021. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/60941801/bacteria-encontrada-no-mandacaru-vira-bioproduto-que-promove-tolerancia-a-seca-em-plantas#:~:text=suportar%20a%20seca.-,A%20rizobact%C3%A9ria%20Bacillus%20aryabhatai%20%C3%A9%20a%20base%20de%20um%20novo,mesmo%20em%20condi%C3%A7%C3%B5es%20de%20seca>>. Acesso em: 19 jul. 2025.

EMBRAPA. **Bioinsumos**: Tendência de crescimento no Brasil. 2023. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/85620702/bioinsumos-tendencia-de-crescimento-no-brasil?utm_source=chatgpt.com>. Acesso em: 18 jul. 2025.

EMBRAPA. **Portifólio Insumos Biológicos**: Menos insumos sintéticos, mais economia e maior sustentabilidade. Brasília: Embrapa, 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/portfolio/insumos-biologicos>. Acesso em: 18 jul. 2025.

FAO. 2023. Agricultural production statistics 2000–2022. **FAOSTAT Analytical Briefs**, No. 79. Rome. <https://doi.org/10.4060/cc9205en>

FEITOSA, P. M.; Santos, C. C.; Ribeiro, L. M.; Dias, J. R. P. C.; Proence, V. S. Potencial do uso de extratos de algas na agricultura sustentável. Manejo fisiológico e nutricional de plantas: **Abordagens práticas na agricultura**, v. 2, p. 78-98, 2024. Dói: <https://dx.doi.org/10.37885/240616886>

FENG, K.; WANG, S.; WANG, Y.; LI, Y.; JIANG, T.; HUANG, S.; WANG, F.; SU, X.; ZHANG, Z. Spatio-temporal characteristics and multivariate recurrence period of agricultural

drought in Northwestern China. **Sci Rep** **15**, 23462 (2025). <https://doi.org/10.1038/s41598-025-04473-8>

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.

FONSECA, R. S. A.; MEGGUER, C. A. **Componentes de produção e compostos bioativos em tomateiro cultivado em diferentes espectros luminosos**. Dissertação apresentada, como parte das exigências para obtenção de título de Mestre em olericultura, no Programa de Pós-Graduação em Olericultura do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Morrinhos – Área de Concentração Olericultura. 2023.

FURQUIM, M. G. D.; NASCIMENTO, A. dos R.; CORCIOLI, G. Características agroprodutivas dos principais híbridos de tomate de mesa cultivados em Goiás: uma abordagem exploratória e descritiva. **Revista Principia**, v. 61, n. 2, p. 345-362, 2024.

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 SemiArid Areas. **Agronomy**, v.13, n.4, p.1-8, 2023.

GEBRECHORKOS, S. H.; SHEFFIELD, J.; VICENTE-SERRANO, S.M.; FUNK, C.; MIRALLES, D. G.; PENG, J.; DYER, E.; TALIB, J.; BECK, H. E.; SINGER, M. B.; DADSON, S. J. Warming accelerates global drought severity. **Nature** **642**, 628–635 (2025). <https://doi.org/10.1038/s41586-025-09047-2>

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. 1668, 2023.

GUEDES, M. A.; LIMA, G. S. de; GHEY, H. R.; SOARES, L. A. dos A.; SILVA, L. de A.; OLIVEIRA, V. K. N.; BRITO, L. A.; SILVA, A. A. R. da. H₂O₂ as attenuator of salt stress on the physiology and growth of hydroponic cherry tomato. **Revista Caatinga**, v. 37, p. e12002, 2024.

GUPTA, R.S.; PATEL, S.; SAINI, N.; CHEN, S. (2020) Demarcação robusta de 17 clados distintos de espécies de *Bacillus*, propostos como novos gêneros de *Bacillaceae*, por meio de análises filogenômicas e genômicas comparativas: descrição de *Robertmurraya kyonggiensis* sp. nov. e proposta de um gênero *Bacillus* emendado, limitando-o apenas aos membros dos clados de espécies *Subtilis* e *Cereus*. **Int J Syst Evol Microbiol** 70(11):5753–5798.

IBGE. **Sistema de Contas Econômicas Ambientais da Água do Brasil: 2018 - 2020**. Rio de Janeiro, 2023. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/contas->

nacionais/20207-contaseconomicas-ambientais-da-agua-brasil.htmlL?=&t=sobre>. Acesso em: 17 jul. 2025.

IBGE. **Produção de Tomate**. 2023. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/tomate/br>>. Acesso em: 01 ago. 2025.

IBGE. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola**: Tabela 7832 - Área plantada, área colhida, produção e rendimento médio, por ano da safra e produto das lavouras. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/7832#resultado>>. Acesso em: 01 ago. 2025.

INGRAO, C., STRIPPOLI, R., LAGIOIA, G., & HUISINGH, D. Water scarcity in agriculture: An overview of causes, impacts and approaches for reducing the risks. **Heliyon**, v. 9, n. 8, 2023.

LIMA, E. F. de; REZENDE, R. Pigmentos foliares no tomateiro em função da reposição hídrica e aplicação de silício na cultura. **Revista Campo Digital**, v. 20, 2025.

LIU, J.; Li, H.; Yuan, Z. Feng, J. Chen, S.; Sun, G.; ... Hu, T. Effects of microbial fertilizer and irrigation amount on growth, physiology and water use efficiency of tomato in greenhouse. **Scientia Horticulturae**, v. 323, p. 112553, 2024.

MUN, B. G.; HUSSAIN, A.; PARK, Y. G.; KANG, S. M.; LEE, I. J.; YUN, B. W. The PGPR *Bacillus aryabhattai* promotes soybean growth via nutrient and chlorophyll maintenance and the production of butanoic acid. **Frontiers in Plant Science**, v. 15, p. 1341993, 2024.

MA, Y.; ZUOHEREGULI, K.; ZHANG, L.; KANG, Y.; SHI, L.; XU, H.; RUAN, Y.; WEN, T.; MEI, X.; DONG, C.; XU, Y.; SHEN, Q. Soil Microbial Mechanisms to Improve Pear Seedling Growth by Applying *Bacillus* and *Trichoderma*-Amended Biofertilizers. **Plant, Cell & Environment**, v. 48, n. 6, p. 3968-3980, 2025.

MACHADO, T. DE A.; FERNANDES, H. C.; GUIMARÃES, C. M.; MEGGUER, C. A.; COSTA, W. P. DA; SANTOS, F. L.; SANTOS, N. T. (2025) Physicochemical Attributes of Tomatoes after Different Forms of Harvesting and Transportation for Industrial Processing. **PLoS ONE** 20(4): e0319668. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0319668>

MAHREEN, N.; Yasmin, S.; Asif, M.; Yahya, M.; Ejaz, K.; Yousaf, S.; ... Arif, M. Mitigation of water scarcity with sustained growth of Rice by plant growth promoting bacteria. **Frontiers in Plant Science**, v. 14, p. 1081537, 2023.

CORRÊA, G. de S. P. M; C., QUEIROZ, A. T. da S.; SILVA, M. P. da; Mello, M. E. de; Oliveira, T. M. L.; Laylles, C. A.; FRADE, L. F. da S.; SANTOS, J. B. dos; SILVA, C. M. da; SILVA, A V. da. Use of bioinputs in sustainable agriculture: Trends, challenges and perspectives for reducing the use of agrochemicals. **Environmental & Social Management Journal/Revista de Gestão Social e Ambiental**, v. 19, n. 5, 2025.

MINARÉ, R.; FERREIRA, B. W.; ROLIM, G. da S.; SEIBERT, J. B.; DIOSTI, P. F. R.; FONTANA, D. C.; BELLINI, M. R.; SILVA, F. R. da; OLIVEIRA, J. R. de; COUTINHO, C. R.; FIGUEIREDO, F. R. A.; SOUSA NETO, E. P. de; DUARTE, F. R. M.; LIRA, A. G. de; MAIA, A. V. P.; OKURA, M. H.; MONNERAT, R.; CASTRO, M. T. de; MONTALVÃO, S.

C. L. Produção de bioinsumos na fazenda avança com nova lei. **Revista Cultivar**, 2024. Disponível em: <https://www.revistacultivar.com.br/artigos/producao-de-bioinsumos-na-fazenda-avanca-com-nova-lei?utm_source>. Acesso em: 18 jul. 2025.

OROZCO-MOSQUEDA, M. D. C.; SANTOYO, G.; GLICK, B. R. Recent advances in the bacterial phytohormone modulation of plant growth. **Plants**, v. 12, n. 3, p. 606, 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. 1700, 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.

ROCHA, L. O. de S.; GUIMARÃES, C. R. R.; OLIVEIRA, R. A. P. de. Exploração Do Uso Eficiente de Recursos Hídricos Na Agricultura: Investigação de Técnicas de Irrigação e Tecnologias Para a Minimização Do Desperdício de Água. **REVISTA FOCO**, v. 17, n. 4, p. e4950-e4950, 2024.

ROLA, R. F. B.; SANTOS, G. G. M. dos; BURIN, P. C. Cultivo de olerícolas: potencial econômico, relevância social e benefícios ao solo. **Revista Magsul de Agronomia**, 2023.

SANTOS, R. DA S.; SOUZA, G. M.; MARQUES, A. T.; BELCHIOR, S. M. S. DE; SILVA, O. S. DA. Revestimento do corante licopeno presente no tomate como alternativa de suplementação alimentar. **Research, Society and Development**, v. 13, n. 1, p. e2313144485-e2313144485, 2024.

SHAHID, M., ZEYAD, M. T., SYED, A., SINGH, U. B., MOHAMED, A., BAHKALI, A. H., ... & PICHTEL, J. Stress-tolerant endophytic isolate *Priestia aryabhattai* BPR-9 modulates physio-biochemical mechanisms in wheat (*Triticum aestivum* L.) for enhanced salt tolerance. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 19, n. 17, p. 10883, 2022.

SILVERIO, J. M.; SANTOS, J. K. V. dos; DA SILVA, M. S.; SCALON, S. D. P. Q.; SANTOS, C. C.; REIS, L. C.; LINNÉ, J. A. Does hydrogel help in the mitigation and recovery of *Eugenia myrcianthes* Nied. under water stress? **Revista Caatinga**, v. 37, p. e12000-e12000, 2024.

STECKELBERG, R. M. de B.; CONCEIÇÃO, E. C. da. Do campo à indústria: Panorama sobre o tomate, benefícios do licopeno à saúde e valorização sustentável de subprodutos. **Research, Society and Development**, v. 14, n. 2, p. e10214248276-e10214248276, 2025.

VIJAI, C.; WORAKAMOL, Wisetsri; ELAYARAJA, M. Climate change and its impact on agriculture. **Int. J. Agric. Sci. Vet. Med**, v. 11, n. 4, 2023.

TABLER, T.; LIANG, Y.; MAHARJAN, P.; THORNTON, T.; DREWRY, J.; MOON, J.; WELLS, J. Water scarcity is greatest threat to global food security. **Department of Animal Science**, UTIA - Institute of Agriculture The University of Tennessee, 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.

WADOOD, A.; HAMEED, A.; AKRAM, S.; GHAFAR, M. Unraveling the impact of water deficit stress on nutritional quality and defense response of tomato genotypes. **Frontiers in Plant Science**, v. 15, p. 1403895, 2024.

WAHAB, A.; BATOOL, F.; ABDI, G.; MUHAMMAD, M.; ULLAH, S.; ZAMAN, W. Role of plant growth-promoting rhizobacteria in sustainable agriculture: Addressing environmental and biological challenges. **Microbiological Research**, 2025.

YANG, F.; LIU, Y.; ZHANG, X.; LIU, X.; WANG, G.; JING, X.; WANG, X. F.; ZHANG, Z.; HAO, G.-F.; ZHANG, S.; YOU, C. X. Oxidative post-translational modification of catalase confers salt stress acclimatization by regulating H₂O₂ homeostasis in *Malus hupehensis*. **Journal of Plant Physiology**, v. 287, 154037, 2023. ISSN 0176-1617, Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2023.154037>.

ZAHEDIFAR, M.; MOOSAVI, A. A.; GAVILI, E.; ERSHADI, A. Tomato fruit quality and nutrient dynamics under water deficit conditions: The influence of an organic fertilizer. **PLoS ONE**, 20 (1): e0310916, 2025. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0310916>

ZANETTI, W. A. L. MOLLO NETO, M.; PUTTI, F. F.; URIBE, R. A. M. **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.

CAPÍTULO II: INOCULAÇÃO DO *PRIESTIA ARYABHATTAI* NO TOMATE HÍBRIDO VERO (HS 1188) SUBMETIDO AO DÉFICIT HÍDRICO

RESUMO

O tomate (*Solanum lycopersicum* L.) exerce grande relevância entre as cultivares do setor olerícola, e devido sua importância no consumo mundial, torna-se necessário estratégias para garantir sua alta produção. O tomateiro, enfrenta limitações produtivas decorrentes da escassez hídrica, demandando alternativas sustentáveis que minimizem esses impactos e mantenham o desenvolvimento do tomateiro. Nesse contexto, avanços no uso de bioinsumos têm favorecido o estabelecimento de relações simbióticas com o sistema radicular, resultando em benefícios significativos ao desenvolvimento vegetal. Entre esses microrganismos, *Priestia aryabhattai* destaca-se pela capacidade de reduzir os efeitos do déficit hídrico. O estudo avaliou os efeitos da inoculação de *Priestia aryabhattai* no tomate híbrido Vero (HS 1188) cultivado em solo arenoso sob diferentes níveis de disponibilidade hídrica, com o objetivo de analisar alterações fisiológicas, biométricas e bioquímicas associadas ao desenvolvimento da cultura em condições de déficit hídrico. O experimento foi conduzido em estufa, na área experimental da Faculdade de Ciências e Engenharia da UNESP, Câmpus de Tupã (SP), em delineamento inteiramente casualizado (DIC), em esquema fatorial 2×3 (presença/ausência do bioinsumo e três faixas de capacidade de água disponível), totalizando seis tratamentos e 36 unidades experimentais. Foram aplicados seis tratamentos, com seis repetições cada, totalizando 36 unidades experimentais. Avaliaram-se parâmetros fisiológicos, biométricos e bioquímicos, e os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$), sendo constatados efeitos positivos significativos da aplicação do bioinsumo. Conclui-se que a inoculação de *Priestia aryabhattai* se torna uma estratégia eficiente e sustentável para mitigar os efeitos do déficit hídrico no tomateiro, favorecendo a manutenção do desempenho fisiológico, a qualidade e a produtividade, mesmo em solos de baixa retenção hídrica, contribuindo para sistemas agrícolas mais resilientes e menos dependentes de insumos.

Palavras-chave: Bioinsumo; Fisiologia Vegetal; Produção Agrícola; Sustentabilidade.

ABSTRACT

The tomato (*Solanum lycopersicum* L.) has great relevance among the cultivars of the olherical sector, and due to its importance in world consumption, it is necessary strategies to ensure its high production. The tomato plant, faces production limitations due to water scarcity, requiring sustainable alternatives that minimize these impacts and maintain the development of the tomato. In this context, advances in the use of bioinputs have favored the establishment of symbiotic relationships with the root system, resulting in significant benefits to plant development. Among these microorganisms, *Priestia aryabhattai* stands out for its ability to reduce the effects of water deficit. The study evaluated the effects of inoculation of *Priestia aryabhattai* in hybrid tomato Vero (HS 1188) cultivated in sandy soil under different levels of water availability, with the objective of analyzing physiological changes, biometrical and biochemical associated with the development of culture under water deficit conditions. The experiment was conducted in a greenhouse, in the experimental area of the Faculty of Sciences and Engineering of UNESP, Campus of Tupã (SP), in completely randomized design (CRD), in factorial scheme 2×3 (presence/ absence of bioinsumo and three ranges of available water capacity), totaling six treatments and 36 experimental units. Six treatments were applied, with six repetitions each, totaling 36 experimental units. Physiological, biometric and biochemical parameters were evaluated, and the data were submitted to analysis of variance and the means compared by the Tukey test ($p \leq 0.05$), being found significant positive effects of the application of the bioinsumo. It is concluded that the inoculation of *Priestia aryabhattai* becomes an

efficient and sustainable strategy to mitigate the effects of water deficit in tomato, favoring the maintenance of physiological performance, quality and productivity, even in soils with low water retention, contributing to more resilient agricultural systems and less dependent on inputs.

Keywords: Bioinput; Plant Physiology; Agricultural Production; Sustainability.

1 INTRODUÇÃO

O tomate (*Solanum lycopersicum* L.) é atualmente uma das culturas mais relevantes e amplamente cultivadas do setor olerícola, pertencente à família das *Solanaceae*. As espécies dessa família apresentam elevado grau de similaridade genética, o que possibilita a realização de estudos comparativos no campo da genética. Trata-se de um dos vegetais mais consumidos no mundo, tanto na forma *in natura* quanto no processamento industrial, que inclui a produção de derivados. Assim, o cultivo e a industrialização do tomate representam uma fonte expressiva de renda para milhões de agricultores e para toda a cadeia do setor agroalimentar (Vinci *et al.*, 2025).

Dentre as cultivares mais utilizados, Tomate Híbrido Vero (HS 1188) da Horticeres, que apresenta plantas mais vigorosas e tolerantes com crescimento indeterminado, garantindo alta produtividade para o produtor, variando seu ciclo entre 90 e 110 dias e podendo ser conduzida em qualquer época do ano, o que torna sua comercialização mais atrativa (Horticeres, 2025).

As características fisiológicas do tomate exercem papel fundamental no desempenho produtivo da cultura, pois sustentam processos de assimilação de carbono, regulação transitória de água e crescimento vegetativo. Esses processos na planta ocorrem pela eficiência fotossintética, condutância estomática, conteúdo de clorofila, ajuste osmótico e produção de pigmentos (Conti *et al.*, 2023). Para que eles atinjam seu máximo de eficiência, é necessário que as condições climáticas também sejam favoráveis, o que tem sido motivo de preocupação atualmente devido as mudanças climáticas extremas (Vijai, Worakamol, Elayaraja, 2023).

Independentemente de serem cultivados em regiões de clima continental, tropical ou subtropical, os tomateiros apresentam elevada sensibilidade a condições ambientais adversas. Entre os estresses abióticos, a seca destaca-se por provocar impactos significativos no crescimento e no desenvolvimento das plantas, resultando em expressiva redução da produtividade. Essa queda produtiva está associada não apenas ao corte de flores e botões florais e à redução do número e do tamanho dos frutos, mas também à interrupção do processo fotossintético durante períodos de déficit hídrico (Grozeva *et al.*, 2024). Por isso, o déficit hídrico representa uma ameaça crescente à agricultura e à cultura do tomate, uma vez que reduz

a disponibilidade de água no solo, impõe fechamento estomático, gera estresse oxidativo e compromete o rendimento e a qualidade dos frutos (Lima *et al.*, 2023).

Este tipo de estresse é um dos principais que afetam a fisiologia, a bioquímica e as respostas moleculares das plantas, promovendo o aumento excessivo de espécies reativas de oxigênio (EROs), que causam estresse oxidativo, oxidação de moléculas essenciais e peroxidação lipídica das membranas celulares. Para reduzir esses efeitos, as plantas ativam mecanismos de tolerância, como o sistema antioxidante, que inclui enzimas como superóxido dismutase (SOD) responsável por neutralizar as EROs e reduzir danos celulares (Lima *et al.*, 2023; Vinci *et al.*, 2025).

Em resposta a essas adversidades, os bioinsumos surgem como alternativas sustentáveis, oferecendo meios biotecnológicos para mitigar os efeitos da seca. Em particular, as bactérias promotoras de crescimento de plantas (BPCPs) tem se mostrado eficientes na redução do déficit hídrico por meio da promoção do desenvolvimento radicular, regulação hormonal e ativação de defesas antioxidantes, promovendo resistência ao estresse ambiental (Buqori *et al.*, 2025).

Dentre as BPCPs, temos a espécie de *Bacillus*, e a subespécie *Bacillus aryabhatai* destaca-se por sua capacidade de melhorar a tolerância das plantas ao sal, promovendo o aumento da fixação de nitrogênio atmosférico, solubilização de fosfato e desempenhando um papel direto no fortalecimento da resistência da planta a condições de déficit hídrico (Xu *et al.*, 2022). Essa combinação única de atributos torna *Bacillus aryabhatai* promissor como agente mitigador de déficit hídrico no tomate, permitindo explorar esse potencial para cultivar híbridos como o Vero (HS 1188) em solos arenosos, que apresenta condição típica de baixa retenção hídrica, e fornecendo base científica sólida para o desenvolvimento de práticas agrícolas mais resilientes.

1.1 OBJETIVO

Verificar alterações biométricas e bioquímicas no desenvolvimento do tomateiro, causadas por condições de déficit hídrico associado ao uso de bactérias promotoras de crescimento de plantas.

2 METODOLOGIA DA PESQUISA

No material mencionado pelos autores anteriormente, foi preferível manter a nomenclatura utilizada em cada trabalho, e o bioinsumo utilizado neste experimento foi comercializado sob a denominação *Bacillus aryabhatai*, nomenclatura vigente à época, correspondendo atualmente à espécie *Priestia aryabhatai*, que foi utilizada nos tópicos abaixo.

2.1 LOCALIZAÇÃO

O experimento foi conduzido em estufa (Figura 4) com temperatura de 25-30°C, localizada na Área Experimental da Faculdade de Ciências e Engenharia (FCE) da UNESP, Câmpus de Tupã, Estado de São Paulo.

Figura 4 - Representação da estufa utilizada na condução do experimento.



Fonte: Os autores (2025).

2.2 CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO E DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

Foi realizada a análise do solo utilizado no experimento, que mostrou que as características do mesmo eram predominantemente arenosas, com 89,5% de areia, 5,5% de argila, e 5,0% de silte, características comuns da região de Tupã - SP. Em seguida foi realizada a análise de fertilidade química do solo, como mostrado na Figura 5.

Figura 5 - Tabela de 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	-----mmol _c dm ⁻³ -----							%	-----mg dm ⁻³ -----					
4,5	4	5,3	3	22	2,3	10	6	18	22	46	3	0,21	0,5	17	2,6	0,4

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

Fonte: Os autores (2025).

Inicialmente, foi realizada a correção e a fertilização do solo de acordo com o Boletim Técnico 100 (Cantarella *et al.*, 2022), que estabelece as recomendações de adubação mineral para o Estado de São Paulo, com base na análise de fertilidade química do solo para a cultura do tomate.

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 *Priestias aryabhatai*. O bioinsumo foi aplicado no tratamento das mudas de Tomate Híbrido Vero (HS 1188) Horticeres, e as doses foram de acordo com a recomendação dos fabricantes, sendo inoculado com 3×10^8 UFC (Unidade de Formação de Colônias) de *Priestias aryabhatai* cada e outro não. Além disso, foram empregados três níveis de Capacidade de Água Disponível (CAD): 40% (situação de seca), 60% (situação intermediária) e 80% (situação adequada para a cultura). Deste modo, o experimento foi constituído de 6 tratamentos com 6 repetições, totalizando 36 unidades experimentais (Figura 6). Cada unidade experimental foi composta por um vaso de 12 litros.

Figura 6 - Representação da disposição da condução experimental.



Fonte: Os autores (2025).

As irrigações foram realizadas diariamente, de acordo com o tratamento, e tendo como base a evapotranspiração. Para a determinação das CAD's, foi utilizado uma estação no interior da estufa para obtenção dos dados climatológicos do local, com isso pode se obter a evapotranspiração (ET_o) e ajustando de acordo com a correção do coeficiente da cultura (K_c) da cultura, juntamente com o cálculo de superfície da área do vaso. A estação meteorológica utilizada foi a “ET_o Penman Monteith - J2S & Irriplus E4000”, como representado na Figura 7. Após 20 dias do transplantio das mudas, foi iniciado o déficit hídrico conforme as CADs mencionadas acima e mantido até o fim do experimento.

Figura 7 - Representação da estação meteorológica.



Fonte: Os autores (2025).

2.3 VARIÁVEIS ANALISADAS

As avaliações biométricas e bioquímicas foram realizadas na terceira folha completamente desenvolvida, no sentido ápice-base, sendo realizadas nas fases fenológicas de florescimento e desenvolvimento do tomateiro.

2.3.1 Análises bioquímicas da folha

Com a finalidade de se realizar as análises bioquímicas deste trabalho, foram coletadas folhas das plantas, localizada no terço superior, em cada unidade experimental. Após a coleta, o material foi acondicionado em tubos de 50 mL, o qual foi imediatamente imerso em nitrogênio líquido para rápido congelamento das amostras. Em seguida, os tubos foram mantidos em freezer -80°C . Para o processamento do material, foram realizadas macerações em almofariz com nitrogênio líquido até a obtenção de partículas menores, as quais foram transferidas para tubos de 15 mL, sendo novamente armazenadas em freezer a -80°C . Este processamento foi realizado para determinação das análises abaixo.

As análises foram realizadas no Laboratório de Química, pertencentes à Faculdade de Ciências e Engenharia da Unesp de Tupã

2.3.1.1 Pigmentos fotossintéticos

Para a determinação dos teores de clorofila a (CA), clorofila b (CB), e clorofila total (CT), foi empregado o protocolo presente no trabalho de Sims e Gamon (2002).

2.3.1.2 Conteúdo de peróxido de hidrogênio (H₂O₂) e nível de peroxidação lipídica

O conteúdo de H₂O₂ foi determinado de acordo com o método de Alexieva *et al.* (2001), com algumas modificações. E o nível de peroxidação lipídica foi avaliado pela determinação do conteúdo de malondialdeído (MDA) conforme o método de Janero (1990) com algumas modificações.

2.3.1.3 Conteúdo de proteínas solúveis totais

Para a obtenção do extrato enzimático bruto para a determinação do conteúdo de proteínas totais e atividade da superóxido dismutase (SOD) e peroxidase (POD) nas folhas, foram utilizadas 200 mg de material foliar e radicular macerados, os quais foram homogeneizados em 2 mL de tampão fosfato de potássio 0.1M (pH 6.8) e 100 mg de polivinilpolipirrolidona (PVPP) com auxílio de almofariz e pistilo. Em seguida, as amostras foram centrifugadas a 12000 rpm por 20 minutos a 4°C. O sobrenadante obtido foi armazenado em freezer -20°C, sendo este sobrenadante utilizado como extrato bruto.

O conteúdo de proteínas solúveis totais foi determinado em duplicata utilizando quatro repetições por tratamento de acordo com o método de Bradford (1976), pois a quantificação de proteínas foi necessária para se calcular a atividade das enzimas SOD e POD. O preparo da solução de Bradford foi realizado dissolvendo 100 mg de *comassie brilliant blue G-250* em 50 mL de etanol 95%, seguido da adição de 100 mL de ácido fosfórico 85%. Esta solução foi dissolvida em H₂O deionizada até completar 1L, seguido de agitação e filtragem por duas vezes em papel filtro.

O meio de reação utilizado para determinar o conteúdo de proteínas foi formado pela adição de 50µL do extrato bruto descrito anteriormente e 2,5 mL da solução de Bradford. Após 15 minutos de reação em temperatura ambiente, o meio de reação foi levado para a leitura da absorbância em espectrofotômetro no comprimento de onda de 595nm. A concentração de proteínas foi determinada por meio de curva padrão utilizando concentrações conhecidas de caseína (0, 20, 40, 60, 80 e 100 µg.µl⁻¹).

2.3.1.4 Atividade da superóxido dismutase (SOD) e peroxidase (POD)

A atividade da SOD (EC 1.15.1.1) foi determinada em duplicata de acordo com o método de Giannopolitis e Reis (1977), com algumas modificações, utilizando quatro repetições por tratamento. A POD (EC 1.11.1.7) foi determinada em duplicatas de acordo com o método de Peixoto *et al.* (1999), utilizando quatro repetições por tratamento.

2.4 ANÁLISES BIOMÉTRICAS DA PLANTA

Ao final do experimento, foram avaliados o número de folhas, comprimento do caule (m) com auxílio de uma trena, diâmetro do caule (mm) com paquímetro. Para determinação das massas secas de caule, folhas e raízes, as amostras foram colocadas em sacos de papel e secas em estufa de aeração forçada a 60°C até atingir massa constante, para determinação da fitomassa seca em g.planta⁻¹, e posteriormente pesadas em uma balança de precisão, após permanecerem por 48h na estufa.

2.5 FORMA DE ANÁLISE DOS RESULTADOS

Inicialmente foi checada a normalidade dos dados pelo teste de *Anderson-Darling* e posteriormente submetidos à análise de variância, com níveis de significância de 5% de probabilidade de erro. Quando significativas, as médias foram submetidas ao teste de *Tukey* a 5% de probabilidade de erro utilizando-se o programa estatístico *AgroEstat* (versão 4.1.2). Os gráficos foram plotados no programa *SigmaPlot* (versão 14.0).

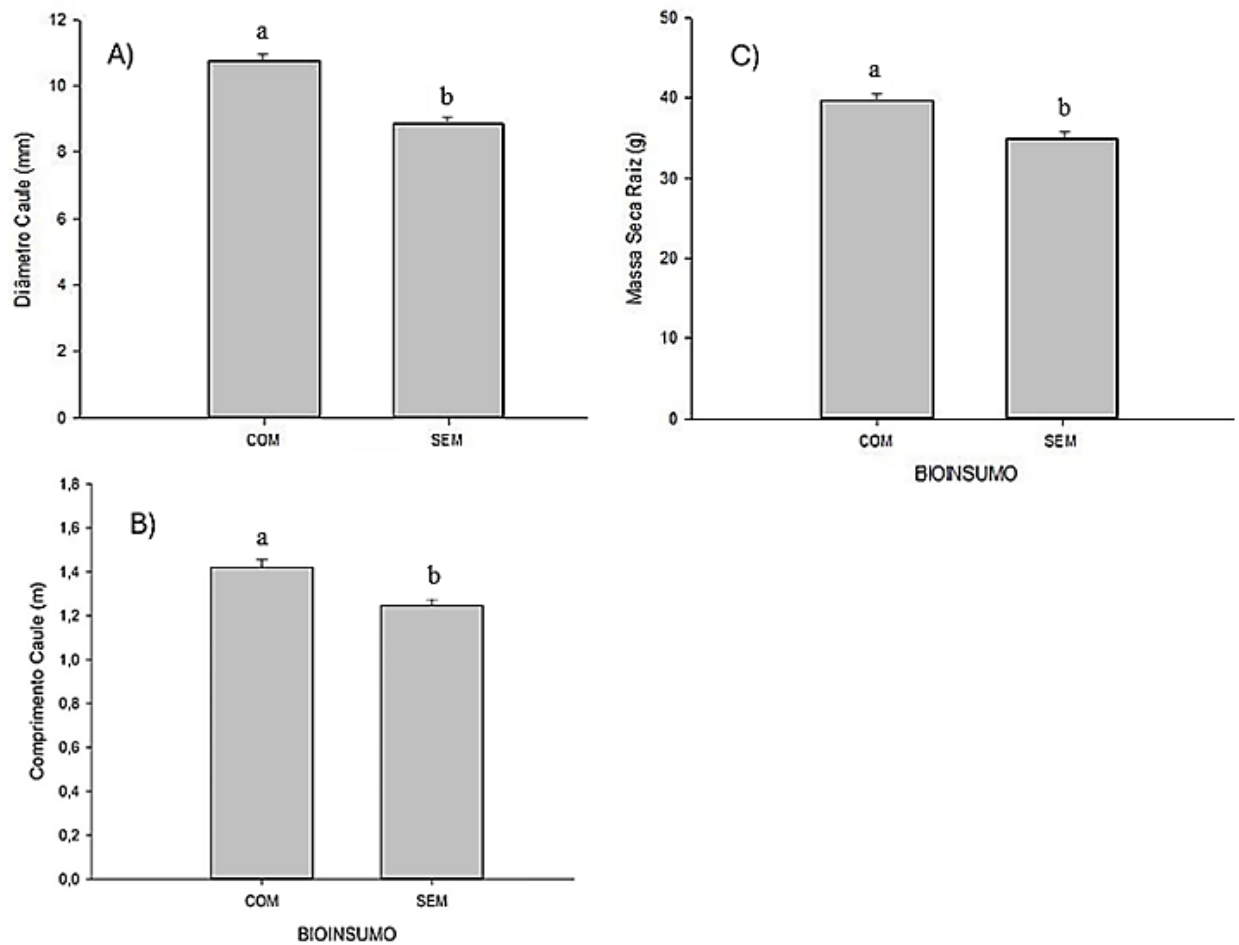
3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 RESULTADOS

Em análise dos resultados biométricos e bioquímicos no tomateiro, a aplicação das BPCPs e as diferentes disponibilidades hídrica não resultaram em diferenças significativas nos parâmetros Número de Folhas, para as Massas Secas de Caule e Folhas, e para a POD.

Nas análises biométricas, observou-se efeito significativo da aplicação das BPCPs sobre as variáveis diâmetro de caule, apresentando média aproximada de 10,7 mm, sendo 15,4% maior do que a média dos frutos sem a inoculação, da massa seca de raiz alcançando aproximadamente 40 g, indicando um aumento de 13,7% sob o tratamento sem a inoculação, e no crescimento vegetativo do tomateiro, que apresentou um aumento de 17,36% no comprimento do caule em relação ao tratamento sem o emprego das BPCPs, como pode ser observado na Figura 8.

Figura 8 - Diâmetro do caule (A), Comprimento do caule (B) e massa seca da raiz (C).



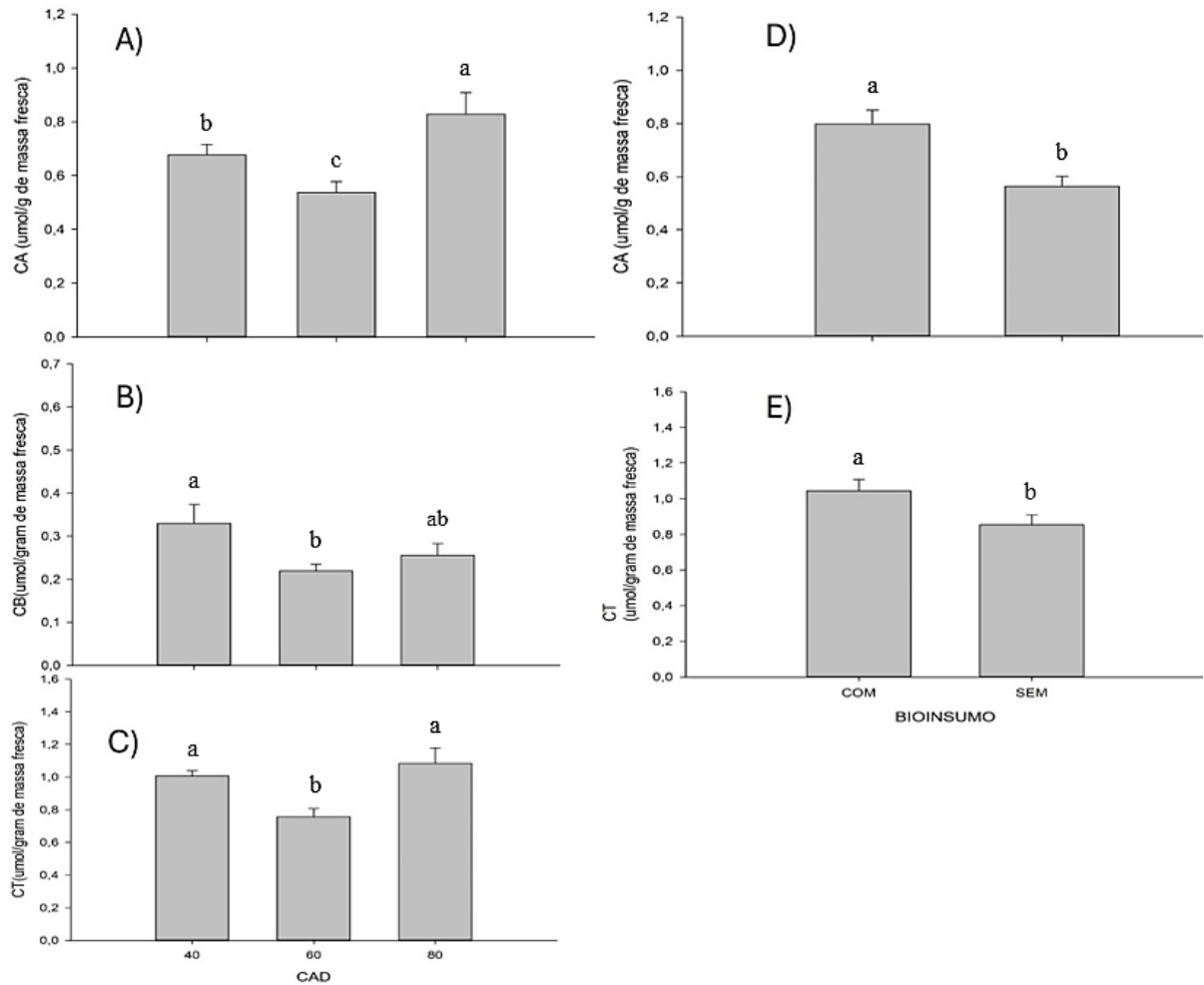
Fonte: Os autores (2025).

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 teores de CA, CB e CT variaram em função dos níveis de CAD. A avaliação bioquímica identificou que a CA apresentou concentrações maiores sob CAD de 80, enquanto a CB foi superior em CAD de 40. A CT é relativamente proporcional ao índice hídrico, evidenciando que a condição de 80 favorece a atividade fotossintética.

Quando analisadas pela variável inoculação da BPCP, observou-se aumento de 28% na clorofila a e de 24% na clorofila total em plantas inoculadas, em comparação às plantas sem inoculação (Figura 9).

Figura 9 - Teores de CA (A e D), CB (B) e CT (C e E) em tomateiro inoculado com bioinsumo sob diferentes CADs.

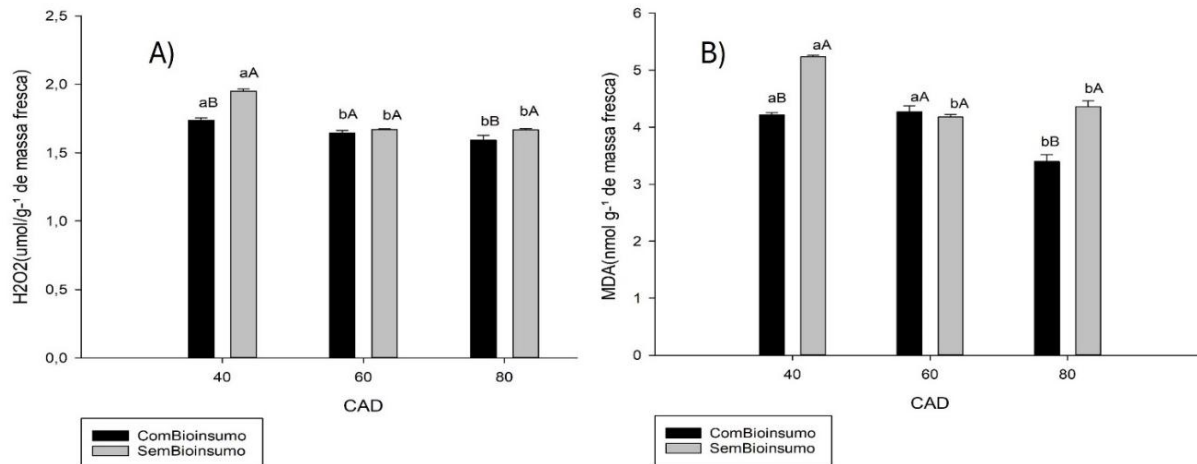


Fonte: Os autores (2025).

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 ($p < 0,05$).

Quanto ao estresse oxidativo, o uso do bioinsumo resultou em uma redução média de 35% no acúmulo de peróxido de hidrogênio (H_2O_2) e de 27% nos níveis de malondialdeído (MDA) como pode ser observado na Figura 10 na CAD 40, demonstrando potencial de atenuação do déficit hídrico.

Figura 10 - Teores de H₂O₂ (A) e MDA (B) submetido a diferentes CADs e na presença ou ausência do bioinsumo.

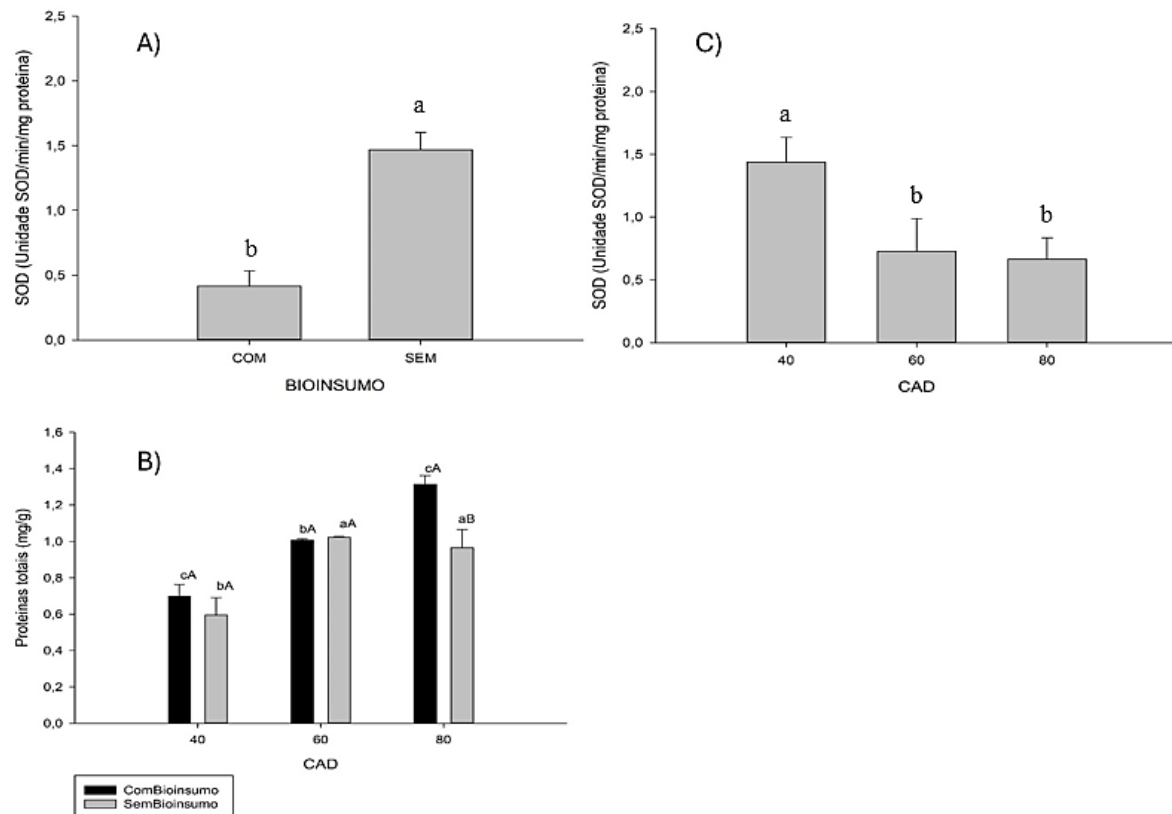


Fonte: Os autores (2025).

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 atividade da enzima SOD foi cerca de 71,75% maior nas plantas sem a aplicação da BPCP como pode ser visualizado na Figura 11, indicando ativação do sistema antioxidante em resposta ao déficit hídrico. Em contrapartida, os teores de proteínas totais foram 16% superiores nas plantas com o emprego de inoculação, refletindo em acúmulo de metabólitos e proteínas estruturais que asseguram ambientes em condições de déficit.

Figura 11 - Representação da atividade enzimática SOD (A e C) e proteínas totais (B) do tomateiro.



Fonte: Os autores (2025).

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 ($p < 0,05$).

3.2 DISCUSSÕES

Os resultados demonstraram que a restrição hídrica imposta pela menor Capacidade de Água Disponível (CAD 40) caracterizou um cenário de déficit hídrico severo para o tomateiro, resultando em redução do desempenho fisiológico das plantas não inoculadas. Em contrapartida, a aplicação do bioinsumo à base de *Priestia aryabhatai* destacou-se sob essa condição, contribuindo para a atenuação dos efeitos do déficit hídrico e promovendo respostas fisiológicas mais equilibradas, o que indica maior capacidade de adaptação das plantas inoculadas e reforça o potencial da BPCP na manutenção da homeostase metabólica e na proteção do sistema fotossintético.

Em relação ao desenvolvimento vegetal, em todos os parâmetros avaliados as plantas inoculadas apresentaram valores superiores às não inoculadas, indicando maior vigor vegetativo (Figura 8). Os resultados indicaram que a presença de BPCPs favoreceu nos parâmetros de diâmetro e comprimento do caule, e massa seca de raiz, favorecendo a produção de fitormônios, que estimulam o alongamento celular e aumentam a absorção de nutrientes

essenciais, como nitrogênio e fósforo que beneficiam a parte aérea da planta, evidenciando efeito positivo da inoculação sobre o crescimento vegetativo do tomateiro. Efeitos semelhantes foram relatados por Etesami, Jeong e Glick (2023), em batata, reforçando o papel das BPCPs na melhoria da fisiologia e no crescimento das plantas.

O aumento da massa seca de raiz sugere estímulo ao desenvolvimento do sistema radicular, o que pode favorecer a absorção de água e nutrientes, enquanto os maiores valores de diâmetro e comprimento do caule refletem melhor desenvolvimento estrutural da parte aérea. De forma integrada, os resultados demonstram que o uso das BPCPs contribuiu para o crescimento equilibrado do tomateiro, reforçando seu potencial como estratégia complementar ao manejo hídrico (Cruz *et al.*, 2023).

Nos teores de pigmentos fotossintéticos (Figura 9), os resultados evidenciaram variações significativas entre os tratamentos. De modo geral, plantas com maiores conteúdos de clorofila indicam maior potencial de absorção de energia luminosa e manutenção do sistema fotossintético. No presente estudo, as plantas inoculadas com as BPCPs apresentaram maiores teores de clorofila a e clorofila total, em concordância com Han *et al.* (2022) e Gul *et al.* (2023), que relataram efeitos positivos da aplicação de bioinsumos no aumento do conteúdo de clorofila e na preservação da atividade fotossintética em condições de déficit.

A manutenção dos teores de clorofila sob condições de déficit hídrico indica a ativação de mecanismos de fotoproteção, os quais contribuem para a preservação funcional da clorofila e para a redução de danos oxidativos. Quando a absorção de luz pelas clorofilas excede a capacidade de utilização dessa energia no processo fotossintético, há risco de fotoinibição e formação de EROs, que podem resultar em danos celulares (Lima *et al.*, 2023; Vinci *et al.*, 2025).

Do ponto de vista bioquímico, as análises de estresse oxidativo demonstraram que os teores de H_2O_2 e MDA foram significativamente menores nas plantas tratadas com as BPCPs (Figura 10), especialmente sob menor disponibilidade hídrica, indicando redução da peroxidação lipídica e do acúmulo de EROs e, consequentemente, menores danos às membranas celulares, como mencionado pelos autores Lee *et al.* (2024). Esses resultados evidenciam que a aplicação do bioinsumo favoreceu a manutenção da integridade celular mesmo sob condições severas de restrição hídrica.

Em contraste, nas plantas não inoculadas, a condição de CAD 40 esteve associada ao aumento dos teores de H_2O_2 e MDA, indicando intensificação do estresse oxidativo e maior grau de peroxidação lipídica das membranas celulares. Esses achados corroboram estudos que

demonstram o papel de microrganismos promotores do crescimento vegetal na ativação de mecanismos antioxidantes e na redução do acúmulo de EROs (Bouremani *et al.*, 2023).

A atividade da enzima SOD foi mais elevada em plantas sem inoculação (Figura 11), particularmente na CAD 40, evidenciando a resposta fisiológica frente ao déficit hídrico como primeira linha de defesa contra EROs. Esse comportamento sugere que, na ausência das BPCPs, as plantas ativaram mecanismos antioxidantes primários como tentativa de neutralizar o excesso de radicais livres gerados pelo déficit hídrico. Entretanto, essa resposta antioxidante nas plantas não inoculadas não foi suficiente para conter o avanço dos danos oxidativos, conforme evidenciado pelos maiores teores de MDA e H₂O₂. Contudo, observou-se menor síntese proteica nessas plantas, enquanto as inoculadas apresentaram metabolismo antioxidante mais equilibrado, possivelmente devido à modulação positiva exercida pelos microrganismos, aumentando a resistência às variações hídricas, como descrito por Eke *et al.* (2021).

As plantas inoculadas com as BPCPs, apresentaram atividade antioxidante mais equilibrada, com menor necessidade de ativação intensa da SOD, associada a menores níveis de estresse oxidativo. A ausência de diferenças significativas na atividade da peroxidase (POD) entre os tratamentos sugere estabilidade dessa enzima, indicando que a mitigação do déficit hídrico ocorreu predominantemente por meio do equilíbrio do sistema antioxidante, refletido na redução dos teores de H₂O₂ e MDA e na manutenção da homeostase redox celular.

Em condições de maior disponibilidade hídrica (CAD 60 e CAD 80), os parâmetros bioquímicos apresentaram comportamento mais estável, com menores diferenças entre plantas inoculadas e não inoculadas, indicando que o efeito do bioinsumo é potencializado principalmente sob déficit hídrico severo. Esse padrão reforça que a atuação da *Priestia aryabhattai* está diretamente relacionada à sua capacidade de modular as respostas antioxidantes em situações de limitação hídrica.

De forma integrada, os resultados do Capítulo II demonstram que o déficit hídrico severo imposto pela CAD 40 intensificou o estresse oxidativo nas plantas não inoculadas, enquanto a aplicação da *Priestia aryabhattai* contribuiu para a atenuação desses efeitos, promovendo menor acúmulo de H₂O₂ e MDA e um sistema antioxidante mais equilibrado. Esses achados indicam que este bioinsumo atua como ferramenta complementar ao manejo hídrico, favorecendo a homeostase redox celular e aumentando a resistência bioquímica e biométricas do tomateiro sob condições de déficit hídrico. E que para cultivos com capacidade de água próximo da CAD 60 e 80, não há a necessidade de aplicação do bioinsumo, pois as plantas apresentaram um bom desempenho vegetativo.

4 CONCLUSÃO

Os resultados deste capítulo demonstraram que a redução da disponibilidade hídrica, especialmente sob a condição de CAD 40, intensificou o estresse vegetativo e bioquímico no tomateiro, evidenciado pelo maior acúmulo de EROs e de danos oxidativos nas plantas não inoculadas. Em contraste, a aplicação do bioinsumo à base de *Priestia aryabhatai* mostrou-se eficaz na atenuação dos efeitos do déficit hídrico, promovendo menores teores de H₂O₂ e MDA e um sistema antioxidante mais equilibrado, com menor necessidade de ativação intensa da SOD. Esses resultados indicam que a aplicação das BPCPs contribuiu para a manutenção da homeostase redox celular e para o aumento da tolerância bioquímica do tomateiro ao déficit hídrico, reforçando seu potencial como ferramenta complementar ao manejo hídrico em sistemas de produção sujeitos à limitação de água.

REFERÊNCIAS

- 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 and Environment**, v. 24, n. 12, p. 1337–1344, 2001.
- BOUREMANI, N.; CHERIF-SILINI, H.; SILINI, A.; BOUKET, A. C.; LUPTAKOVA, L.; ALENEZI, F. N.; BARANOV, O.; BELBAHRI, L. Plant Growth-Promoting Rhizobacteria (PGPR): A Rampart against the Adverse Effects of Drought Stress. **Water**, 15 (3), 418, 2023. <https://doi.org/10.3390/w15030418>
- BRADFORD, M. M. A rapid and sensitive method for the microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye-binding. **Analytical Biochemistry**, v. 72 p. 248-254, 1976.
- BUQORI, D. M. A. I.; SUGIHARTO, B.; SUHERMAN; SISWOYO, T. A.; HARIYONO, K. Mitigating drought stress by application of drought-tolerant *Bacillus* spp. enhanced root architecture, growth, antioxidant and photosynthetic genes expression in sugarcane. **Scientific Reports**, v. 15, n. 1, p. 5259, 2025.
- CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; MATTOS JUNIOR, D.; BOARETTO, R. M.; RAIJ, B. V. **Boletim 100: Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: Instituto Agrônomo e Fundação IAC, 2022. p. 419-423 (Boletim Técnico, 100).
- CONTI, V.; PARROTTA, L.; ROMI, M.; DEL DUCA, S.; CAI, G. Tomato biodiversity and drought tolerance: A multilevel review. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 24, n. 12, p. 10044, 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 trigona* Mill) confer drought tolerance and induce growth promotion in tomato (*Solanum lycopersicum* L). **Microbiological research**, v. 245, p. 126689, 2021.

ETESAMI, H.; JEONG, B. R.; GLICK, B. R. Potential use of *Bacillus* spp. as an effective biostimulant in agricultural production. **Agriculture & Food Security**, v. 12, n. 1, p. 1-18, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.crbiot.2023.100128>.

FERNANDES, M. F.; CARDOSO, D.; QUEIROZ, L. P. An updated plant checklist of the Brazilian Caatinga seasonally dry forests and woodlands reveals high species richness and endemism. **Journal of Arid Environments**, v. 174, p. 1-8, 2020.

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

GROZEVA, S.; TOPALOVA, E.; GANEVA, D.; TRINGOVSKA, I. Evaluation of Tomato Landraces for Tolerance to Drought Stress Using Morphological and Physiological Traits. **International Journal of Plant Biology**, v. 15, n. 4, p. 1391-1404, 2024.

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.

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.

HORTICERES SEMENTES. **Tomate Híb. Vero (HS 1188)**. 2020. Disponível em: <<https://horticeres.com.br/produto/tomate-hib-hs-1188/>>. Acesso em: 01 ago. 2025.

JANERO, D. R. Malondialdehyde and thiobarbituric acid-reactivity as diagnostic indices of lipid peroxidation and peroxidative tissue injury. **Free Radical Biology and Medicine**. v. 9, n. 6, p. 515–540, 1990.

LEE, S.; KIM, J. A.; SONG, J.; CHOE, S.; JANG, G.; KIM, Y. Plant growth-promoting rhizobacterium *Bacillus megaterium* modulates the expression of antioxidant-related and drought-responsive genes to protect rice (*Oryza sativa* L.) from drought. **Frontiers in Microbiology**, v. 15, p. 1430546, 2024.

LIMA, J. D. S.; ANDRADE, O. V. S.; MORAIS, E. G. D.; MACHADO, G. G. L.; SANTOS, L. C. D.; ANDRADE, E. S. D.; ... GUILHERME, L. R. G. KI increases tomato fruit quality and water deficit tolerance by improving antioxidant enzyme activity and amino acid accumulation: a priming effect or relief during stress? **Plants**, v. 12, n. 23, p. 4023, 2023.

PEIXOTO, H. P. P.; CAMBRAIA, J.; SANT'ANNA, R.; MOSQUIM, P. R.; MOREIRA, M. A. Aluminium effects on lipid peroxidation and the activities of enzymes of oxidative metabolism in sorghum. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Campinas, v. 11, p. 137–143, 1999.

SIMS, D. A.; GAMON, J. A. Relationships between leaf pigment content and spectral reflectance across a wide range of species, leaf structures and developmental stages. **Remote Sensing of Environment**, v. 81, p. 337-354, 2002.

VIJAI, C.; WORAKAMOL, Wisetsri; ELAYARAJA, M. Climate change and its impact on agriculture. **Int. J. Agric. Sci. Vet. Med**, v. 11, n. 4, 2023.

VINCI, G.; CAMPANA, P.; GOBBI, L.; PRENCIPE, S. A.; RUGGERI, M. Integrated Evaluation of Sustainability and Quality of Italian Tomato Cultivars Grown Under Irrigated and Non-Irrigated Systems. **Agriculture**, v. 15, n. 4, p. 416, 2025.

VON CAEMMERER, S.; FARQUHAR, G. D. Some relationships between the biochemistry of photosynthesis and the gas exchange of leaves. **Planta**, v. 153, n. 4, p. 376-387, 1981.

XU, H.; GAO, J.; PORTIELES, R.; DU, L.; GAO, X.; BORRAS-HIDALGO, O. Endophytic bacterium *Bacillus aryabhatai* induces novel transcriptomic changes to stimulate plant growth. **PLoS ONE** 17(8): e0272500, 2022. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0272500>

CAPÍTULO III: INFLUÊNCIA DO USO DA BACTÉRIA PROMOTORA DO CRESCIMENTO DE PLANTAS *PRIESTIA ARYABHATTAI* NA MENSURAÇÃO DE VARIÁVEIS FÍSICO-QUÍMICAS DO TOMATE

RESUMO

O tomate (*Solanum lycopersicum* L.) é uma cultura de destaque global que enfrenta limitações produtivas devido à escassez hídrica, exigindo alternativas sustentáveis. O uso de bioinsumos surge como solução promissora, promovendo interações simbióticas com as raízes e favorecendo o crescimento e desempenho das plantas. Com isso, o objetivo deste trabalho foi analisar a atenuação dos efeitos do déficit hídrico em frutos de tomate por meio da inoculação de bactérias promotoras de crescimento de plantas (BPCPs), com ênfase em *Priestia aryabhattai*. O experimento foi conduzido em estufa na Área Experimental da UNESP, Câmpus de Tupã (SP), utilizando delineamento inteiramente casualizado (DIC) em esquema fatorial 2×3, com e sem inoculação de *Priestia aryabhattai* e três níveis de capacidade de água disponível (CAD), totalizando 36 unidades experimentais. Foram realizadas análises biométricas e físico-químicas dos frutos, incluindo peso, diâmetro, textura, pH, acidez titulável (AT), sólidos solúveis (°Brix), relação SS/AT, coloração e teor de água. Os resultados indicaram que plantas sem inoculação apresentaram maiores valores de AT e °Brix, possivelmente em resposta ao déficit hídrico, que concentra açúcares e ácidos orgânicos. A textura foi favorecida pela maior disponibilidade hídrica, mantendo firmeza superior nos frutos com maior disponibilidade hídrica. Por outro lado, a inoculação com *Priestia aryabhattai* promoveu pequenos aumentos médios no diâmetro e no peso dos frutos, sugerindo maior eficiência na absorção de nutrientes e desenvolvimento radicular mais robusto. Além disso, observou-se que a interação entre o bioinsumo e a CAD influenciou positivamente o desempenho dos frutos, demonstrando que a integração de manejo hídrico adequado e uso de bioinsumos são benéficos e potencializam produtividade e qualidade, tornando a inoculação de BPCPs uma estratégia eficaz e sustentável para otimizar a produção de tomate em condições de limitação hídrica.

Palavras-chave: Bioinsumos; Déficit Hídrico; Parâmetros de Qualidade; Rendimento Agrícola.

ABSTRACT

The tomato (*Solanum lycopersicum* L.) is a crop of global prominence that faces production limitations due to water scarcity, requiring sustainable alternatives. The use of bioinputs appears as a promising solution, promoting symbiotic interactions with roots and favoring plant growth and performance. Therefore, the objective of this work was to analyze the mitigation of the effects of water deficit in tomato fruits by inoculation of plant growth promoting bacteria (PGPBs), with emphasis on *Priestia aryabhattai*. The experiment was conducted in a greenhouse at UNESP Experimental Area, Campus of Tupã (SP), using a completely randomized design (CRD) in factorial scheme 2×3, with and without inoculation of *Priestia aryabhattai* and three levels of available water capacity (AWC), totaling 36 experimental units. Biometric and physico-chemical analyses of fruits were performed, including weight, diameter, texture, pH, titratable acidity (TA), soluble solids (°Brix), SS/AT ratio, color and water content. The results indicated that plants without inoculation presented higher values of AT and °Brix, possibly in response to water deficit, which concentrates sugars and organic acids. The texture was favored by greater water availability, maintaining superior firmness in fruits with greater water availability. On the other hand, inoculation with *Priestia aryabhattai* promoted small average increases in fruit diameter and weight, suggesting greater efficiency in nutrient absorption and more robust root development. In addition, it was observed that the interaction

between bioinput and AWC positively influenced fruit performance, demonstrating that the integration of adequate water management and use of bioinputs are beneficial and enhance productivity and quality, making the inoculation of PGPBs an effective and sustainable strategy to optimize tomato production under water limitation conditions.

Keywords: Bioinputs; Water Deficit; Quality Parameters; Agricultural Production.

1 INTRODUÇÃO

Com o crescente aumento da população global e assim a demanda por alimentos, o setor agrícola tem sido pressionado a suprir as necessidades nutricionais crescentes e garantir a segurança alimentar. Nesse cenário, o cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) assume papel estratégico, pois representa uma das hortaliças mais consumidas no mundo, contribuindo de modo significativo para a alimentação humana e gerando renda essencial para milhões de produtores e setores agroindustriais (Conti *et al.*, 2023).

Essa cultura exibe características fisiológicas essenciais que garantem seu crescimento vegetativo e desempenho produtivo, como eficiência fotossintética, condutância estomática, conteúdo de clorofila e ajuste (Conti *et al.*, 2023). Ele contém compostos de elevado valor nutricional e funcional, cujas propriedades químicas e biológicas conferem benefícios significativos à saúde humana, incluindo a redução dos níveis de colesterol, ação antioxidante, efeitos anti-inflamatórios e potencial na prevenção de diversos tipos de câncer (Vinci *et al.*, 2025). Com um ciclo que varia entre 90 e 110 dias, o Tomate Híbrido Vero (HS 1188) da Horticeres, pode ser cultivado durante todo o ano, e apresenta frutos alongados do tipo italiano, firmes, com coloração vermelho intenso, destacando-se pelo seu excelente sabor e qualidade dos frutos (Horticeres, 2025).

A segurança alimentar constitui um pilar essencial para a manutenção de uma vida saudável, porém as mudanças climáticas e a ocorrência de eventos extremos têm se consolidado como fatores determinantes para o agravamento da fome, ao impactarem diretamente a produção agrícola (Van Damme *et al.*, 2023). Um desses eventos que tem causado preocupação no setor agrícola é a seca, pois tem efeitos negativos no crescimento e nas respostas fisiológicas, bioquímicas e moleculares das plantas (Vinci *et al.*, 2025).

Apesar de possuírem mecanismos de defesa, as plantas sofrem impactos significativos sob alto déficit hídrico, que compromete processos fisiológicos, bioquímicos e a produtividade. O déficit hídrico compromete esses processos no tomateiro, gerando fechamento estomático, redução na assimilação de luz interferindo negativamente a fotossíntese e aumento do estresse oxidativo, impactando negativamente o rendimento e qualidade do fruto. A tolerância à seca é controlada por vários fatores, assim, entender esses mecanismos é essencial

para desenvolver cultivares resistentes e adotar estratégias integradas de manejo e tecnologia para mitigar os efeitos da seca (Yildiz e Aki, 2025).

O uso de bioinsumos, especialmente bactérias promotoras de crescimento de plantas (BPCPs), destaca-se como alternativa sustentável para mitigar os efeitos do déficit hídrico. Esses microrganismos estimulam o crescimento radicular, regulam o balanço hormonal, solubilizam nutrientes e ativam mecanismos antioxidantes, reduzindo danos oxidativos e mantendo fotossíntese e a firmeza celular mesmo sob déficit hídrico. Além disso, fortalecem a resiliência produtiva, e se destacam como alternativa sustentável para o setor agrícola, pois diminuem a dependência de insumos e contribuem para a conservação dos recursos naturais (Mukhtiar *et al.*, 2025).

Dentre as BPCPs destaca-se o papel da espécie *Bacillus aryabhattai*, que apresenta múltiplas atividades biológicas e tem sido amplamente estudado pelo seu potencial em diferentes áreas, incluindo a promoção do crescimento de plantas mesmo em condições de estresse, a remediação de solos e o controle biológico. Essas bactérias cujas cepas são capazes de tolerar a presença de sal, que têm demonstrado potencial para aumentar a tolerância do tomate à salinidade e atuação na mitigação do déficit hídrico, por meio da formação de biofilme, bem como na melhoria do estado nutricional e no incremento do desenvolvimento vegetativo (Pereira *et al.*, 2024; Roşca; Mihalache; Stoleru, 2024). Assim, compreender e explorar o potencial do *Bacillus aryabhattai* na cultura do tomate, especialmente sob condições de déficit hídrico, representa uma estratégia promissora para otimizar a produtividade e a qualidade dos frutos, conciliando eficiência agrícola e sustentabilidade.

1.1 OBJETIVO

Analisar a atenuação dos efeitos de déficit hídrico na qualidade do fruto do tomate proporcionada pelo efeito do uso de bactérias promotoras de crescimento de plantas.

2 METODOLOGIA DA PESQUISA

No material mencionado pelos autores acima, foi preferível manter a nomenclatura utilizada em cada trabalho, e o bioinsumo utilizado neste experimento foi comercializado sob a denominação *Bacillus aryabhattai*, nomenclatura vigente à época, correspondendo atualmente à espécie *Priestia aryabhattai*, que foi utilizada nos tópicos abaixo.

Os frutos utilizados nas análises deste capítulo foram coletados do experimento realizado mencionado no capítulo II, mostrados nos tópicos 2.1 e 2.2.

2.1 ANÁLISES DE QUALIDADE DO FRUTO

As análises foram realizadas nos Laboratórios de Biologia e Química, pertencentes à Faculdade de Ciências e Engenharia da Unesp de Tupã. As avaliações de qualidade dos frutos foram avaliadas quando os frutos atingiram a coloração externa vermelho brilhante, ou seja, em seu estágio de maturidade fisiológica.

A contagem do número de frutos foi realizada durante a colheita deles e, posteriormente, os frutos foram selecionados aleatoriamente para as avaliações biométricas. Essas avaliações foram realizadas no Laboratório de Química, onde foram avaliados o comprimento e diâmetro do fruto (m) com o auxílio do paquímetro, peso do fruto (g) na balança de precisão. As análises físico-químicas foram realizadas somente nos frutos para caracterização da qualidade pós-colheita no dia 0°.

2.1.1 Textura

A firmeza do tomate é um parâmetro crítico para avaliar o estágio de maturação e a integridade estrutural do fruto. A análise foi determinada com o analisador de textura digital *Fruit Penetrometer* (ex.: modelo GY-4), equipado com ponteira de 3,5 mm de diâmetro. O fruto é posicionado em suporte fixo, e a ponteira penetra a polpa em velocidade constante (ex.: 10 mm/s) até uma profundidade pré-definida (ex.: 10 mm). A força máxima (Kg.f) registrada durante a penetração reflete a resistência mecânica da polpa, correlacionando-se diretamente com o grau de amadurecimento: valores mais altos indicam frutos verdes/firmes, enquanto valores menores sugerem amolecimento avançado. A firmeza é um indicador da vida útil e aceitação comercial, especialmente para abacates destinados à exportação, onde a textura cremosa deve ser mantida sem excesso de amolecimento.

2.1.2 pH (Potencial Hidrogeniônico)

A determinação do pH foi realizada a partir da avaliação dos frutos triturados e respectivos molhos com o auxílio de um potenciômetro digital.

2.1.3 Acidez titulável (AT)

A acidez titulável é expressa em gramas de ácido cítrico por 100 g de polpa (g de ácido cítrico 100 g⁻¹), e foi obtida por meio da titulação de cerca de 5 g de polpa homogeneizada e diluída em 100 mL de água destilada, com solução padronizada de hidróxido de sódio a 0,1N, tendo como indicador a fenolftaleína (Instituto Adolfo Lutz, 2008). O resultado foi expresso em gramas de ácido cítrico por 100 g de polpa (g de ácido cítrico 100g⁻¹).

2.1.4 Sólidos solúveis (SS)

O teor de sólidos solúveis é uma representação dos açúcares, sais minerais e vitaminas dissolvidos em água, e reflete a doçura das frutas, indicando o grau de maturação. Os sólidos solúveis neste experimento foram determinados por refratometria, em um refratômetro digital tipo *Palette PR* – 32 marcas ATAGO, onde seus resultados são expressos em °BRIX (Instituto Adolfo Lutz, 2008).

2.1.5 Relação SS/AT (“Ratio”)

Esta relação foi obtida pela razão dos sólidos solúveis e acidez titulável, onde o resultado é adimensional (Chitarra, Chitarra, 2005). Este parâmetro é muito utilizado na indústria de alimentos pois traz em valores numéricos a representação do sabor dado pelo doce e ácido.

2.1.6 Teor de Água

O teor de água foi determinado pelo método de secagem em estufa através da perda de peso da amostra aquecida a $105^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$, até peso constante (Instituto Adolfo Lutz, 2008).

2.2 FORMA DE ANÁLISE DOS RESULTADOS

Inicialmente foi checada a normalidade dos dados pelo teste de *Anderson-Darling* e posteriormente submetidos à análise de variância, com níveis de significância de 5% de probabilidade de erro. Quando significativas, as médias foram submetidas ao teste de *Tukey* a 5% de probabilidade de erro utilizando-se o programa estatístico *AgroEstat* (versão 4.1.2). Os gráficos foram plotados no programa *SigmaPlot* (versão 14.0).

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

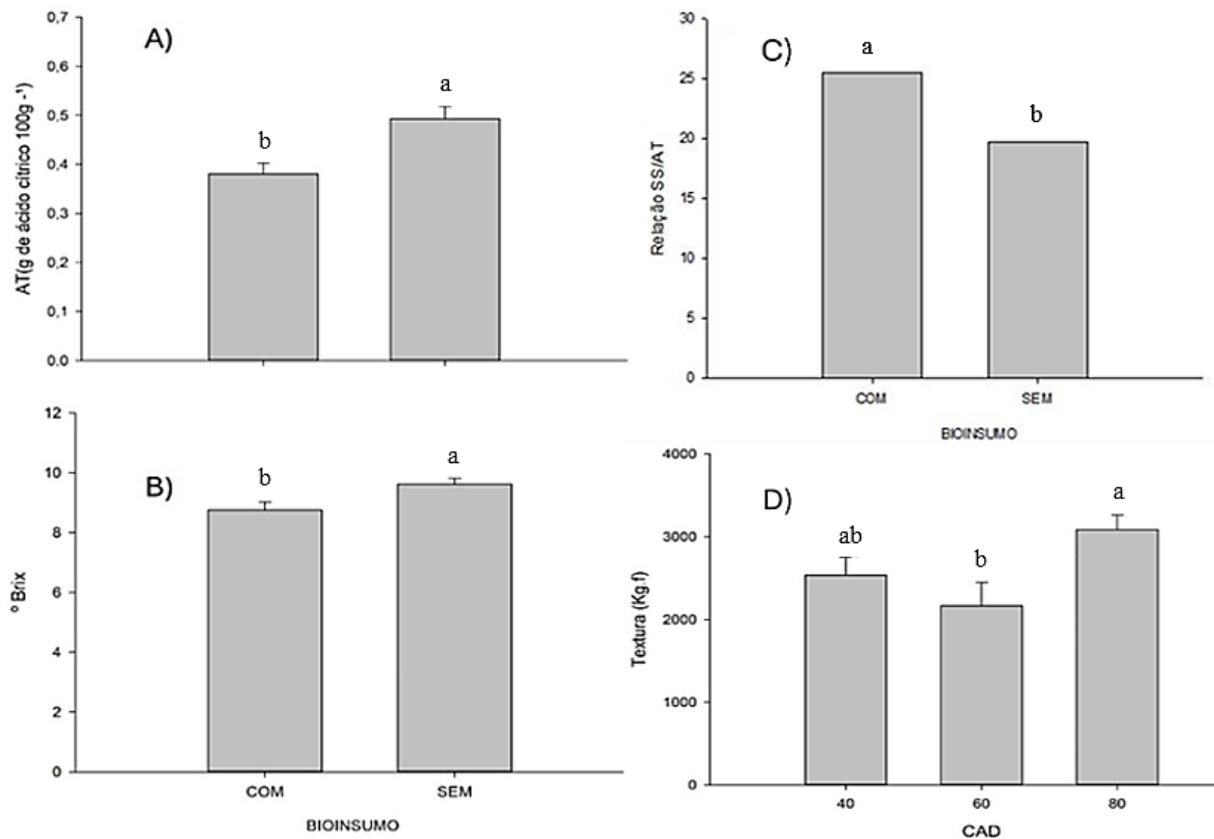
3.1 RESULTADOS

Em análise à qualidade do fruto, a aplicação das BPCPs e as diferentes disponibilidades hídricas não resultaram em diferenças significativas nos parâmetros biométricos Número de Frutos e Comprimento do Fruto, e nos parâmetros físico-químicos pH e Teor de água.

Nos parâmetros físico-químicos mostrados na Figura 12, a aplicação das BPCPs e as CADs influenciaram alterações significativas nos parâmetros analisados. Observou-se que os frutos de plantas sem as BPCPs promoveram um aumento de 24,39% da acidez titulável, o que pode estar relacionado à intensificação do metabolismo. Já os sólidos solúveis totais (°Brix) apresentaram redução de 8,11% com o emprego do bioinsumo, indicando possível menor concentração dos açúcares em função de maior disponibilidade de água.

A partir dos resultados de acidez titulável e do °Brix foi possível obter a Relação SS/AT, que indicou que a aplicação da BPCPs foi 20,9% maior em relação à sem inoculação delas. E em relação à textura (Kg.f), observou-se a firmeza dos frutos está relacionado a disponibilidade de água, sendo 17,9% maior na CAD 80 em relação a CAD 40.

Figura 12 - Acidez titulável (A), sólidos solúveis (B), relação SS/AT (C) e textura (D) do fruto.

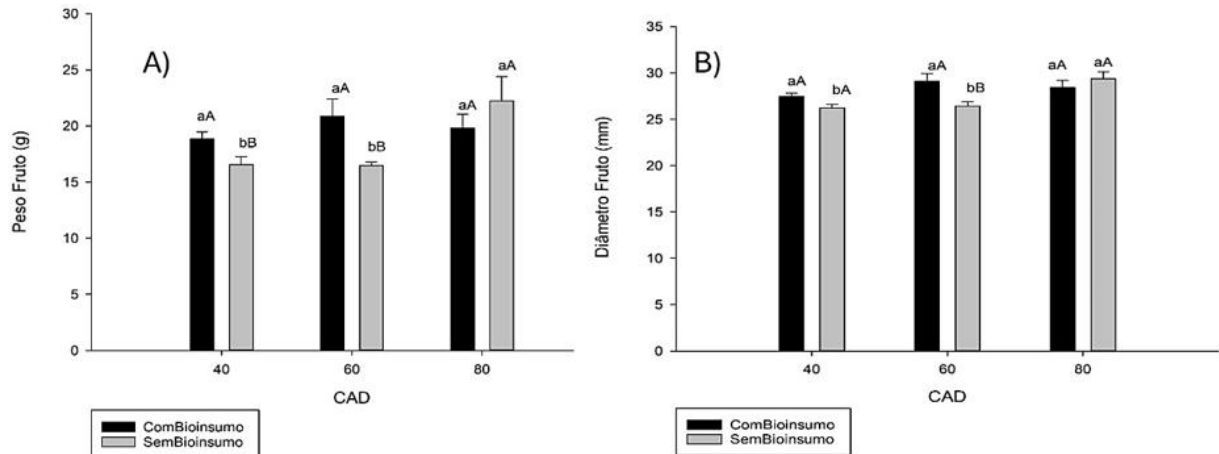


Fonte: Os autores (2025).

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 ($p < 0,05$).

As variáveis biométricas que deram diferença significativa foram de diâmetro e do peso dos frutos, que aumentaram sob aplicação das BPCPs nas CADs 40 e 60, com incrementos médios de 16% e 18%, respectivamente, em relação às plantas não inoculadas (Figura 13).

Figura 13 - Peso (A) e diâmetro (B) do fruto.



Fonte: Os autores (2025).

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 ($p < 0,05$).

3.2 DISCUSSÕES

Os resultados obtidos demonstram que para os parâmetros Número de Frutos, Comprimento do Fruto, pH e Teor de água, a aplicação do bioinsumo à base de *Priestia aryabhatai* não apresentou diferença significativa entre os tratamentos, demonstrando que, nas condições experimentais avaliadas, a aplicação dessa BPCP não foi um fator de melhoria dessas variáveis.

Quando as diferenças foram significativas, os resultados mostraram que a aplicação do bioinsumo à base de *Priestia aryabhatai* promoveu alterações nos parâmetros físico-químicos avaliados nos frutos de tomate, que podem contribuir para tomada de decisão do produtor, especialmente quando associada às diferentes condições de disponibilidade hídrica que se configura como um fator limitante ao desempenho produtivo da cultura.

De modo geral, observou-se que o déficit hídrico exerceu influência direta sobre variáveis como sólidos solúveis, acidez titulável, textura e atributos físicos dos frutos, corroborando estudos que indicam que a restrição hídrica modifica o metabolismo primário e secundário do tomateiro, refletindo na qualidade final do produto (Chitarra & Chitarra, 2005; Wadood *et al.*, 2024).

Os resultados obtidos para as características físico-químicas dos frutos indicaram que as plantas não inoculadas com BPCPs apresentaram maiores valores de acidez titulável e sólidos solúveis, refletindo frutos com maior concentração de açúcares e ácidos orgânicos. Esse comportamento pode estar associado ao estresse fisiológico induzido pelo déficit hídrico (CAD

40), o qual estimula mecanismos de defesa que resultam no acúmulo desses compostos (Oliveira *et al.*, 2023). Tendência semelhante foi observada por Wadood *et al.* (2024), que reportaram aumento nos teores de sólidos solúveis e acidez em frutos de tomate submetidos a déficit hídrico moderado, associada à intensificação do metabolismo de carboidratos e à menor diluição dos solutos. Apesar de favorecer atributos sensoriais como sabor, esse efeito ocorre, frequentemente, em detrimento do tamanho e do rendimento físico dos frutos.

Os resultados da inoculação da BPCP sugerem que seu uso contribuiu para a manutenção do metabolismo primário em níveis mais estáveis, evitando respostas extremas associadas ao estresse severo e favorecendo a produção de frutos com qualidade mais uniforme. Esse efeito está relacionado à capacidade das BPCPs em modular processos centrais do metabolismo primário, como a fotossíntese, o balanço energético e o metabolismo de carboidratos, além de favorecer a absorção de água e nutrientes e reduzir os custos metabólicos associados à ativação excessiva de mecanismos de defesa. Como consequência, as plantas mantêm maior eficiência metabólica mesmo sob restrição hídrica, refletindo-se em melhor desempenho produtivo e fisiológico e resultando no aumento da relação SS/AT, característica desejável sob o ponto de vista tecnológico e sensorial (Schmeyer *et al.*, 2024).

A relação SS/AT apresentou variações em função das CADs e da aplicação da BPCP, evidenciando que a qualidade do tomate percebida pelo consumidor não depende de um único atributo isolado, mas da interação entre diferentes parâmetros físico-químicos. Observou-se aumento da relação SS/AT nos frutos provenientes de plantas tratadas com o bioinsumo, o que indica maior equilíbrio entre açúcares e ácidos orgânicos.

Esse aumento é especialmente desejável pela indústria de processamento, uma vez que valores mais elevados de SS/AT estão associados a frutos com sabor mais doce e menos ácido, reduzindo a necessidade de correções tecnológicas durante o processamento, como a adição de açúcares ou o ajuste de acidez. Além disso, tomates com maior relação SS/AT apresentam melhor rendimento industrial e maior aceitação sensorial em produtos processados, como molhos, extratos e concentrados (Cannata *et al.*, 2024). Dessa forma, a aplicação da BPCP mostra-se recomendada quando o objetivo é a produção de tomates destinados à indústria, visando à melhoria da qualidade tecnológica da matéria-prima.

Quanto à textura, que é um parâmetro determinante para a aceitação comercial, verificou-se que a maior disponibilidade hídrica favoreceu o desenvolvimento estrutural do fruto, mantendo firmeza superior. Esses achados corroboram estudos de Zahedifar *et al.* (2025), que destacam a relação direta entre disponibilidade de água e integridade estrutural dos frutos, reforçando que a adequada hidratação dos tecidos é fundamental para preservar atributos físicos

e comerciais. A firmeza dos frutos foi particularmente afetada pela CAD 40 indicando comprometimento da integridade das paredes celulares e possível redução na deposição de componentes estruturais, como cálcio e pectinas.

Na CAD 40, observou-se uma redução nos parâmetros de peso e diâmetro, refletindo as limitações fisiológicas impostas pelo déficit hídrico intenso, como menor absorção de água, comprometimento do transporte de assimilados e alterações na expansão celular. Esses efeitos são citados pelos autores Machado *et al.* (2023) e Flores-Saavedra *et al.* (2023), como respostas típicas do tomateiro à escassez hídrica, resultando em frutos menores e com qualidade física reduzida.

Contudo, as plantas inoculadas com a BPCP sob CAD 40 apresentaram desempenho superior, com manutenção parcial do peso e do diâmetro dos frutos quando comparadas às plantas controle. Esse comportamento indica que o bioinsumo atuou como um agente mitigador do déficit hídrico, possivelmente por meio da melhoria da eficiência do sistema radicular, maior exploração do volume de solo e estímulo à absorção de água e nutrientes, mesmo em condições de disponibilidade hídrica limitada como descrito por Balderas-Ruíz *et al.* (2021). Segundo esses autores, a melhoria no sistema radicular amplia a capacidade de exploração do solo e otimiza o uso da água e dos nutrientes, resultando em frutos com maior calibre e massa.

A interação significativa observada entre o uso das BPCPs e as CADs reforça que a produtividade e a qualidade comercial dos frutos podem ser otimizadas quando há equilíbrio entre a inoculação e o manejo hídrico, corroborando estudos (Qin, Ning, 2025; Quiroz *et al.*, 2025; Arif *et al.*, 2025) que defendem a integração de práticas biotecnológicas e estratégias de irrigação como ferramentas complementares para melhorar o desempenho das culturas.

Nesse contexto, a aplicação da BPCP mostra-se particularmente promissora para sistemas de produção de tomate submetidos à limitação hídrica, especialmente em cenários de seca agrícola ou em regiões com irregularidade pluviométrica. A capacidade das BPCPs em mitigar os impactos do déficit hídrico severo evidencia seu papel como ferramenta complementar ao manejo da água, alinhada aos princípios da agricultura sustentável e ao uso racional dos recursos naturais. Embora a CAD 40 imponha restrições importantes à produção e à qualidade dos frutos, a inoculação com *Priestia aryabhatai* contribuiu para aumentar a resiliência fisiológica do tomateiro, favorecendo a manutenção de atributos físicos e qualitativos dos frutos mesmo sob condições adversas.

4 CONCLUSÃO

Os resultados demonstraram que os efeitos da aplicação da BPCP *Priestia aryabhatai* no tomateiro dependem da interação com a disponibilidade hídrica do solo. A inoculação não promoveu alterações significativas nos parâmetros número de frutos, comprimento do fruto, pH e teor de água, observou-se efeito positivo sobre atributos relacionados à qualidade tecnológica dos frutos, especialmente o aumento da relação sólidos solúveis/acidez titulável (SS/AT), com maior expressão sob condição de maior restrição hídrica (CAD 40). Esses achados indicam que a aplicação da *Priestia aryabhatai* pode atuar como ferramenta complementar ao manejo hídrico, contribuindo para a resiliência produtiva e para a melhoria da qualidade industrial dos frutos em sistemas de produção sujeitos ao déficit hídrico.

REFERÊNCIAS

- ARIF, M.; SHAMSHAD, J.; KHALID, F.; KUZYAKOV, Y.; YOUNAS, A.; LI, L. Biotechnological and Sustainable Approaches to Climate-Resilient Agriculture. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 211, n. 4, p. e70105, 2025.
- BALDERAS-RUIZ, 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.
- BORGES, C. S.; VEGA, R. A.; CHAKRABORTY, S.; WEINDORF, D. C.; LOPES, G.; GUIMARAES, L. R.; CURI, N.; LI, B.; RIBEIRO, B. T. Pocket-sized sensor for controlled, quantitative and instantaneous color acquisition of plant leaves. **Journal of Plant Physiology**, 272 (2022) 153686.
- CANNATA, C.; MAURO, R. P.; RUTIGLIANO, C. A. C.; BASILE, F.; MURATORE, G.; RESTUCCIA, C.; ... LEONARDI, C. Exploring the evolution of postharvest quality and composition in novel mini plum tomatoes with different fruit pigmentations. **Agronomy**, v. 14, n. 7, p. 1479, 2024.
- CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; MATTOS JUNIOR, D.; BOARETTO, R. M.; RAIJ, B. V. **Boletim 100**: Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. 2. ed. Campinas: Instituto Agrônômico e Fundação IAC, 2022. p. 419-423 (Boletim Técnico, 100).
- CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de frutas e hortaliças: fisiologia e manuseio**. 2.ed. Lavras: Editora UFLA, 2005.783p.
- CONTI, V.; PARROTTA, L.; ROMI, M.; DEL DUCA, S.; CAI, G. Tomato biodiversity and drought tolerance: A multilevel review. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 24, n. 12, p. 10044, 2023.
- FLORES-SAAVEDRA, M. I.; PLAZAS ÁVILA, M. D. L. O.; VILANOVA NAVARRO, S.; PROHENS TOMÁS, J.; GRAMAZIO, P. Induction of water stress in major *Solanum* crops: A review on methodologies and their application for identifying drought tolerant materials. **Scientia Horticulturae**, v. 318, 2023.

HORTICERES SEMENTES. **Tomate Híb. Vero (HS 1188)**. 2020. Disponível em: <<https://horticeres.com.br/produto/tomate-hib-hs-1188/>>. Acesso em: 01 ago. 2025.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz.: Métodos químicos e físicos para análise de alimentos. **Revista do Instituto Adolfo Lutz**. v. 1, 4. ed. 1. ed. digital. São Paulo: IMESP, 2008.

MACHADO, J.; VASCONCELOS, M. W.; SOARES, C.; FIDALGO, F.; HEUVELINK, E.; CARVALHO, S. M. Young tomato plants respond differently under single or combined mild nitrogen and water deficit: an insight into morphophysiological responses and primary metabolism. **Plants**, v. 12, n. 5, p. 1181, 2023.

MUKHTIAR, A.; LIHONG, W.; MAHMOOD, A.; AMEEN, M.; ZIA, M. A.; ARSHAD, T.; NAQVE, M.; WAHAB, H. A.; RASHEED, A.; ASGHAR, S.; ZAFAR, A.; HASSAN, M. U. The role of endophytes and rhizobacteria to combat drought stress in wheat. **Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca**, [S. l.], v. 51, n. 4, p. 13453, 2023. DOI: 10.15835/nbha51413453.

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.

PEREIRA, D.; DO NASCIMENTO CARDOSO, F. I.; SCHUELTER, A. R.; ALLEBRANDT, F. H.; DEMBOCURSKI, D.; MACHADO, S. R. C.; CHRIST, D. Condições de armazenagem, tratamento químico de sementes com inseticidas e inoculação do *Bacillus aryabhattai* sobre a germinação e crescimento inicial em milho. **Caderno Pedagógico**, v. 21, n. 13, p. e12819-e12819, 2024.

QIN, A.; NING, D. Developments, Applications, and Innovations in Agricultural Sciences and Biotechnologies. **Applied Sciences**, v. 15, n. 8, p. 4381, 2025.

QUIROZ, I. V.; OROPEZA, D. V. S.; LIRA, M. F. T.; PÉREZ, M. A. L.; GARCÍA, C. R.; MAYA, S. R. Conservation and Reuse of Water in Agriculture: Biotechnological Techniques for Efficient Use. In: **Soil Improvement and Water Conservation Biotechnology**. Bentham Science Publishers, 2025. p. 297-321.

ROŞCA, M.; MIHALACHE, G.; STOLERU, V. Tomato responses to salinity stress: From morphological traits to genetic changes. **Frontiers in plant science**, v. 14, p. 1118383, 2023.

SCHMEY, T.; TOMINELLO-RAMIREZ, C. S.; BRUNE, C.; STAM, R. Alternaria diseases on potato and tomato. **Molecular Plant Pathology**, v. 25, n. 3, p. e13435, 2024.

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.

VINCI, G.; CAMPANA, P.; GOBBI, L.; PRENCIPE, S. A.; RUGGERI, M. Integrated Evaluation of Sustainability and Quality of Italian Tomato Cultivars Grown Under Irrigated and Non-Irrigated Systems. **Agriculture**, v. 15, n. 4, p. 416, 2025.

WADOOD, A.; HAMEED, A.; AKRAM, S.; GHAFAR, M. Unraveling the impact of water deficit stress on nutritional quality and defense response of tomato genotypes. **Frontiers in Plant Science**, v. 15, p. 1403895, 2024.

YILDIZ, M. T.; AKI, C. Evaluation of Physiological and Biochemical Responses of Four Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) Cultivars at Different Drought Stress Levels. **Agronomy**, v. 15, n. 3, p. 653, 2025.

ZAHEDIFAR, M.; MOOSAVI, A. A., GAVILI, E., & ERSHADI, A. Tomato fruit quality and nutrient dynamics under water deficit conditions: The influence of an organic fertilizer. **PloS one**, v. 20, n. 1, p. e0310916, 2025.

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados desta dissertação demonstraram que a aplicação da BPCP *Priestia aryabhatai* foi eficaz na mitigação dos efeitos do déficit hídrico no tomateiro, especialmente sob condições de maior restrição hídrica (CAD 40). A inoculação bacteriana favoreceu respostas biométricas e bioquímicas mais equilibradas, contribuindo para a manutenção do crescimento vegetal, a redução do estresse oxidativo e a melhoria de atributos relacionados à qualidade dos frutos, evidenciando o potencial do bioinsumo como ferramenta complementar ao manejo hídrico em sistemas de produção sujeitos à limitação de água.

Apesar dos resultados promissores, ressalta-se a necessidade de estudos adicionais que avaliem a atuação da *Priestia aryabhatai* em diferentes condições experimentais, incluindo diferentes tipos de solo, formulações de bioinsumos, épocas de cultivo e níveis de disponibilidade hídrica, a fim de ampliar a compreensão de seus mecanismos de ação e validar sua aplicabilidade em escala produtiva. De forma integrada, os achados deste trabalho fornecem subsídios técnicos e científicos para o uso de BPCPs como estratégia sustentável na produção de tomate, contribuindo para a segurança alimentar (ODS 2), o consumo e a produção responsáveis (ODS 12), a ação contra a mudança do clima (ODS 13) e o uso sustentável de microrganismos na agricultura (ODS 15).

REFERÊNCIAS

- CORRÊA, G. de S. P. M.; C., QUEIROZ, A. T. da S.; SILVA, M. P. da; Mello, M. E. de; Oliveira, T. M. L.; Laylles, C. A.; FRADE, L. F. da S.; SANTOS, J. B. dos; SILVA, C. M. da; SILVA, A V. da. Use of bioinputs in sustainable agriculture: Trends, challenges and perspectives for reducing the use of agrochemicals. **Environmental & Social Management Journal/Revista de Gestão Social e Ambiental**, v. 19, n. 5, 2025.
- DAS, A.; ALBINSSON, P. A. Consumption culture and critical sustainability discourses: Voices from the global south. **Sustainability**, v. 15, n. 9, p. 7719, 2023.
- GONZALEZ-GONZALEZ, L. M.; DE-BASHAN, L. E. The potential of microalgae–bacteria consortia to restore degraded soils. **Biology**, v. 12, n. 5, p. 693, 2023.
- HORTICERES SEMENTES. **Tomate Hib. Vero (HS 1188)**. 2020. Disponível em: <<https://horticeres.com.br/produto/tomate-hib-hs-1188/>>. Acesso em: 12 mar. 2025.
- MARENGO, J. A. Impactos sociais dos eventos climáticos extremos. **Ciência e Cultura**, v. 76, n. 3, p. 01-08, 2024.
- CORRÊA, G. de S. P. M.; C., QUEIROZ, A. T. da S.; SILVA, M. P. da; Mello, M. E. de; Oliveira, T. M. L.; Laylles, C. A.; FRADE, L. F. da S.; SANTOS, J. B. dos; SILVA, C. M. da; SILVA, A V. da. Use of bioinputs in sustainable agriculture: Trends, challenges and perspectives for reducing the use of agrochemicals. **Environmental & Social Management Journal/Revista de Gestão Social e Ambiental**, v. 19, n. 5, 2025.

NAÇÕES UNIDAS BRASIL. **Sobre o nosso trabalho para alcançar os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Brasil: Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Brasil.** 2024. Disponível em: <<https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>>. Acesso em: 19 de maio 2025.

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.

PÂNZARU, R. L., FIROIU, D., IONESCU, G. H., CIOBANU, A., MEDELETE, D. M., & PÎRVU, R. Organic Agriculture in the Context of 2030 Agenda Implementation in European Union Countries. **Sustainability**, v. 15, n. 13, p. 10582, 2023.

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. 2983, 2023.

RAWAL, R.; SCHEERENS, J. C.; FENSTEMAKER, S. M.; FRANCIS, D. M.; MILLER, S. A.; BENITEZ, M. S. Novel Trichoderma isolates alleviate water deficit stress in susceptible tomato genotypes. **Frontiers in plant science**, v. 13, p. 869090, 2022.

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, 42 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.