

RESSALVA

Atendendo solicitação do(a) autor(a), o texto completo desta tese/dissertação será disponibilizado somente a partir de 19/06/2026

At the author's request, the full text of this thesis/dissertation will not be available online until June 19, 2026

ISABELLY CRISTINA DA SILVA MARQUES

**BIOFUNGICIDA À BASE DE *Bacillus subtilis* EM PRÉ-COLHEITA NA
QUALIDADE E CONSERVAÇÃO PÓS-COLHEITA DE FRUTOS DE TOMATE**

Botucatu

2024

ISABELLY CRISTINA DA SILVA MARQUES

**BIOFUNGICIDA À BASE DE *Bacillus subtilis* EM PRÉ-COLHEITA NA
QUALIDADE E CONSERVAÇÃO PÓS-COLHEITA DE FRUTOS DE TOMATE**

Tese apresentada à Faculdade de
Ciências Agronômicas da Unesp Câmpus
de Botucatu, para obtenção do título de
Doutor em Agronomia (Horticultura).

Orientador: Professor Doutor João
Domingos Rodrigues

Botucatu

2024

M357b

Marques, Isabelly Cristina da Silva

Biofungicida à base de *Bacillus subtilis* em pré-colheita na
qualidade e conservação pós-colheita de frutos de tomate /
Isabelly Cristina da Silva Marques. -- Botucatu, 2024
85 p. : il., tabs.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP),
Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu
Orientador: João Domingos Rodrigues

1. defesa antioxidante. 2. biofungicida. 3. shelf-life. 4.
Solanum lycopersicum. 5. armazenamento. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da
Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agrônômicas,
Botucatu. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Botucatu



CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

Título:

BIOFUNGICIDA À BASE DE *Bacillus subtilis* EM PRÉ-COLHEITA NA QUALIDADE E CONSERVAÇÃO PÓS-COLHEITA DE FRUTOS DE TOMATE

AUTORA: ISABELLY CRISTINA DA SILVA MARQUES

ORIENTADOR: JOÃO DOMINGOS RODRIGUES

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Doutora em Agronomia (Horticultura), pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. JOÃO DOMINGOS RODRIGUES (Participação Presencial)
Biodiversidade e Bioestatística / Instituto de Biociências de Botucatu UNESP

Prof. Dr. RENATO VASCONCELOS BOTELHO (Participação Virtual)
Agronomia / Universidade Estadual do Centro Oeste

Pesquisadora Dr.^a DAYANE MÉRCIA RIBEIRO SILVA (Participação Virtual)
Câmpus de Arapiraca / Universidade Federal de Alagoas

Prof.^a Dr.^a ELIZABETH ORIKA ONO (Participação Presencial)
Biodiversidade e Bioestatística / Instituto de Biociências de Botucatu UNESP

Prof.^a Dr.^a CARMEN SILVIA FERNANDES BOARO (Participação Presencial)
Biodiversidade e Bioestatística / Instituto de Biociências de Botucatu UNESP

Botucatu, 19 de junho de 2024.

*Aos meus amados pais João Mario e Marta,
Aos meus avós Francisco e Maria do Carmo (in
memorian),
dedico*

AGRADECIMENTOS

A Deus por me mostrar que tudo pode ser possível quando a gente se arrisca.

Aos meus queridos pais, João Mario e Marta, por todo amor, dedicação e apoio incondicional.

Às minhas primas, Darliane, Kalliane, Vanderlange, Thayrene e Bianca, que reclamam saudade, mas só me recebem de volta com o diploma na mão, obrigada por todo investimento e confiança que me fez chegar tão longe.

À minha querida vó, Maria do Carmo (*in memoriam*), que infelizmente não estará presente para comemorar mais uma das minhas conquistas, mas vibrou por mim até o fim dos seus dias.

À Dayane, que desde o mestrado me acompanha nas labutas da pós-graduação, que por vezes, é minha coorientadora e me faz acreditar que tudo é possível. Obrigada por tudo e mais ainda por todas às críticas construtivas que me fazem ser melhor do que fui ontem.

Ao meu querido orientador, Dr. João Domingos, conhecido carinhosamente por Mingo e é também o maior entusiasta da cultura pop que eu já conheci, sem ele tantos planos não seriam concretizados, o que me permite ir além.

À professora Elizabeth por toda ajuda, disponibilidade e parceria em todos os momentos.

Ao Vitor, que é o meu melhor amigo e o maior jogador de league of legends, que me dá credibilidade sem tamanho, sempre deixando minha vida leve por ser muito bem-humorado e como diríamos em Mossoró: “acanhado”.

À Joseane Danielle, minha grande amiga e incentivadora, agradeço por sempre torcer pelo meu sucesso. Entre risadas, ela brinca que agora só me verá em casa durante as férias, pois estou prestes a explorar o mundo.

A todos os amigos que fiz durante essa jornada, Fernanda, Lusiane, Gabi, Gysa, William, Juan, Lucas, Anderson, Melina, Monica e Gino, pelas conversas, ajuda e parceria.

Aos meus bons companheiros de laboratório, menino Júnior e Eduardo, que topam tudo e conseguem rir até do vento, agradeço por todos os bons momentos e auxílio indispensável.

À Bayer por permitir que esse trabalho fosse possível e a todos os envolvidos durante essa trajetória.

À UNESP-FCA, por ter me dado a oportunidade de conhecer tantos lugares e pessoas incríveis.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

“Não! Tentar não. Faça ou não faça. Tentativa não há”.

Mestre Yoda, *Star Wars – Episódio V: O Império Contra-Ataca*, 1980.

RESUMO

O tomateiro (*Solanum lycopersicum* L.) pertencente à família Solanaceae, é uma das olerícolas mais cultivadas e consumidas no mundo. Do ponto de vista de maturação, o tomate se enquadra no grupo de frutos climatéricos, que são colhidos ainda verdes com propósito de minimizar as perdas pós-colheita. No entanto, reduzir o desperdício de frutas e hortaliças continua sendo um desafio. A prática mais comum para enfrentar esse problema é a aplicação de produtos químicos, especialmente para o controle de patógenos. No entanto, o uso indiscriminado desses produtos pode prejudicar o ambiente, tornando necessária a busca por estratégias alternativas, como o uso de substâncias biológicas. Estas substâncias parecem ser fundamentais para promover uma conservação de alimentos eficaz e segura. Com base nessa premissa, a presente pesquisa teve como objetivo avaliar o efeito do *Bacillus subtilis* aplicado antes da colheita nas respostas físico-químicas e bioquímicas dos frutos de tomate, bem como em seus atributos qualitativos durante o período pós-colheita. A pesquisa foi conduzida em duas etapas. A primeira etapa foi instalada para definir as doses do produto comercial com cepas de *B. subtilis* quanto à eficiência em parâmetros qualitativos e físico-químicos dos frutos, em delineamento de blocos ao acaso, com quatro blocos, constituídos de cinco doses (0, 2, 4, 6 e 8 L ha⁻¹) do biofungicida contendo o microrganismo. Na primeira etapa os resultados revelaram que os frutos de tomate tratados com *B. subtilis* mostraram aumento no teor de sólidos solúveis, acidez titulável, ácido cítrico, ácido ascórbico e conteúdo de amido. Houve também maior capacidade antioxidante dos frutos, principalmente devido à ação de enzimas antioxidantes, especialmente nas doses de 4 e 6 L ha⁻¹. Com base nos resultados obtidos, foram selecionadas as doses de 4 e 6 L ha⁻¹ para a segunda etapa desse estudo. Na segunda etapa, foram avaliados os parâmetros bioquímicos, físico-químicos e qualitativos dos frutos aos 0, 4, 8 e 12 dias de armazenamento à temperatura ambiente com as doses 0, 4 e 6 L ha⁻¹ do biofungicida. Esta etapa foi realizada com delineamento de blocos ao acaso em parcelas subdivididas, sendo a parcela principal as doses e a subparcela o tempo de armazenamento. Na segunda fase do experimento, a aplicação do biofungicida à base de *B. subtilis* na dose de 6 L ha⁻¹ favoreceu as respostas fisiológicas dos frutos de tomate até o 12º dia após a colheita em comparação com o controle. Essas respostas ocorreram devido à maior

atividade das enzimas fenilalanina amônia-liase, polifenol oxidase, superóxido dismutase, catalase e peroxidase. Além disso, houve redução na atividade de enzimas pectinolíticas e na peroxidação lipídica, o que ajudou a manter a integridade das membranas até o final do período de avaliação. Isso contribuiu para a firmeza dos frutos e retardou o processo de amadurecimento, prolongando assim a vida de prateleira dos frutos. Pode-se concluir que a aplicação pré-colheita de *B. subtilis* influencia positivamente a qualidade pós-colheita dos frutos de tomate, ao regular o processo de amadurecimento. Esta abordagem biológica oferece uma alternativa promissora aos produtos químicos, promovendo uma conservação de alimentos eficaz e segura.

Palavras-chave: defesa antioxidante; biofungicida; shelf-life; *Solanum lycopersicum*; tempo de prateleira, armazenamento.

ABSTRACT

The tomato plant (*Solanum lycopersicum* L.), belonging to the Solanaceae family, is one of the most cultivated and consumed vegetables worldwide. From a maturation perspective, tomatoes are classified as climacteric fruits, which are harvested while still green to minimize post-harvest losses. However, reducing fruit and vegetable waste remains a challenge. The most common practice to address this issue is the application of chemical products, particularly for pathogen control. However, the indiscriminate use of these products can harm the environment, necessitating the search for alternative strategies, such as the use of biological substances. These substances appear to be crucial for promoting effective and safe food preservation. Based on this premise, the present study aimed to evaluate the effect of pre-harvest application of *Bacillus subtilis* on the physicochemical and biochemical responses of tomato fruits, as well as on their qualitative attributes during the post-harvest period. The study was conducted in two phases. The first phase was designed to determine the doses of the commercial product containing *B. subtilis* strains in terms of their efficiency on the qualitative and physicochemical parameters of the fruits, using a randomized block design with four blocks, comprising five doses (0, 2, 4, 6, and 8 L ha⁻¹) of the biofungicide containing the microorganism. Results from the first phase revealed that tomato fruits treated with *B. subtilis* showed increased levels of soluble solids, titratable acidity, citric acid, ascorbic acid, and starch content. There was also an enhanced antioxidant capacity of the fruits, primarily due to the activity of antioxidant enzymes, especially at doses of 4 and 6 L ha⁻¹. Based on these results, doses of 4 and 6 L ha⁻¹ were selected for the second phase of the study. In the second phase, the biochemical, physicochemical, and qualitative parameters of the fruits were evaluated at 0, 4, 8, and 12 days of storage at room temperature with doses of 0, 4, and 6 L ha⁻¹ of the biofungicide. This phase was carried out using a randomized block design with subdivided plots, where the main plot represented the doses and the subplot represented the storage time. In the second phase of the experiment, the application of the *B. subtilis*-based biofungicide at a dose of 6 L ha⁻¹ favored the physiological responses of the tomato fruits up to the 12th day after harvest compared to the control. These responses were attributed to increased activity of the enzymes phenylalanine ammonia-lyase, polyphenol oxidase, superoxide dismutase, catalase, and peroxidase. Additionally, there was a reduction in pectinolytic enzyme activity and lipid

peroxidation, which helped maintain membrane integrity until the end of the evaluation period. This contributed to the firmness of the fruits and delayed the maturation process, thereby extending the shelf life of the fruits. It can be concluded that pre-harvest application of *B. subtilis* positively influences the post-harvest quality of tomato fruits by regulating the maturation process. This biological approach offers a promising alternative to chemical products, promoting effective and safe food preservation.

Keywords: antioxidant defense; biofungicide; fruit quality; *Solanum lycopersicum*, shelf-life.

SUMÁRIO

	INTRODUÇÃO GERAL.....	17
	CAPÍTULO 1 - IMPACTOS FÍSICO-QUÍMICOS DA APLICAÇÃO PRÉ-COLHEITA DE <i>Bacillus subtilis</i> EM FRUTOS DE TOMATE.....	20
1.1	INTRODUÇÃO.....	22
1.2	MATERIAL E MÉTODOS.....	24
1.2.1	Área experimental e condições de cultivo.....	24
1.2.2	Delineamento experimental e aplicação dos tratamentos.....	24
1.2.3	Colheita dos frutos e variáveis analisadas.....	25
1.2.4	Análise estatística.....	28
1.3	RESULTADOS.....	29
1.4	DISCUSSÃO.....	37
1.5	CONCLUSÃO.....	43
	REFERÊNCIAS.....	45
	CAPÍTULO 2 - EFEITO DA APLICAÇÃO PRÉ-COLHEITA DE <i>Bacillus subtilis</i> NA VIDA ÚTIL DE FRUTOS DE TOMATE.....	52
2.1	INTRODUÇÃO.....	53
2.2	MATERIAL E MÉTODOS.....	55
2.2.1	Área experimental.....	55
2.2.2	Material vegetal e condições de cultivo.....	55
2.2.3	Delineamento experimental e aplicação foliar.....	56
2.2.4	Colheita e armazenamento.....	56
2.2.5	Variáveis bioquímicas.....	57
2.2.6	Variáveis físico-químicas e qualitativas.....	60
2.2.7	Análise estatística.....	61
2.3	RESULTADOS.....	61
2.3.1	Variáveis bioquímicas.....	61
2.3.2	Variáveis físico-químicas e qualitativas.....	66
2.4	DISCUSSÃO.....	70
2.5	CONCLUSÃO.....	75
	REFERÊNCIAS.....	77
	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	81
	REFERÊNCIAS.....	83

INTRODUÇÃO GERAL

O tomateiro (*Solanum lycopersicum* L.) é uma espécie vegetal pertencente à família Solanaceae (Quinet *et al.*, 2019; Rezk *et al.*, 2021) estando seu fruto presente na mesa da maioria dos brasileiros. Seu cultivo é de grande importância econômica e nutricional entre as hortaliças, sendo o segundo vegetal mais consumido no mundo, depois da batata, com aproximadamente 182,3 milhões de toneladas produzidas por ano (FAOSTAT, 2019).

O Brasil está entre os dez maiores produtores mundiais de tomate, englobando o consumo *in natura* e industrial. A produção brasileira de tomate em 2023 alcançou aproximadamente 3,9 milhões de toneladas. Para 2024, a estimativa é de 4,1 milhões de toneladas. Os estados de São Paulo, Minas Gerais, Goiás e Bahia se destacam como os maiores produtores (IBGE, 2024; Sidra, 2022).

O consumo de tomate é amplamente difundido por apresentar compostos antioxidantes, incluindo vitaminas, carotenoides, ácidos orgânicos e compostos fenólicos (Farooq *et al.*, 2020; Li *et al.*, 2018). Esses compostos bioativos desempenham uma gama de propriedades fisiológicas como efeito anti-inflamatório, antialergênicos, antimicrobianos, cardioprotetores e antioxidantes (Quinet *et al.*, 2019; Raiola *et al.*, 2014).

Todavia, a qualidade do fruto do tomateiro e a biossíntese de metabólitos podem ser influenciadas pelas condições de crescimento e desenvolvimento das plantas (Diouf *et al.*, 2018), bem como, por seu manuseio pós-colheita, que pode culminar em perdas durante o armazenamento (Shehata *et al.*, 2021). Por se tratar de fruto climatérico e altamente perecível, o tomate apresenta vida pós-colheita muito curta, limitada por alta taxa respiratória e rápido processo de maturação e senescência (Inestroza-Lizardo *et al.*, 2021).

Os frutos climatéricos podem ser colhidos ainda verdes e após a colheita, os frutos tendem a permanecer biologicamente ativos, continuando seu processo metabólico que rapidamente pode levar à deterioração da qualidade, degradando proteínas, lipídios, ácidos nucleicos e provocando disfunção celular (Pott; Vallarino; Osorio, 2020; Yun *et al.*, 2012). Os mecanismos que promovem essas mudanças indesejadas à qualidade dos frutos durante o armazenamento estão ligados aos fenóis, processos oxidativos, reações enzimáticas e podridão; no entanto, essas

análises são pouco ou não são avaliadas durante o amadurecimento dos frutos, limitando-se à investigação de alterações físico-químicas (Belay; Caleb, 2022).

Essas mudanças estão associadas à síntese contínua de etileno, que é responsável pelo amadurecimento dos frutos (Iqbal *et al.*, 2017; Nazar *et al.*, 2014). O início do amadurecimento durante a pós-colheita, regula a perda progressiva da firmeza dos frutos de tomate e a sua decomposição enzimática, que altera os componentes da parede celular primária. Quando os frutos se encontram imaturos, a pectina que é o principal agente cimentante da parede celular dos tecidos vegetais, ocorre na forma de protopectinas insolúveis em água, as quais são gradualmente despolimerizadas em pectinas solúveis ao longo do amadurecimento e, consequentemente, contribuindo com o amolecimento dos frutos (Chen *et al.*, 2022; Li *et al.*, 2023). O amaciamento dos frutos é considerado uma das principais causas de perdas pós-colheitas (Patel *et al.*, 2020).

No Brasil, as perdas oriundas da pós-colheita de frutos e vegetais situam-se em torno de 30 a 45%, mesmo ocorrendo notável avanço tecnológico de produção nas últimas décadas (Henz, 2017; Santos *et al.*, 2020). Para reverter esse quadro, o uso de produtos químicos sintéticos é um dos mais empregados quando se refere à conservação pós-colheita de frutos e hortaliças, sobretudo, no controle de patógenos (Schreuder *et al.*, 2018; Shimshoni *et al.*, 2020).

Os riscos de resíduos químicos no produto e no ambiente demanda o uso de substâncias alternativas, para evitar o desenvolvimento de cepas de patógenos resistentes e efeitos adversos ao consumidor (Nicosia *et al.*, 2016; Wisniewski *et al.*, 2016). Atualmente, a adoção de produtos biológicos constituídos de materiais naturais como plantas, bactérias e certos minerais fornecem alternativa ecológica e de biossegurança às formulações convencionais (Garganese *et al.*, 2019). Estes produtos têm maior sustentabilidade, número reduzido de aplicações e baixo efeito residual por serem biodegradáveis (Warra; Prasad, 2020). Entretanto, apesar de seus benefícios, poucos desses produtos foram inteiramente testados em diversas condições de campo ou casa de vegetação, ou, seus efeitos ainda não foram plenamente compreendidos.

Dentre esses agentes de biocontrole, produtos formulados com cepas benéficas, como bactérias promotoras de crescimento de plantas (BPCP), podem ser considerados eficazes no metabolismo pós-colheita, pois estabelecem diversas alterações fisiológicas no metabolismo da planta hospedeira, influenciando a

resistência sistêmica e prolongando a vida útil sem causar efeitos nocivos às mesmas (Arroyave-Toro; Mosquera; Villegas-Escobar, 2017; Chandrasekaran *et al.*, 2019; Sarma *et al.*, 2012).

As BPCP são um grupo de bactérias que exercem efeitos benéficos nas plantas por meio de mecanismos diretos e/ou indiretos, promovendo o crescimento, resistência a patógenos, absorção de água e nutrientes, assim como, tolerância aos estresses abiótico e biótico (Backer *et al.*, 2018). Dentro do grupo das BPCP destaca-se o gênero *Bacillus* spp., sendo a espécie *B. subtilis*, atualmente, um dos agentes mais atraentes para formulação de produtos à base de micro-organismos (Lastochkina *et al.*, 2019). Este micro-organismo tem a capacidade de produzir endósporos resistentes ao calor, solventes orgânicos e irradiação UV (radiação ultravioleta), logo, mantém sua capacidade de alterar a defesa das plantas hospedeiras, mesmo em condições adversas (Gao *et al.*, 2016; Lastochkina *et al.*, 2019).

Pesquisas recentes têm relatado o uso de *B. subtilis* na pós-colheita, em uma variedade de frutos e vegetais, para o controle de doenças durante o manuseio, transporte e armazenamento (Ambrico; Trupo, 2017; Fan *et al.*, 2023; Kilani-Feki *et al.*, 2016; Lastochkina *et al.*, 2020). Estudos mais aprofundados sugerem que os agentes de biocontrole do gênero *Bacillus* spp. apresentam potencial para ativar enzimas antioxidantes, como superóxido dismutase, catalase, peroxidase, polifenoloxidase entre outras (Wang *et al.*, 2023; Zhou *et al.*, 2019; Zhou *et al.*, 2020), durante o período pós-colheita de frutos infectados por patógenos.

Entretanto, apesar do papel bem documentado do *B. subtilis* no controle de doenças patogênicas durante a pós-colheita, ainda não está bem fundamentada sua influência e os mecanismos subjacentes na pós-colheita de frutos saudáveis, de modo a preservar a qualidade e prolongar o tempo de prateleira dos frutos. Portanto, a presente pesquisa objetivou abordar as implicações da aplicação pré-colheita de cepas benéficas de *B. subtilis* nas respostas fisiológicas e bioquímicas de frutos de tomates.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso de bactérias promotoras de crescimento em plantas (BPCP), como *Bacillus subtilis*, pode induzir várias características fisiológicas no tecido vegetal além de promover a resistência a doenças e tolerância ao estresse biótico, podendo ser altamente empregado durante o manuseio, transporte e armazenamento pós-colheita. Deste modo, o *B. subtilis* possui potencial para aumentar a resistência e a qualidade de frutos e hortaliças durante as condições adversas do período pós-colheita.

No estudo I, a aplicação de diferentes doses do biofungicida à base de *Bacillus subtilis* causou mudanças significativas nas características físico-químicas dos frutos de tomate, indicando potencial para prolongar sua vida de prateleira. Foi observado que o biofungicida influenciou os níveis de sólidos solúveis, acidez, ácido ascórbico e cítrico, compostos fenólicos, capacidade antioxidante, peroxidação de lipídios, níveis de peróxido de hidrogênio, atividade de várias enzimas (como superóxido dismutase, catalase e peroxidase), açúcares redutores, amido e taxa de respiração.

Após a determinação das doses ótimas, como 4 e 6 L ha⁻¹, foi possível avaliar com maior precisão o efeito do *Bacillus* na conservação pós-colheita de frutos armazenados. A aplicação pré-colheita de *B. subtilis* teve impacto positivo na fisiologia pós-colheita dos frutos de tomate, desencadeando uma série de respostas bioquímicas. Isso incluiu a ativação da enzima fenilalanina amônia-liase, envolvida na síntese de compostos fenólicos, e da enzima polifenoloxidase, ambas contribuindo para a resistência dos frutos, bem como enzimas relacionadas ao sistema antioxidante, como superóxido dismutase, catalase e peroxidase. Consequentemente, essa influência promoveu aumento na resistência dos frutos, prolongando assim o tempo de armazenamento.

Além disso, em ambos os estudos, a presença de *B. subtilis* foi eficiente na redução dos danos de membrana nos frutos de tomate, diminuindo a peroxidação lipídica. Com a manutenção da integridade do tecido vegetal, os frutos apresentaram maior estabilidade da membrana celular e firmeza, o que reduziu sua deterioração. O tempo de prateleira dos frutos, que apresentavam maior retenção da textura, foi favorecido pela restrição das enzimas pectinolíticas, responsáveis pelo amolecimento e estas foram significativamente menores sob a ação do biofungicida.

Os resultados desta pesquisa indicam que a dose de 6 L ha⁻¹ de biofungicida contendo *B. subtilis*, aplicada em pré-colheita, é eficaz na promoção desses efeitos

benéficos nas características que influenciam o tempo de conservação dos frutos. Contudo, são necessários estudos adicionais e a implementação generalizada desta abordagem em práticas agrícolas em outros locais, com diferentes cultivares e formas de aplicação do biofungicida (pós-colheita ou em associação pré e pós-colheita), para definir melhor a atuação da BPCP nos parâmetros fisiológicos e bioquímicos de frutos sadios, fornecendo assim mais informações sobre o potencial impacto positivo deste biofungicida e contribuindo para avanços significativos no setor agrícola.

Vale ressaltar que algumas dificuldades foram enfrentadas durante o estudo, como a logística com o transporte dos frutos do local de armazenamento até o local das análises, o número de análises a serem realizadas entre os intervalos de avaliações e a infraestrutura limitada. Apesar desses desafios, os resultados foram promissores e trouxeram muitas respostas e inovações ao meio científico, destacando o potencial do uso de *B. subtilis* na conservação pós-colheita de tomates.

REFERÊNCIAS

- AMBRICO, A.; TRUPO, M. Efficacy of cell free supernatant from *Bacillus subtilis* ET-1, an Iturin A producer strain, on biocontrol of green and gray mold. **Postharvest Biology and Technology**, v. 134, p. 5-10, 2017.
- ARROYAVE-TORO, J. J.; MOSQUERA, S.; VILLEGAS-ESCOBAR, V. Biocontrol activity of *Bacillus subtilis* EA-CB0015 cells and lipopeptides against postharvest fungal pathogens. **Biological Control**, v. 114, p. 195-200, 2017.
- BACKER, R. *et al.* Plant Growth-Promoting Rhizobacteria: Context, Mechanisms of Action, and Roadmap to Commercialization of Biostimulants for Sustainable Agriculture. **Frontier in Plant Science**, v. 9, p. 1-17, 2018.
- BELAY, Z. A.; CALEB, O. J. *et al.* Role of integrated omics in unravelling fruit stress and defence responses during postharvest: A review, Food Chemistry: **Molecular Sciences**, v. 5, p. 1-9, 2022.
- CHANDRASEKARAN, M. *et al.* *Bacillus subtilis* CBR05 for Tomato (*Solanum lycopersicum*) Fruits in South Korea as a Novel Plant Probiotic Bacterium (PPB): Implications from Total Phenolics, Flavonoids, and Carotenoids Content for Fruit Quality. **Agronomy**, v. 9, p. 1-12, 2019.
- CHEN, J. *et al.* Effects of procyanidin treatment on the ripening and softening of banana fruit during storage. **Scientia Horticulturae**, v. 292, p. 1-8, 2022.
- DIOUF, IA. *et al.* Water deficit and salinity stress reveal many specific QTL for plant growth and fruit quality traits in tomato. **Frontiers in Plant Science**, v. 9, p. 1-13, 2018.
- FAN, Y. *et al.* Cell-Free Supernatant of *Bacillus subtilis* Reduces Kiwifruit Rot Caused by *Botryosphaeria dothidea* through Inducing Oxidative Stress in the Pathogen. **Journal of Fungi**, v. 9, p. 1-17, 2023.
- FAOSTAT. Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação. 2019. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#home>. Acesso em 15 de abril de 2023.
- FAROOQ, S. *et al.* Physicochemical and nutraceutical properties of tomato powder as affected by pretreatments, drying methods, and storage period. **International Journal of Food Properties**, v. 23, n. 1, p. 797–808, 2020.
- GAO, H. *et al.* Isolation, identification and characterization of *Bacillus subtilis* CF-3, a bacterium from fermented bean curd for controlling postharvest diseases of peach fruit. **Food Science and Technology Research**, v. 22, n. 3, p. 377-385, 2016.
- GARGANESE, F. *et al.* Pre - and postharvest application of alternative means to control *Alternaria* Brown spot of citrus. **Crop Protection**, v. 121, p. 73-79, 2019.
- HENZ, GP. Postharvest losses of perishables in Brazil: what do we know so far? **Horticultura Brasileira**, v. 35: p. 006-013, 2017.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Estatísticas Econômicas**. 2024. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/39369-em-fevereiro-ibge-preve-safra-de-300-7-milhoes-de-toneladas-para-2024>. Acesso em 08 mai 2024.

INESTROZA-LIZARDO, C. *et al.* Hyperbaric pressure combined with refrigeration vs conventional refrigeration: Ripening and senescence processes of tomatoes, **Scientia Horticulturae**, v. 289, p. 1-7, 2021.

IQBAL, N. *et al.* Ethylene Role in Plant Growth, Development and Senescence: Interaction with Other Phytohormones. **Frontiers in Plant Science**, v. 8, p. 1-19, 2017.

KILANI-FEKI, O. *et al.* Improvement of antifungal metabolites production by *Bacillus subtilis* V26 for biocontrol of tomato postharvest disease. **Biological. Control**, v. 95, p. 73-82, 2016.

LASTOCHKINA, O. *et al.* *Bacillus* Spp.: Efficient Biotic Strategy to Control Postharvest Diseases of Fruits and Vegetables. **Plants**, v. 8, n. 97, p. 1-24, 2019.

LASTOCHKINA, O. *et al.* Effects of Endophytic *Bacillus Subtilis* and Salicylic Acid on Postharvest Diseases (*Phytophthora infestans*, *Fusarium oxysporum*) Development in Stored Potato Tubers. **Plants**, v. 9, n. 76, p. 1-22, 2020.

LI, R. *et al.* Comparative Analyses of Ripening, Texture Properties and Cell Wall Composition in Three Tropical Fruits Treated with 1-Methylcyclopropene during Cold Storage. **Horticulturae**, v. 9, p. 1-14, 2023.

LI, Y. *et al.* Can the world's favorite fruit, tomato, provide an effective biosynthetic chassis for high-value metabolites. **Plant Cell Reports**, v. 37, p. 1443–1450, 2018.

NAZAR, R. *et al.* Involvement of ethylene in reversal of salt-inhibited photosynthesis by sulfur in mustard. **Physiologia Plantarum**, v. 152, 331-344, 2014.

NICOSIA, M. G. L. D. *et al.* Control of postharvest fungal rots on citrus fruit and sweet cherries using a pomegranate peel extract. **Postharvest Biology Technology**, v. 114, pp. 54-61, 2016.

PATEL, M. K. *et al.* Phenylalanine: A promising inducer of fruit resistance to postharvest pathogens. **Food**, v. 9, n. 6, p. 1-12, 2020.

POTT, D. M.; VALLARINO, J. G.; OSORIO, S. Metabolite Changes during Postharvest Storage: Effects on Fruit Quality Traits. **Metabolites**, v. 10, n. 5, p.1-24, 2020.

QUINET, M. *et al.* Tomato Fruit Development and Metabolism. **Frontiers in Plant Science**, v. 10, p. 1-23, 2019.

RAIOLA, A. *et al.* Enhancing the health-promoting effects of tomato fruit for biofortified food. **Mediators Inflammation**, p. 1-16, 2014.

REZK, A. *et al.* Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) Breeding Strategies for Biotic and Abiotic Stresses. In: Al-Khayri, J.M., Jain, S.M., Johnson, D.V. (eds) **Advances in Plant Breeding Strategies: Vegetable Crops**. Springer, Cham., 2021.

SANTOS, S. F. D. *et al.* Post-harvest losses of fruits and vegetables in supply centers in Salvador, Brazil: Analysis of determinants, volumes and reduction strategies. **Waste Management**, v. 101, p. 161-170, 2020.

SARMA B.K. *et al.* Bacteria in Agrobiology: Stress Management. Springer; Berlin/Heidelberg, Germany: **Rhizobacteria mediated induced systemic tolerance in plants: Prospects for abiotic stress management**; p. 225–238, 2012.

SCHREUDER, W. *et al.* Postharvest fungicide treatments and cold storage control citrus black spot infections, **Crop Protection**, v. 12, p. 332-342, 2018.

SHEHATA, S. A. *et al.* Extending Shelf Life and Maintaining Quality of Tomato Fruit by Calcium Chloride, Hydrogen Peroxide, Chitosan, and Ozonated Water. **Horticulturae**, v. 7, p. 1-15 , 2021.

SHIMSHONI, J. A. *et al.* Postharvest fungicide for avocado fruits: antifungal efficacy and peel-t-pulp distribution kinetics. **Foods**, v. 9, n. 2, p. 124, 2020.

SIDRA – SISTEMA BRASILEIRO DE RECUPERAÇÃO AUTOMÁTICA. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola**. 2022. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/home/lspa/brasil>. Acesso em: 18 abr 2023.

WANG, X. *et al.* Investigating the resistance responses to *Alternaria brassicicola* in 'Korla' fragrant pear fruit induced by a biocontrol strain *Bacillus subtilis* Y2. **Postharvest Biology and Technology**, v. 199, p. 1-13, 2023.

WARRA, A. A; PRASAD, M. N. V. Chapter 16 - **African perspective of chemical usage in agriculture and horticulture—their impact on human health and environment**, Editor(s): Majeti Narasimha Vara Prasad, Agrochemicals Detection, Treatment and Remediation, Butterworth-Heinemann, p. 401-436, 2020.

WISNIEWSKI, M. *et al.* Alternative management technologies for postharvest disease control: The journey from simplicity to complexity. **Postharvest. Biology Technology**, v. 122: p. 3–10, 2016.

YUN, Z. *et al.* Comparative transcriptomics and proteomics analysis of citrus fruit, to improve understanding of the effect of low temperature on maintaining fruit quality during lengthy post-harvest storage. **Journal Experimental Botany**, v. 63, n. 8, p.2873–2893, 2012.

ZHOU, M. *et al.* *Bacillus subtilis* CF-3 Volatile Organic Compounds Inhibit *Monilinia fructicola* Growth in Peach Fruit. **Frontiers in Microbiology**, v. 10, p. 1-11, 2019.

ZHOU, Q. *et al.* Application of antagonist *Bacillus amyloliquefaciens* NCPSJ7 against *Botrytis cinerea* in postharvest red globe grapes. **Food Science & Nutrition**, v. 8, n. 3, p. 1499– 1508, 2020.