



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE AGRONOMIA

MATHEUS HENRIQUE CARDOSO DE ARAÚJO

CONTROLE BIOLÓGICO DO BOLOR VERDE EM LARANJA ‘PÊRA’

AREIA
2025

MATHEUS HENRIQUE CARDOSO DE ARAÚJO

CONTROLE BIOLÓGICO DO BOLOR VERDE EM LARANJA ‘PÊRA’

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Coordenação do Curso de Agronomia, do Centro de Ciências Agrárias, da Universidade Federal da Paraíba, em cumprimento às exigências para obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Luciana Cordeiro do Nascimento

AREIA

2025

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

A663c Araújo, Matheus Henrique Cardoso de.
Cotrole biológico do bolor verde em laranja 'pêra' /
Matheus Henrique Cardoso de Araújo. - Areia:UFPB/CCA,
2025.
64 f. : il.

Orientação: Luciana Cordeiro do Nascimento.
TCC (Graduação) - UFPB/CCA.

1. Agronomia. 2. Citrus sinensis. 3. Indução de
resistência. 4. Penicillium digitatum. 5. Pós-colheita.
I. Nascimento, Luciana Cordeiro do. II. Título.

UFPB/CCA-AREIA

CDU 631/635(02)

MATHEUS HENRIQUE CARDOSO DE ARAÚJO

CONTROLE BIOLÓGICO DO BOLOR VERDE EM LARANJA ‘PÊRA’

Trabalho de conclusão de curso
apresentado à Coordenação do Curso de
Agronomia, do Centro de Ciências
Agrárias, da Universidade Federal da
Paraíba, em cumprimento às exigências
para obtenção do título de Engenheiro
Agrônomo.

Aprovado em: 17/12/2024

BANCA EXAMINADORA



Documento assinado digitalmente
LUCIANA CORDEIRO DO NASCIMENTO
Data: 25/12/2024 20:31:15-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof^a. Dr^a. Luciana Cordeiro do Nascimento (Orientadora)

Universidade Federal da Paraíba (UFPB)



Documento assinado digitalmente
MARIA SILVANA NUNES
Data: 18/12/2024 11:56:32-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

MSc. Maria Silvana Nunes

Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT)



Documento assinado digitalmente
ERBS CINTRA DE SOUZA GOMES
Data: 18/12/2024 10:59:08-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Erbs Cintra de Souza Gomes

Instituto Federal do Sertão Pernambucano (IFSertãoPE)



Documento assinado digitalmente
HILDERLANDE FLORENCIO DA SILVA
Data: 18/12/2024 13:18:34-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dra. Hilderlande Florêncio da Silva

Universidade Federal da Paraíba (PPGAgro)

*A Deus, inteligência suprema, causa primeira de todas as coisas,
Às minhas avós, Terezinha Borges de Araújo e Maria das Dores Hermínio da Silva,
Ao meu afilhado Sérgio Ravi,
A minha sobrinha Anália Maitê.*

DEDICO!

AGRADECIMENTOS

A Deus, causa primeira de todas as coisas, pelo entendimento da evolução moral do ser humano e a constante inspiração nessa jornada de aprendizado e cooperação.

A minha família, que com amor, trabalho e esperança, me condicionou a chegar em excelentes lugares, sempre com educação e compromisso, carrego tanto de vocês.

Minhas avós, Terezinha (*in memoriam*) e Maria das Dores; meus pais, Sandra Borges e Josinaldo Cardoso (*in memoriam*), meus irmãos e tios. Crescer é um gesto de amor e gratidão para com vocês.

A minha orientadora, professora Luciana Cordeiro, por todas as oportunidades e os ensinamentos, que vão além da ciência, mas da postura de um ser humano, profissional e ético, dentre tantas outras qualidades, o brilho nos olhos e o sorriso encantador de quem ama o que desempenha, eternamente me lembrarei.

As professoras Rejane Mendonça, Silvanda Melo, Kássia Larissa e Ariadne Soares. E aos professores Alexandre Paiva, Bruno Dias e Milton César. Ao conhecê-los, a minha percepção do mundo aumentou, havendo em mim mais do que entendimento, mas a centelha que remete a inspiração de todos vocês, modelos valiosos.

Aos meus amigos e companheiros de Laboratório, Robson Monteiro, Gabriela Monteiro, Silvana Nunes, Andreza Lima, Mariana Tamires, Hilderlande Florêncio, Edcarlos Camilo, dona Francisca, Otilia Ricardo, Mere Xavier, Clint Wayne e Neto Carvalho, os meus sinceros agradecimentos, nessa travessia em que aprendemos juntos, o caminhar foi pacífico, divertido e o momento presente, satisfatório.

Aos meus amigos Háimyk Nóbrega, Cilene Maximiano, Amanda Baltazar, Suédson Magno, Gean Levi, Diogo Venâncio, Wellington Santos, Adjair Silva e Jandira Costa com vocês, a alegria, o aprofundamento do espírito, a cooperação e o compartilhamento de risos, dores e esperanças, são essenciais para minha vida. Cultivarei a beleza desses sentimentos para sempre.

A toda a comunidade que compõe o Centro de Ciências Agrárias, com saudações, àqueles que me antecederam e prestaram ao mundo grande serviço com a ciência. Ademais, os meus agradecimentos aos filósofos que amo como verdadeiros amigos e que me renovam no entendimento da vida e no cultivo de virtudes, Marco Aurélio, Epíteto, Khalil Gibran e Lúcia Helena Galvão.

Hari Om Tat Sat!

"Você deve perder o seu coração todos os dias e buscá-lo em todos os lugares. Quando você o encontrar, o descobrirá como o coração de todas as coisas." Sri Ram

RESUMO

A citricultura é um setor agrícola significativo na economia global e na segurança alimentar, porém, um dos entraves à citricultura é a ocorrência de doenças, principalmente as de origem fúngica. O bolor verde causado por *Penicillium digitatum* é a principal doença pós-colheita da cultura da laranja (*Citrus sinensis*) com perdas que podem atingir até 90%. O controle químico, com o uso de fungicidas é o método mais usado para minimizar os efeitos de *P. digitatum* em *Citrus* spp.. Devido o risco de contaminação ambiental, o controle biológico se destaca como uma alternativa promissora no manejo integrado de doenças de plantas. O objetivo deste trabalho foi determinar o efeito de produtos biológicos comerciais na a) severidade do bolor verde em laranja ‘Pêra’; b) controle *in vitro* de *P. digitatum*; c) Qualidade físico-química dos frutos; e d) Avaliação da indução de resistência. Os experimentos foram realizados no Laboratório de Fitopatologia (LAFIT) localizado na Universidade Federal da Paraíba/CCA/Campus II, Areia-PB. O fungo *P. digitatum* utilizado foi isolado de frutos de *C. sinensis* com sintomas típicos do bolor verde. Os tratamentos foram compostos por: T1: Água Destilada Esterilizada (ADE); T2: Natucontrol® (*Trichoderma harzianum*); T3: Shocker® (*Bacillus subtilis*); T4: Bio-Imune® (*Bacillus amyloliquefaciens* e *T. harzianum*); T5: EcoTrich® (*T. harzianum*); T6: Tricho-Turbo® (*Trichoderma asperellum*); T7: Auin-Ce® (*Beauveria bassiana*); T8: Mac Café® (*Cladosporium* sp.); T9: Romeo SC® (*Saccharomyces cerevisiae*); T10: Fungicida (Tiabendazol- benzimidazol). O controle *in vitro* foi realizado adicionando um disco da colônia fúngica no centro de placas de Petri com meio batata-dextrose-água e os tratamentos diluídos, nas quais foram avaliados o diâmetro médio da colônia (DM), índice de velocidade de crescimento micelial (IVCM), porcentagem de inibição de crescimento (PIC) e percentual de inibição de esporulação (PIE). O controle *in vivo* foi realizado com frutos de *C. sinensis* previamente feridos e inoculados com um disco da colônia de *P. digitatum*. Os frutos foram submetidos à câmara úmida por 24 horas e avaliou-se diariamente a severidade do bolor verde. As análises físico-químicas foram: Perda de massa, Firmeza da casca, Teor de sólidos solúveis, Acidez titulável, Relação SS/AT, pH e vitamina C. A atividade enzimática correspondeu a atividade de Fenilalanina-amônia liase (PAL), Peroxidase (POX) e Polifenoloxidase (PPO). A severidade do bolor verde em frutos tratados foi reduzida até 69%. Os tratamentos aumentaram a atividade de PAL, PPO e POX. Todos os tratamentos diminuíram significativamente o DM, IVCM, PIC e PIE, diferenciando-se da testemunha. Houve diferença nos valores de pH e vitamina C entre os tratamentos. Os produtos biológicos não alteram os parâmetros de qualidade pós-colheita. Em condições *in vitro* e *in vivo*, os tratamentos biológicos, controlam *P. digitatum* e reduzem a severidade do bolor verde em laranja ‘Pêra’.

Palavras-chave: *Citrus sinensis*; indução de resistência; *Penicillium digitatum*; pós-colheita.

ABSTRACT

Citrus farming is a significant agricultural sector in the global economy and food security, however, one of the obstacles to citrus farming is the occurrence of diseases, mainly of fungal origin. Green mold caused by *Penicillium digitatum* is the main post-harvest disease of orange (*Citrus sinensis*) crops, with losses that can reach up to 90%. Chemical control, with the use of fungicides, is the most widely used method to minimize the effects of *P. digitatum* on *Citrus* spp.. Due to the risk of environmental contamination, biological control stands out as a promising alternative in the integrated management of plant diseases. The objective of this study was to determine the effect of commercial biological products on a) severity of green mold in 'Pêra' orange; b) in vitro control of *P. digitatum*; c) physicochemical quality of the fruits; and d) evaluation of resistance induction. The experiments were carried out at the Phytopathology Laboratory (LAFIT) located at the Federal University of Paraíba/CCA/Campus II, Areia-PB. The fungus *P. digitatum* used was isolated from *C. sinensis* fruits with typical symptoms of green mold. The treatments consisted of: T1: Sterilized Distilled Water (ADE); T2: Natucontrol® (*Trichoderma harzianum*); T3: Shocker® (*Bacillus subtilis*); T4: Bio-Imune® (*Bacillus amyloliquefaciens* e *T. harzianum*); T5: EcoTrich® (*T. harzianum*); T6: Tricho-Turbo® (*Trichoderma asperellum*); T7: Auin-Ce® (*Beauveria bassiana*); T8: Mac Café® (*Cladosporium* sp.); T9: Romeo SC® (*Saccharomyces cerevisiae*); T10: Fungicide (Thiabendazole- benzimidazole). In vitro control was performed by adding a fungal colony disk to the center of Petri dishes with potato-dextrose-agar medium and the diluted treatments, in which the mean colony diameter (MD), mycelial growth velocity index (MVI), percentage of growth inhibition (PIC) and percentage of sporulation inhibition (PIE) were evaluated. In vivo control was performed with previously wounded *C. sinensis* fruits inoculated with a disk from the *P. digitatum* colony. The fruits were subjected to a humid chamber for 24 hours and the severity of the green mold was evaluated daily. The physicochemical analyses were: weight loss, skin firmness, soluble solids content, titratable acidity, SS/AT ratio, pH and vitamin C. The enzymatic activity corresponded to the activity of Phenylalanine-ammonium lyase (PAL), Peroxidase (POX) and Polyphenoloxidase (PPO). The severity of green mold in treated fruits was reduced by up to 69%. The treatments increased the activity of PAL, PPO and POX. All treatments significantly decreased DM, IVC, PIC and PIE, differing from the control. There were differences in pH and vitamin C values between treatments. Biological products did not alter postharvest quality parameters. Under in vitro and in vivo conditions, biological treatments controlled *P. digitatum* and reduced the severity of green mold in 'Pêra' orange.

Keywords: *Citrus sinensis*; resistance induction; *Penicillium digitatum*; postharvest.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Conídios e conidióforos de <i>Penicillium digitatum</i> visualizados em microscopia ótica (40x).....	16
Figura 2. Sintomatologia típica do bolor verde	15
Figura 3. Controle <i>in vivo</i> de <i>P. digitatum</i> em <i>C. sinensis</i>	29
Figura 4. Redução Percentual do IVCm de <i>P. digitatum</i>	36
Figura 5. Severidade do bolor verde em Laranja ‘Pêra’ submetidos aos tratamentos.....	38
Figura 6. Severidade (%) em frutos de Laranja ‘Pêra’ (<i>Citrus sinensis</i>) inoculados com <i>Penicillium digitatum</i> submetidos aos tratamentos.....	38
Figura 7. Redução da Severidade (%) em frutos de Laranja ‘Pêra’ (<i>Citrus sinensis</i>) inoculados com <i>Penicillium digitatum</i> submetidos aos tratamentos.....	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Cultivo <i>in vitro</i> de <i>Penicillium digitatum</i>	34
Tabela 2. Atividade enzimática relacionada à indução de resistência.....	41
Tabela 3. Firmeza da casca de frutos de <i>Citrus sinensis</i> tratados com produtos biológicos.....	45
Tabela 4. Potencial hidrogeniônico (pH) e vitamina C de frutos de <i>Citrus sinensis</i> tratados com produtos biológicos.....	46

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACB - Agente de Controle Biológico

ADE - Água Destilada Esterilizada

AT - Acidez titulável

BDA - Batata, Dextrose e Ágar

BOD - Biochemical Oxygen Demand

BSA - *Bovine serum albumin* (albumina sérica bovina)

DFCI - 2,6-diclorofenolindofenol-sódio

DIC - Delineamento Inteiramente Casualizado

DM - Diâmetro Médio da Colônia

EAK - Extracellular signal-Regulated Kinase

ISR - *Induction Systemic Resistance* (Resistência Sistêmica Induzida)

IVCM - Índice de Velocidade de Crescimento Micelial

MAMP - *Microbe-Associated Molecular Patterns* (Padrões moleculares associados a micróbios)

MAPK - Mitogen-Activated Protein Kinase

PACS - *Polycyclic aromatic compounds* (hidrocarbonetos aromáticos policíclicos)

PAL - Fenilalanina amônia-liase

pH - Potencial Hidrogeniônico

PIC - Percentual de Inibição de Crescimento Micelial

PIE - Percentual de Inibição de Esporulação

PM - Perda de Massa

POX - Peroxidase

PPO - Polifenoloxidase

PR - Proteínas relacionadas à patogênese

PRRs - *Pattern recognition receptors* (receptores de padrão molecular)

RNS - *Reactive nitrogen species* (Espécies reativas de nitrogênio)

ROS - *Reactive oxygen species* (Espécies reativas de oxigênio)

SAR - *Systemic Acquired Resistance* (Resistência Sistêmica Adquirida)

SS - Sólidos Solúveis

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 REVISÃO DE LITERATURA	12
2.1 Citricultura: aspectos socioeconômicos	12
2.2 Bolor verde em <i>C. sinensis</i>	13
2.3 Controle de <i>P. digitatum</i> em <i>C. sinensis</i>	16
2.3.1 Controle convencional	16
2.3.2 Controle Biológico	17
2.3.2.1 <i>Trichoderma</i> spp.	18
2.3.2.2 <i>Beauveria bassiana</i>	20
2.3.2.3 <i>Cladosporium</i> spp.	21
2.3.2.4 <i>Bacillus</i> spp.	22
2.4 Indução de Resistência	24
3 MATERIAIS E MÉTODOS	26
3.1 Local do experimento	26
3.2 Obtenção do isolado de <i>P. digitatum</i>	27
3.3 Tratamentos biológicos utilizados no controle de <i>P. digitatum</i> em <i>C. sinensis</i>	27
3.4 Controle <i>in vitro</i> de <i>P. digitatum</i>	27
3.5 Controle <i>in vivo</i> de <i>P. digitatum</i> em <i>C. sinensis</i>	29
3.6 Avaliação da Indução de Resistência	30
3.6.1 Proteínas Totais	31
3.6.2 Atividade da Fenilalanina-amônia liase (FAL)	31
3.6.3 Atividade da Peroxidase (POX)	32
3.6.4 Atividade da Polifenoloxidase (PPO)	32
3.7 Análises Físico-Químicas de qualidade pós-colheita	32
3.8 Análise estatística	33
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
4.1 Controle <i>in vivo</i> do bolor verde em <i>C. sinensis</i>	34
4.2 Controle <i>in vitro</i> de <i>Penicillium digitatum</i>	37
4.3 Avaliação da Indução de Resistência	41
4.4 Avaliação de qualidade pós-colheita em <i>C. sinensis</i>	44
5 CONCLUSÃO	48
REFERÊNCIAS	49

1 INTRODUÇÃO

A citricultura é um setor agrícola significativo na economia global e na segurança alimentar e a sua cadeia produtiva é responsável pela geração de alimentos, emprego e renda (Cunha, 2021). O Brasil é o maior produtor mundial de laranja, sendo a laranja ‘Pêra’ (*Citrus sinensis*) a variedade mais cultivada nos pomares brasileiros (Gomes et al., 2024), representando uma produção de 17.615.667 Toneladas de laranjas em uma área colhida de 575.437 Hectares (IBGE, 2023).

As culturas agrícolas são acometidas por diversas doenças, principalmente as fúngicas. O bolor verde, que tem como agente causal o *Penicillium digitatum* (Pers.: Fr) Sacc. é a principal doença pós-colheita da laranja, sendo amplamente disseminada em todas as regiões produtoras (Santos et al. 2022), ocasiona podridão nos frutos (Benato et al, 2018) e inviabiliza a comercialização e consumo, causando danos econômicos (Castro, 2020). O processo de infecção é favorecido pela presença de lesões na superfície dos frutos, causadas por insetos, danos mecânicos no processo de colheita ou condições inadequadas de armazenamento e transporte, acarretando perdas que podem alcançar 90% dos frutos (Cheng et al. 2020),

O controle do bolor verde em *Citrus* spp. é realizado por meio de práticas culturais, métodos químicos, controle biológico e genético, sendo o uso de fungicidas sintéticos o mais comumente usado (TERAO et al., 2020). No entanto, o uso indiscriminado e prolongado pode comprometer negativamente o meio ambiente e a segurança alimentar com a contaminação do solo, da água e dos alimentos, além de favorecer a resistência de patógenos (Rodrigues et al. 2020).

A demanda por métodos alternativos de controle de doenças é crescente, e potencializada pelo interesse dos consumidores em alimentos livres de agrotóxicos e produção ambientalmente sustentável (Thomé, 2020; Rocha, 2023). A expansão da agricultura orgânica e das exportações, que restringem o uso de agrotóxicos, também ampliam a busca por alternativas eficientes (Morales-Cedeño, 2021).

Para atender tais necessidades, o controle biológico é promissor e crescente comercialmente. O controle biológico em *Citrus* spp. tem se mostrado eficaz no controle de doenças pós-colheita (Galicía-Campos et al., 2020). Múltiplos produtos biológicos estão disponíveis no mercado e detém em sua composição microrganismos antagonistas no controle de patógenos (Li et al, 2022). Espécies dos gêneros *Trichoderma* spp., *Saccharomyces* spp. e *Bacillus* spp. competem por espaço e nutrientes, atuam na predação e parasitismo, secretam compostos antibióticos e antifúngicos e desencadeiam reações que ativam vias metabólicas

associadas à resistência contra patógenos (Carmona-Hernandez, 2019; Wang, 2020). Esses antagonistas promovem a redução da incidência e severidade das doenças e, consequentemente, das perdas, além de diminuir o uso de agrotóxicos e os seus impactos no ambiente (Sousa, 2023).

A indução de resistência é um fenômeno situado nas células vegetais em respostas a elicitores de natureza biótica ou abiótica. Padrões moleculares associados a microrganismos benéficos são reconhecidos pelas proteínas presentes nas membranas celulares, desencadeando a Indução de Resistência Sistêmica (IRS), garantindo proteção aos frutos contra ataques subsequentes de patógenos (Monteiro et al., 2024). Durante a elicitação, as células vegetais operam na resistência local contra patógenos com a produção de espécies reativas de oxigênio (ROS), compostos fenólicos, fitoalexinas, lignina e formação de calose, e também na resistência sistêmica através da produção dos hormônios sinalizadores ácido salicílico e ácido jasmônico, operantes tanto na sinalização para o núcleo, estimulando a transcrição de genes de defesa, quanto na comunicação com células vizinhas e regiões distantes do local de elicitação (Yu et al., 2022).

Face ao exposto, o objetivo deste trabalho foi determinar o efeito de produtos biológicos comerciais na qualidade pós-colheita de frutos de laranja ‘Pêra’ (*Citrus sinensis*) e o potencial controle de *P. digitatum*. Os objetivos específicos do trabalho foram determinar o efeito de produtos biológicos comerciais na a) severidade do bolor verde em laranja ‘Pêra’; b) controle *in vitro* de *P. digitatum*; c) Qualidade físico-química dos frutos; e d) Avaliação da indução de resistência.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Citricultura: aspectos socioeconômicos

O gênero *Citrus*, pertence à família Rutaceae, e apresenta plantas perenes originárias dos trópicos úmidos da Ásia. Atualmente, a produção de citros está concentrada nas regiões tropicais e subtropicais sob irrigação com uma produtividade média de laranjas entre 25 e 40 toneladas por hectare ao ano (FAO, 2024). Segundo o USDA (2024), os maiores produtores mundiais de laranjas em toneladas são o Brasil (15,3 milhões), China (7,6 milhões), União Europeia (5,5 milhões), México (4,9 milhões) e o Egito (3,7 milhões).

Atualmente, o Brasil lidera a produção e a exportação mundial de suco de laranja, tornando a citricultura o setor com maior valor de produção no agronegócio da fruticultura

nacional (EMBRAPA, 2024). A cadeia produtiva dos citros movimenta um complexo industrial que integra a produção agrícola e a transformação da matéria-prima, com destaque para o suco, gerando emprego, renda e impulsionando o desenvolvimento socioeconômico em várias regiões (Moura et al., 2019; Maciel, 2024).

Na safra 2023/2024 as exportações de suco de laranja atingiram o recorde de maior receita, alcançando US\$ 2,5 bilhões, o que representa um aumento de 21,29% em relação à safra anterior. Considerando os subprodutos oriundos dos citros, como o óleo essencial, pectina e D-limoneno, o valor das exportações chega a US\$ 3 bilhões (CitrusBR, 2024).

A espécie *Citrus sinensis* é a mais cultivada, responsável por aproximadamente 70% da produção anual de frutas cítricas. Além de seu papel na economia, os citros apresentam importância na segurança alimentar, ao qual o seu consumo é impulsionado pelos benefícios à saúde proporcionados por compostos como flavonoides, vitaminas, ácidos fenólicos e pectinas presentes no fruto (Guo et al., 2020; Martins, 2022).

O setor citrícola enfrenta grandes desafios devido às variações climáticas, pragas e doenças que comprometem a produtividade e a qualidade dos frutos, ocasionando perdas econômicas (Reis, 2024). Dentre os problemas enfrentados ao longo da cadeia produtiva, as doenças pós-colheita reduzem a qualidade e a quantidade dos frutos para o comércio *in natura* e para a produção de derivados (Moura et al., 2019). Além disso, contaminações por propágulos de microrganismos ao longo da cadeia produtiva afetam o rendimento, a durabilidade e a qualidade comercial dos frutos, resultando em desperdício significativo, estimado pela FAO em um quinto da produção mundial de alimentos (Sellitto, 2021).

2.2 Bolor verde em *C. sinensis*

Os citros são acometidos por diversas desordens fisiológicas causadas por fungos. O bolor verde, causado por *Penicillium digitatum* (Pers.: Fr) Sacc. é a principal doença da laranja no período pós-colheita, pode causar até 90% de perdas de rendimento durante o armazenamento e o transporte (Rodrigues et al., 2020; Santos; Ribeiro, 2023). No campo, o bolor verde pode acometer os frutos nos últimos estádios de maturação, reduzindo a produtividade e o tempo de prateleira dos frutos (Kimati et al., 2021).

A espécie *P. digitatum*, agente causal do bolor verde em citros, é um dos fungos mais estudados e difundidos no mundo. A etimologia do nome do gênero *Penicillium* vem da palavra latina *penicillus*, que significa “pequeno pincel”, em referência ao formato de suas estruturas reprodutivas (Martins, 2022). Esse fungo pertence à divisão Ascomycota, classe

Eurotiomycetes, ordem Eurotiales e família Aspergillaceae. Suas estruturas apresentam conídios de parede lisa, com formato elipsoidal ou cilíndrico, variando em tamanho entre 3,5-8,0 x 3,0-4,0 μm (Castro, 2020) (Figura 1).

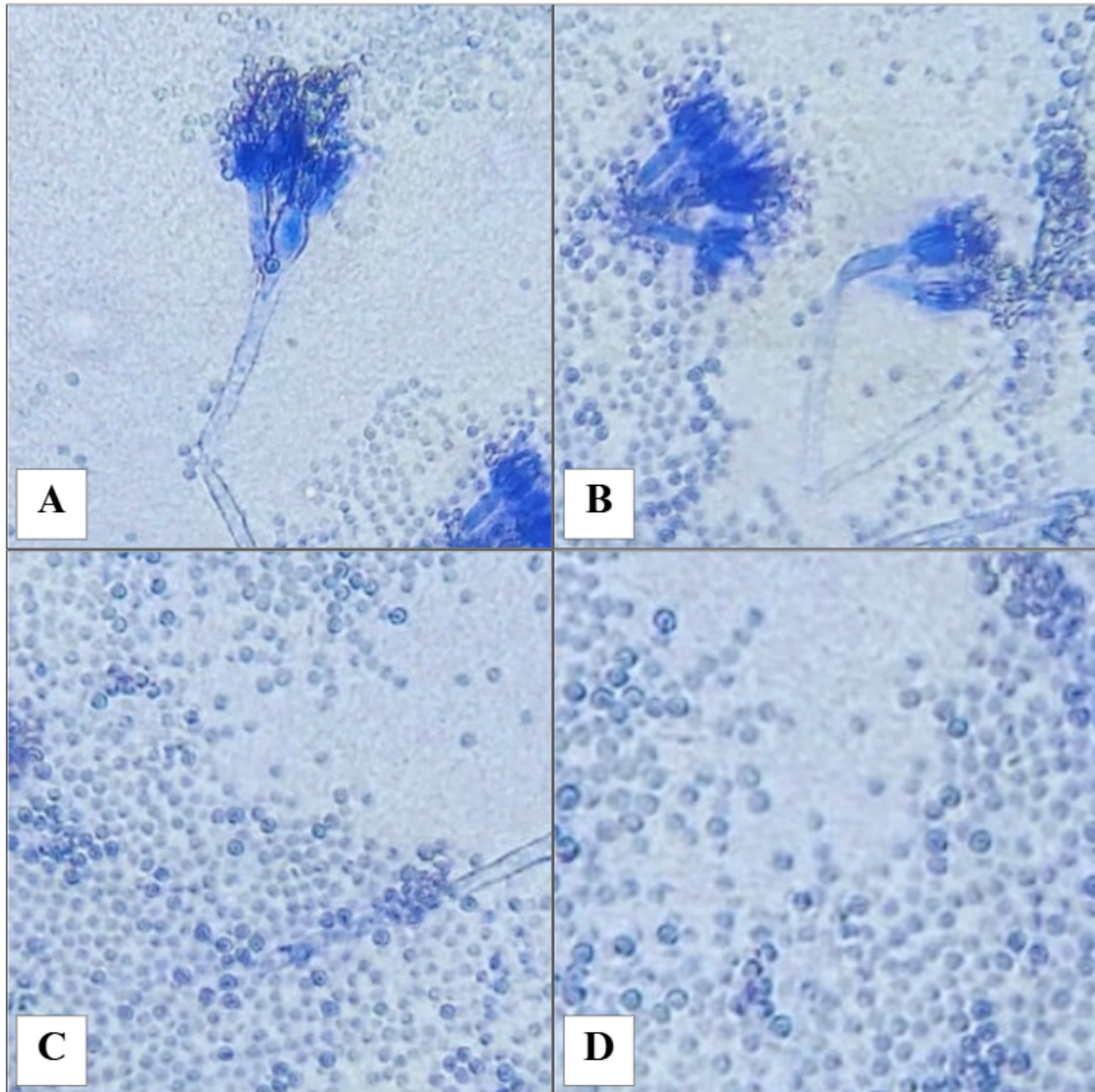


Figura 2. A e B) Conídios e conidióforos de *Penicillium digitatum*; C e D) Conídios de *P. digitatum* visualizados em microscopia ótica (40x). **Fonte:** Autor (2024)

Na natureza, a fase teleomórfica de *P. digitatum* é rara (Kimati et al., 2021). O fungo sobrevive saprofiticamente em pomares, em substratos orgânicos, na forma de conídios. Além disso, *P. digitatum* destaca-se como uma boa produtora de celulase, enzima que degrada as células dos frutos para liberar açúcares e outros nutrientes necessários ao seu desenvolvimento (Santos et al., 2020).

O *P. digitatum* está amplamente disseminado em todas as regiões produtoras de citros. A doença ocorre, majoritariamente, devido a penetração dos conídios em ferimentos na superfície da casca dos frutos ocasionados de maneira mecânica durante a colheita, transporte, armazenamento, comercialização e através de insetos (Thomé, 2020). Os conídios também podem germinar na superfície dos frutos, sem a ocorrência de lesões, através da degradação enzimática da cutícula, em condições ideais de temperaturas entre 25 e 30 °C e umidade relativa acima de 95% (Santos et al., 2022; Wang et al., 2022).

Os sintomas do bolor verde se caracterizam pela podridão mole causada pela degradação dos tecidos do fruto com crescimento do patógeno. inicia-se com uma pequena mancha aquosa que se expande e toma o fruto por inteiro rapidamente. À medida que a infecção vai ocorrendo, o fungo desenvolve um micélio exógeno de coloração branca sobre a podridão mole, posteriormente, produz uma massa pulverulenta de um a dois bilhões de conídios unicelulares de cor de verde-oliva (Castro, 2020; Maciel, 2024). Nos estádios mais avançados da infecção, há exsudação do conteúdo das células degradadas pelo patógeno e a liberação de odores (Maciel, 2024) (Figura 2).



Figura 2. Sintomatologia típica do bolor verde. **Fonte:** Autor (2024).

Os esporos são facilmente transportados pelo vento e pela água, assim o ciclo da doença pode ser repetido muitas vezes durante o ano, aumentando demasiadamente o propágulo de *P. digitatum* no campo e em instalações de processamento e armazenamento (Kimati et al., 2021; Santos et al. 2022). Isto afeta negativamente a cadeia produtiva, pois tende a aumentar a incidência e severidade do bolor verde, pois a relação entre a quantidade de conídios na superfície dos frutos e a severidade do bolor verde é linear (Thomé, 2020).

Além de reduzir a produtividade e a qualidade pós-colheita dos frutos de citros, o *P. digitatum* pode ocasionar problemas de saúde aos humanos, como alergias em função da pulverulência da massa de conídios e a produção de micotoxinas, como a ocratoxina, patulina, citrinina, ácido ciclopiazônico, entre outras (Dwiastuti et al., 2021; Li et al., 2022; Martins, 2022), essas toxinas podem causar dano renal, neurotoxicidade, prejuízo ao sistema imunológico, genotoxicidade e sintomas gastrointestinais (Awuchi et al., 2021; Zhang et al., 2021).

2.3 Controle de *P. digitatum*

2.3.1 Controle convencional

O controle do bolor verde em laranja é predominantemente realizado pela adoção de práticas culturais e aplicação de fungicidas sintéticos. No controle cultural, é realizada a remoção de frutos sintomáticos, cuidados durante as etapas de colheita, transporte e armazenamento para evitar danos físicos, controle de insetos e roedores que possam causar ferimentos nos frutos, limpeza regular dos equipamentos, veículos e instalações utilizadas no manuseio e a manipulação e armazenamento dos frutos em ambientes com temperaturas baixas, reduzindo a germinação dos conídios (Kimati et al., 2021).

O controle químico é amplamente utilizado, principalmente com aplicações de fungicidas do grupo dos benzimidazóis, que atua na inibição da polimerização de tubulina, proteína responsável pela formação de microtúbulos durante a mitose, interferindo na produção de novos núcleos e consequentemente no crescimento das hifas (Amini et al, 2023). O uso de tiabendazol, pirimetanil, guazatina e fludioxonil são frequentes no tratamento de citros no Brasil (Maciel, 2024), e em muitos países o seu uso é proibido, o que acarreta limitação das exportações em função do seu uso (Morales-Cedeño, 2021). Com o uso contínuo e indiscriminado de fungicidas sintéticos, observam-se degradações ao solo, à água, à biodiversidade e à saúde humana e de animais (Ayilara et al., 2023).

Atualmente há uma busca maior por alimentos nutritivos, livre de resíduos químicos e produzidos de maneira sustentável (Lima et al., 2023). Somado a expansão da agricultura orgânica e das exportações, que limitam o uso de agrotóxicos, têm sido implementados na cadeia dos citros, métodos alternativos de controle de doenças, como a refrigeração, tratamento térmico, radiação, atmosfera controlada, óleos essenciais e o uso de controle biológico (Mérel et al., 2023).

2.3.2 Controle Biológico

O controle biológico pode ser definido como a utilização de um ou mais microrganismos com atividade antagônica aos agentes causadores de doenças em plantas (Rodrigues et al., 2020). Os agentes de controle biológico (ACB) podem atuar reduzindo a atividade do patógeno no tecido do hospedeiro e diminuir a sua produção de propágulos, isto pode ocorrer de maneira direta, quando é utilizado ACB vivos, ou indireto, através de moléculas bioativas oriundas de ACB, reduzindo as perdas econômicas (Podgórska-Kryszczuk et al., 2023; Santos et al., 2023). Os ACB podem crescer e se multiplicar no campo, contribuindo com o manejo de doenças e a sustentabilidade a longo prazo (Chaudhary et al., 2024).

Os produtos biológicos vêm ganhando espaço no mercado, pois apresentam eficiência no controle de patógenos em campo e no período pós-colheita e são uma alternativa sustentável ao uso de fungicidas sintéticos (Galicia-Campos et al., 2020). Estes produtos podem ser classificados como microbicidas, quando causam a morte do patógeno; microbiostático, quando impedem o metabolismo do patógeno sem causar morte; e anti-esporulante, quando há inibição da produção de esporos, sem interromper o crescimento vegetativo do patógeno (Kuppler, 2023).

O uso de ACB previnem e diminuem a severidade de bolores em laranja, incluindo o bolor verde causado por *P. digitatum* (Elash et al., 2023). Diversos gêneros de fungos e bactérias estão sendo utilizados para o controle de doenças em campo e pós-colheita, incluindo *Trichoderma* spp. (Prismantoro et al., 2024), *Beauveria* spp. (Sui et al., 2024), *Cladosporium* spp. (Zhu et al., 2024), *Gliocladium* spp. (Aishwardani et al., 2024), *Aureobasidium* spp. (Cignola et al., 2024), *Saccharomyces* spp. (Neves et al., 2024), *Bacillus* spp. (Karacic et al., 2024), *Pseudomonas* spp. (Khatri et al., 2024), entre outros.

As espécies de ACB apresentam diversas interações ecológicas com os patógenos, isto resulta no controle das doenças condicionados por diferentes mecanismos de ação, como a

competição por nutrientes e espaço, produção de sideróforos, produção de moléculas antibióticas, micoparasitismo, predação e a indução de resistência no hospedeiro (Vero et al., 2023).

O número de pesquisas envolvendo o controle biológico aumentou de maneira exponencial nos últimos anos (Li et al., 2022) impulsionado pela sustentabilidade na agricultura e a descoberta do potencial de diversos ACB no manejo de doenças de plantas. Além do controle de doenças propriamente dito, as pesquisas buscam compreender o patobioma, que inclui as interações e os mecanismos funcionais entre o patógeno, o hospedeiro, o microbioma endofítico e o ambiente físico (Droby et al. 2022). Segundo Wisniewski; Droby (2019) o sucesso do controle biológico depende de uma visão integral das interações e mecanismos funcionais entre o patobioma e os ACB.

2.3.2.1 *Trichoderma* spp.

O gênero *Trichoderma* pertence a ordem Hypocreales, filo Ascomycota e ocorre principalmente na fase anamórfica. Apresenta crescimento rápido, produção abundante de conídios e podem produzir escleródios em condições adversas à sua sobrevivência (Abdul-Hakim, 2023).

Esses fungos utilizam uma gama de fontes de carbono e nitrogênio, habitando principalmente em solos florestais e agrícolas, embora também sejam encontrados em sementes, materiais lignocelulósicos em decomposição e tecidos vegetais (Sood et al., 2022). Além de atuarem na ciclagem de nutrientes, são explorados na biorremediação de solos contaminados por pesticidas, na promoção do crescimento vegetal e no manejo de pragas e doenças (Yao et al., 2023).

Diversas espécies de *Trichoderma* demonstram a capacidade de utilizar herbicidas do grupo sulfonilureia como fonte de carbono, promovendo a biorremediação de solos contaminados com eficiência de até 100% (Zin; Badaluddin, 2023). Moléculas de hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (PACs), reconhecidos por sua toxicidade e potencial de bioacumulação, podem ser degradados por enzimas produzidas por *T. asperellum*, como catecol 1,2-dioxigenase, lacases e peroxidases, tornando esse gênero importante na biotecnologia e remediação de ambientes (Dacco et al., 2020).

O potencial de *Trichoderma* no controle biológico é reconhecido e amplamente estudado, atua na supressão e inibição de patógenos, protegendo os rendimentos das culturas agrícolas e reduzindo as perdas pós-colheita em diversas culturas, como citros, tomate

(*Solanum lycopersicum*) e morangos (*Fragaria × ananassa*) (Taye et al, 2023). Atualmente no mercado, existem diversos biofungicidas formulados com cepas desse gênero, como *T. harzianum*, *T. asperellum* e *T. virens* (Guzmán-Guzmán et al, 2023) são utilizadas e atuam no controle de diversos patógenos associados a perdas econômicas, como *Pythium arrhenomanes*, *Rhizoctonia solani*, *Fusarium oxysporum*, *Alternaria tenuis*, *Penicillium digitatum* e *Botrytis cinerea* (Phillip et al., 2024; Tyagi et al., 2024).

A competição por espaço e nutrientes, o parasitismo, a antibiose, a produção de sideróforos e a indução de resistência no hospedeiro são os principais mecanismos de ação antagônica de *Trichoderma* spp. contra patógenos (Larrea et al., 2024). O micoparasitismo ocorre com o reconhecimento do patógeno, a ligação carboidrato-lectina com o alvo, a degradação da parede celular através de enzimas líticas e a assimilação de nutrientes presentes no citoplasma. Nesse processo, *Trichoderma* pode envolver o patógeno com as suas hifas e produzir apressórios após a lise da parede celular, facilitando o parasitismo (Kappel et al., 2024).

O gênero *Trichoderma* pode parasitar nematoides e causar destruição de ovos, juvenis em segunda fase e adultos (Rostami et al., 2024). No meio circundante do seu crescimento, pode liberar ácidos orgânicos e diminuir o pH, tornando o ambiente supressivo a patógenos (Bharti et al., 2024). Além disso, as espécies de *Trichoderma* estão relacionadas a produção de peptídeos, tricomicina, gelatinomicina e clorotricomicina, moléculas com atividade antibióticas (El-Nagar et al., 2024).

O ácido harziânico produzido por *Trichoderma* spp., tem alta capacidade de se ligar a íons metálicos, especialmente o ferro, garantindo o desenvolvimento do fungo em ambientes de baixa disponibilidade deste nutriente e, conseqüentemente, a inibição do crescimento de patógenos pela baixa absorção desse elemento, como o *Fusarium oxysporum* (Cui et al., 2024). Plantas em simbiose com *Trichoderma* spp. apresentam maior teor de ferro e de outros elementos como cobre, fósforo, zinco e manganês em raízes e brotos devido a síntese de sideróforos e doação desses nutrientes, promovendo o crescimento vegetal (Zin; Badaluddin, 2023).

Além da biodisponibilidade de elementos essenciais ao desenvolvimento das plantas, *Trichoderma* spp. está associado ao aumento da atividade enzimática de H⁺-ATPase na membrana plasmática na célula vegetal (Klemmed et al., 2023), a produção de aminoácidos como o ácido γ -aminobutírico, importante para estresses bióticos e abióticos pelo acúmulo de nitrogênio (Chen et al., 2023) e a produção de giberelinas e oxilipinas, que promovem a germinação de sementes e o alongamento das raízes (Bulgari et al., 2023).

Trichoderma spp. aumenta a resistência basal das culturas vegetais e contribui para o controle sustentável de doenças em plantas, devido a produção de padrões moleculares associados a microrganismos (MAMPs) que são reconhecidos por proteínas presentes na membrana da célula vegetal, desencadeando a formação de espécies reativas de oxigênio e nitrogênio (ROS's e RNS's) (Nawrocka et al., 2022). A elicitação microbiana, também resulta na ativação das rotas dos fenilpropanoides e octanopropanoides (Agostini et al., 2022) responsáveis pela produção de hormônios sinalizadores, produção de compostos fenólicos, ativação de genes de defesa, produção de fitoalexinas e proteínas relacionadas à patogênese (PRP's) (Abdelkhalek et al., 2022). Estes mecanismos são importantes na resistência local e sistêmica contra patógenos, pois levam a apoptose de células infectadas e a sinalização para células vizinhas e distantes do sítio de elicitação (Sun; Zhang, 2020).

2.3.2.2 *Beuveria bassiana*

A espécie *Beauveria bassiana* é a fase anamorfa de *Cordyceps bassiana*, pertence à família Clavicipitaceae (Sui et al. 2022), que cresce no solo e também interno aos tecidos vegetais. Os fungos endofíticos obtêm nutrientes das células das plantas sem causar danos. Em contrapartida, a planta hospedeira se beneficia com seus metabólitos que induzem ao crescimento e a tolerância a estresses bióticos e abióticos (Sinno et al 2021).

Atualmente, o mercado oferece diversos produtos biológicos à base de *Beauveria* spp. para o controle de ácaros, insetos e doenças. Esses produtos têm demonstrado eficiência no manejo de patógenos como *Rhizoctonia solani*, *Plasmopara viticola* e *Pythium myriotylum*. Entre os mecanismos de ação de *Beauveria* spp., destacam-se a competição por espaço e nutrientes, o micoparasitismo, a antibiose e a indução de resistência nas plantas (Mantzoukas et al., 2021; Qin et al., 2021; Bahadur, 2023). *Beauveria bassiana* foi capaz de inibir o crescimento de *Rhizoctonia solani* na cultura do arroz (*Oryza sativa*) em até 71,1% (Deb et al., 2023).

O micoparasitismo ocorre com a produção de quitinases e glucanases capazes de degradar a parede celular dos patógenos abrindo espaço para penetração das hifas e a formação de apressórios (Gupta et al., 2022). As enzimas hidrolíticas produzidas por *Beauveria bassiana* são associadas ao controle de *Fusarium oxysporum* e *Gaeumannomyces graminis* na cultura do tomate e trigo (*Triticum* spp.) (Bahadur, 2023).

Os metabólitos produzidos por *Beauveria* spp. podem ser reconhecidos pela membrana plasmática da célula vegetal, desencadeando uma cascata de reações responsáveis

pela expressão de genes codificadores de proteínas relacionadas à patogênese e a ativação de rotas metabólicas sintetizadoras de hormônios sinalizadores, lignina e compostos reativos aos patógenos, aumentando a resistência basal da planta contra patógenos (Gupta et al., 2021; Sinno et al. 2021).

O uso de *Beauveria* na agricultura promove o aumento da altura das plantas e o teor de clorofila. Esses fungos promovem o crescimento vegetal por meio de mecanismos metabólicos, como a produção de sideróforos e a solubilização de fosfato, que contribuem para a disponibilidade de nutrientes essenciais. Além disso, a produção de sideróforos é uma estratégia de competição com patógenos, pois tem vantagem na absorção de nutrientes, auxiliando no controle de doenças (Sui et al. 2022; Sui et al. 2024).

Beauveria bassiana atua como bioestimulante e no controle biológico de pragas e doenças, reduzindo a dependência de defensivos químicos, minimizando impactos ambientais como a contaminação do solo e da água, sendo uma alternativa promissora para a agricultura tropical (MaGuire; Northfield, 2020).

2.3.2.3 *Cladosporium* spp.

O gênero *Cladosporium* é formado por mais de 230 espécies, entre saprófitas, patogênicas de plantas e insetos e micoparasitas. Dentre os prejuízos causados por *Cladosporium* destaca-se a redução de germinação de sementes, menor vigor de plântulas, manchas foliares e mofo branco em tomate, pepino (*Cucumis sativus*), morango e mamão (*Carica papaya*) (Prasannath et al., 2021; Mousavi et al., 2022; Lee et al., 2023; Zhu et al., 2024).

Espécies como *C. cladosporioides*, *C. omanense* e *C. oxysporum* têm potencial biofungicida e atuam na supressão de patógenos de grande interesse na agricultura como *Phomopsis viticola*, *Pythium aphanidermatum* e *Rhizoctonia solani*. Dentre os mecanismos de ação contra patógenos, destacam-se a produção de sideróforos e enzimas hidrolíticas, especialmente lipases, proteases, queratinase, quitinase e celulase (Halo et al., 2021; Răut et al., 2021).

A produção de sideróforos é uma estratégia competitiva do *Cladosporium* contra patógenos. Essas moléculas têm a capacidade de se ligar a íons de ferro, facilitando sua absorção e limitando a disponibilidade de ferro e o desenvolvimento dos patógenos (Halo et al., 2021). O *Cladosporium* também apresenta melhor utilização de fósforo e zinco, pois é capaz de solubilizar esses elementos, utilizando para o seu metabolismo e aumentando a

disponibilidade desses nutrientes para as plantas, promovendo o crescimento e melhores respostas a estresses bióticos e abióticos (Răut et al., 2021).

As enzimas hidrolíticas secretadas pelo *Cladosporium* são responsáveis pela degradação da parede celular de fungos patogênicos, constituídas por quitina e proteínas, além disso, pela degradação da celulose presente na parede de oomicetos, como *Phytophthora* spp., e da queratina, componente da estrutura de insetos, que podem ser vetores de patógenos e ocasionar outros danos às culturas agrícolas (Bensaci et al., 2022; Islam, 2022).

Além da atividade de biocontrole contra *Botrytis cinerea*, *Alternaria alternata*, *Fusarium oxysporum*, *Phytophthora infestans*, *Alternaria solani* e *Fusarium avenaceum*, a espécie *C. sphaerospermum* promoveu o crescimento de arroz e soja (*Glycine max*), demonstrando potencial bioestimulante com a produção de fitohormônios, como as auxinas e giberelinas (Răut et al., 2021; Pan et al. 2023).

O seu potencial biofungicida e bioestimulante oferece alternativas para o desenvolvimento de novas estratégias sustentáveis no controle biológico de doenças de plantas, atuando no controle do brusone do arroz (*Magnaporthe grisea*), ferrugem branca do crisântemo (*Puccinia horiana*) e a ferrugem listrada do trigo (*P. striiformis*) (Islam, 2022).

2.3.2.4 *Bacillus* spp.

O gênero *Bacillus* é composto por bactérias Gram-positivas, aeróbicas ou anaeróbicas facultativas e catalase-positivas, habitam os solos e a rizosfera, e são capazes de formar endósporos, relacionados à sobrevivência em condições ambientais desfavoráveis ao seu metabolismo (Miljakovic, 2020). Mais de 200 espécies de *Bacillus* já foram descritas e muitas são utilizadas na agricultura devido a sua capacidade de controle biológico de doenças e bioestimulante (Vasques et al., 2024).

Diversas cepas de *Bacillus* são utilizadas no controle biológico de fungos, bactérias, nematoides e vírus fitopatogênicos, movimentando um mercado promissor de bioinsumos e o manejo sustentável de doenças (Etesami et al., 2023). Espécies como a *B. amyloliquefaciens*, *B. subtilis*, *B. licheniformis*, *B. megaterium*, *B. pumilus* são comumente encontradas nas formulações de produtos biológicos comerciais e demonstram eficiência no controle de viroses, nematoides e fungos, como *Penicillium digitatum*, *F. oxysporum*, *F. avenaceum*, *Pythium ultimum*, *Verticillium dahliae*, *R. solani* e *Sclerotium rolfsii* (Alizadeh et al., 2020; Baard et al., 2023).

A atividade antagônica de *Bacillus* aos patógenos é associada ao seu rápido crescimento, competição por espaço e nutrientes, produção de metabólitos voláteis, antibióticos, enzimas hidrolíticas, sideróforos e indução de resistência nas plantas e frutos (Dobrzynski et al., 2023; Zhang et al., 2023). Além disso, as espécies de *Bacillus* apresentam atividade bioestimulante, relacionada à modulação da produção de etileno através da enzima ACC sintase, produção de auxinas, citocininas e giberelina, tal como a fixação de nitrogênio atmosférico e solubilização de fosfatos, promovendo o crescimento vegetal e melhor respostas a estresses bióticos e abióticos (Miljakovic, 2020; Morales-Cedeño, 2021).

Antibióticos das famílias da surfactina, iturina, fengicina produzidas por *B. subtilis*, *B. amyloliquefaciens*, *B. licheniformis* e *B. pumilus*, e bacitracinas, polimixinas, gramicidinas produzidas por *B. cereus*, *B. thuringiensis*, interferem na síntese da parede celular e na permeabilidade da membrana plasmática através do contato direto e da interação com o DNA dos patógenos (Miljakovic, 2020).

As enzimas líticas produzidas por *Bacillus*, como as quitinases, glucanases, proteases, lipases e celulasas são responsáveis pela degradação da parede celular de fungos constituídas de quitina, glucano e proteínas, causando rompimento e a morte do patógeno (Ajuna et al., 2023). A produção de hidroxamatos, catecolatos, carboxilatos, bacilibactina garantem as espécies de *Bacillus* maior absorção de ferro, limitando a disponibilidade deste nutriente essencial para os patógenos. O ferro absorvido por estes sideróforos podem ser fornecidos às células vegetais, contribuindo para os seus processos metabólicos e o seu crescimento (Liu et al., 2024).

Antibióticos produzidos por *Bacillus* são reconhecidos pelos receptores de MAMP's na membrana da célula vegetal, metabólitos como o lipopeptídeos cíclicos e a surfactina estão associados a antibiose contra patógenos e também com a elicitação microbiana, auxiliando as plantas na defesa contra estresses bióticos (Ali et al., 2022; Prsic et al., 2023).

A resistência sistêmica induzida (ISR), relacionada aos compostos secundários produzidos por *Bacillus* spp. é semelhante a resistência sistêmica adquirida (SAR) ativada a partir da infecção patogênica (Etesami et al., 2023). A ISR aumenta a resistência das paredes celulares vegetais, em função a deposição de lignina e calose e induz a produção de proteínas PR como quitinases e peroxidases, fenilalanina amônia liase, polifenoloxidase e fitoalexinas, relacionadas a resistência local contra patógenos (Chen et al., 2023; Li et al., 2023; Yang et al., 2023).

Além disso, *Bacillus* spp. pode induzir a resistência de células vegetais a estresses bióticos, aumentando a atividade enzimática responsável pela neutralização de radicais livres

e ROS's produzidos durante a infecção. Esses compostos são produzidos pelas células vegetais como mecanismo de resistência local e sinalização, entretanto, o seu acúmulo ocasiona peroxidação de lipídeos, oxidação de proteína, carboidratos e bases nitrogenadas e desequilíbrio entre a produção de radicais livres e a capacidade antioxidante da célula (Chuang et al., 2022; Safronova et al., 2023). Segundo Etesami et al. (2023), foi observado um aumento na atividade de superóxido dismutase, peroxidase, polifenoloxidase e fenilalanina amônia-liase em arroz infectado, o que contribuiu para aliviar o estresse oxidativo causado por *Magnaporthe oryzae* e reduzir a incidência da brusone, diminuindo o dano oxidativo durante a infecção.

O uso de *Bacillus* spp. na agricultura tem se mostrado uma estratégia eficiente na proteção de plantas e na promoção do crescimento vegetal devido a sua atividade bioestimulante (Vasques et al., 2024). Esses fatores impactam a produtividade de maneira positiva e reduzem as perdas pós-colheita. Além disso, produtos biológicos reduzem o uso de agrotóxicos, diminuindo impactos ambientais e contribuindo com a sustentabilidade na agricultura (Chaudhary et al., 2024).

2.4 Indução de Resistência

A indução de resistência é o aumento do nível de resistência basal das plantas utilizando indutores (biótico ou abiótico), ocorre sem alteração no genoma das células, envolvendo vários genes que codificam para diferentes respostas de defesa da célula vegetal (Zehra et al., 2021). É uma estratégia sustentável implementada no manejo pós-colheita de frutos, através desse processo, há o acúmulo de compostos fenólicos e antioxidantes nas células, promovendo a manutenção da qualidade dos frutos, desacelerando a redução da Resistência Sistêmica Adquirida (SAR) ao longo do amadurecimento e inibindo os patógenos (Prusky; Romanazzi, 2023).

Esse fenômeno ocorre a nível celular, onde moléculas elicitoras são reconhecidas pelas proteínas da membrana plasmática vegetal, desencadeando reações bioquímicas responsáveis pelo aumento da resistência basal do fruto, impedimento e atraso da colonização do patógeno nos tecidos vegetais e menores valores de incidência e severidade de doenças durante o armazenamento (Li et al., 2022).

Nas células vegetais pode ocorrer a Resistência Sistêmica Adquirida (SAR) e a Resistência Sistêmica Induzida (ISR), de acordo com a natureza da molécula que estimula a indução. A SAR corresponde a indução de resistência moduladas por Padrões Moleculares

Associados a Patógenos (PAMP's), como proteínas, quitinas e glucanos (Manes et al., 2021) e também Padrões Moleculares Associados a Danos (DAMP's) como oligossacarídeos, proteínas, peptídeos sinalizadores, ATP extracelular e íons de cálcio derivados da ruptura das células vegetais durante a infecção pelo patógeno (Malik et al., 2020).

A ISR ocorre pelo reconhecimento de Padrões Moleculares Associados a Microrganismos (MAMP's) produzidos por diversos agentes de controle biológico, como *Trichoderma* spp. e *Bacillus* spp., eficientes no controle de doenças em citros durante o armazenamento (Pocurull et al., 2020). Os MAMP's são reconhecidos por receptores específicos na membrana celular vegetal, iniciando uma cascata de sinalização celular que contribui na ativação de diversas vias de defesa (Manes et al., 2021). A ativação de vias de sinalização como a MAPK (Mitogen-Activated Protein Kinase) e EAK (Extracellular signal-Regulated Kinase) ocorre após o reconhecimento dos MAMP's (Zhang; Zhang, 2022). Essas vias são importantes para a sinalização e a ativação de respostas de defesa nas células vegetais, como a ativação da enzima NADPH oxidase, na membrana celular, responsável pela produção de peróxido de hidrogênio e precursora de ROS, atuando no ataque contra patógenos e na sinalização para o núcleo, intermediando a transcrição de genes e outras vias metabólicas associadas a defesa contra patógenos (Karpets et al., 2020).

A partir da via do ácido shikímico, inicia-se a rota dos octanopropanóides, responsável pela produção de ácido salicílico, através do ácido corísmico e ácido benzoico, essas reações são catalisadas pelas enzimas isocorismato sintase e benzoato-2-hidroxilase (Santos-Sánchez et al. 2019). A via do ácido shikímico também é precursora da rota dos fenilpropanóides, a partir da formação do aminoácido Fenilalanina que é convertido, através da enzima PAL, em ácido trans-cinâmico, um importante intermediário da produção de ácido salicílico e de compostos fenólicos, como o ácido cumárico e o ácido cafeico (Li et al., 2024).

O ácido salicílico é um hormônio sinalizador que opera na resistência sistêmica e na ativação de genes de defesa (Augustini et al., 2024), apresenta uma forma volátil, o Metil salicilato (MeSA), durante o armazenamento, a formação do MeSA pode induzir a ISR em outros frutos. Os compostos fenólicos produzidos nessa rota, atuam na resistência local das células vegetais, através do ataque direto aos patógenos e às células infectadas. Por intermédio das peroxidases, esses compostos são polimerizados, formando a lignina e calose, importantes no reforço da parede celular, aumentando a rigidez e a resistência física contra a penetração dos patógenos (Urban et al., 2022).

Além do ácido salicílico, o principal hormônio produzido durante a ISR é o ácido jasmônico advindo da rota dos octadenóides, através da hidrólise de lipídios da membrana

celular para a formação de ácido linolênico, seu principal precursor (Li et al., 2021). O ácido jasmônico é um importante sinalizador celular, estimulando o núcleo a transcrição de genes intermediários de proteínas relacionadas à patogênese, como quitinases e glucanases (Urban et al., 2022) e também estimula a atividade das rotas produtoras de fitoalexinas e compostos fenólicos operantes na resistência local contra patógenos, através da apoptose de células infectadas e circundantes do sítio de infecção, limitando o crescimento do patógeno (Urban et al., 2022), apresenta uma forma volátil, o Metil jasmonato (MeJA), relacionado à indução de ISR em condições de armazenamento. Esse hormônio tem forte sinergismo com o etileno, potencializando a proteção das células vegetais contra a infecção de patógenos (Jia et al., 2022).

O etileno é produzido naturalmente em frutos armazenados, especialmente nos frutos climatéricos, caracterizados pelo pico da produção de etileno e da respiração celular, ao contrário dos frutos não climatéricos, como os citros, onde a produção de etileno é baixa e estável, havendo de aumentar em situações de infecção de patógenos, danos durante a colheita e manuseio e durante a elicitação (Ballester; González-Candela, 2020). O etileno é um importante promotor da rota do ácido jasmônico, do ácido salicílico, da produção de EROS, do metabolismo antioxidante e da expressão de genes relacionados à resistência contra patógenos, atuando na sinalização celular e na ativação de rotas metabólicas operantes durante à patogênese (Yu et al., 2022). Em batatas, o etileno interagiu positivamente com o ácido salicílico, o ácido jasmônico e outros hormônios, aumentando a resistência contra a requeima ocasionada por *Phytophthora infestans* (Yang et al., 2020), isto demonstra o efeito sinérgico do etileno com outros hormônios, potencializando suas rotas e maximizando as respostas de defesas decorrentes da ativação dessas vias metabólicas.

Outras rotas metabólicas podem ser ativadas durante a elicitação, promotora da ISR e a patogênese, promotora da SAR, como a rota dos flavonoides, terpenoides, alcaloides, entre outras (To; Cho, 2021). Essas vias apresentam interações que modulam as suas atividades e apresentam diversos intermediários sinalizadores além do ácido salicílico, ácido jasmônico e o etileno, como cátions de cálcio, ácido pipecólico, ácido azelaico, glicerol-3-fosfato e derivados, entre outros (Ding et al., 2022; Dinler et al., 2024).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Local do experimento

Os experimentos foram conduzidos no Laboratório de Fitopatologia (LAFIT) e a avaliação da indução de resistência foi realizada no Laboratório de Biotecnologia e Melhoramento Vegetal, ambos pertencentes à Universidade Federal da Paraíba, no Centro de Ciências Agrárias, Campus II, em Areia-PB, entre março e julho de 2024.

3.2 Obtenção do isolado de *P. digitatum*

O *P. digitatum* utilizado foi obtido de frutos de *C. sinensis* com sintomas típicos de bolor verde dos citros. Foram retirados fragmentos de 5 mm da casca dos frutos com auxílio de lâmina de bisturi flambado, e postos em placas de Petri contendo 10 mL de meio de cultura BDA (200 g batata, 20 g dextrose, 20 g ágar L⁻¹, diluídos em água destilada esterilizada - ADE).

As placas contendo os fragmentos foram incubadas em câmara do tipo *Biochemical Oxygen Demand* (BOD) à 25 ± 2 °C e fotoperíodo de 12 horas. Após sete dias, as características morfológicas, tais como conídios e conidióforos, foram observadas em microscópio ótico e comparadas com literatura específica (Menezes, 1996), confirmando a etiologia do patógeno.

3.3 Tratamentos biológicos utilizados no controle de *P. digitatum*

Os tratamentos biológicos utilizados no controle de foram compostos por T1: Controle (ADE); T2: Natucontrol[®] (1,6 g L⁻¹) (*Trichoderma harzianum*); T3: Shocker[®] (1,0 g L⁻¹) (*Bacillus subtilis*); T4: Bio-Imune[®] (3,3 g L⁻¹) (*Bacillus amyloliquefaciens* e *Trichoderma harzianum*); T5: EcoTrich[®] (0,83 g L⁻¹) (*Trichoderma harzianum*); T6: Tricho-Turbo[®] (1,0 mL L⁻¹) (*Trichoderma asperellum*); T7: Auin-Ce[®] (2,2 mL L⁻¹) (*Beauveria bassiana*); T8: Mac Café[®] (2,5 mL L⁻¹) (*Cladosporium* sp.); T9: Romeo SC[®] (3,3 mL L⁻¹) (*Saccharomyces cerevisiae*) e T10: Fungicida Tiabendazol (10,3 mL L⁻¹).

3.4 Controle *in vitro* de *P. digitatum*

Em 100 placas de Petri (90 mm x 15 mm) esterilizadas foram adicionados 10 mL de meio de cultura BDA com os tratamentos diluídos, sendo inserido no centro de cada placa um disco da colônia (5 mm) de *P. digitatum*. As placas foram mantidas em B.O.D à 25 ± 2 °C e fotoperíodo de 12 horas por 9 dias. Diariamente, mediu-se o diâmetro do crescimento

micelial, com uma régua graduada em centímetros, nos dois eixos perpendiculares da placa, até que o micélio preenchesse toda a placa de Petri, o que ocorreu ao longo de nove dias.

Com os dados das medições, foram determinados:

- a) Diâmetro Médio da Colônia (DM), expresso em milímetros;
- b) Índice de Velocidade de Crescimento Micelial (IVCM), expresso em mm.dia^{-1} , calculado de acordo com a fórmula por Garbin et al. (2024).

$$\text{IVCM} = \sum (D - D_a) / N$$

Onde D= diâmetro médio atual da colônia; D_a = diâmetro médio da colônia do dia anterior; N= número de dias após a inoculação.

- c) Percentual de Inibição do Crescimento Micelial (PIC), de acordo com a fórmula proposta por Menezes et al. (2024):

$$\text{PIC (\%)} = (D_c - D_t) / (D_c) * 100$$

Na qual, D_c = diâmetro da colônia no tratamento controle; D_t = diâmetro da colônia em certo tratamento.

A contagem de esporos foi realizada no 10º dia após a inoculação, a partir da suspensão de esporos de *P. digitatum* submetido aos tratamentos biológicos. Para isso, foram adicionados 10 mL de ADE nas placas de Petri, a solução foi filtrada em uma dupla camada de gaze esterilizada, e os esporos quantificados em hemocitômetro tipo Neubauer, quadrante c' com auxílio de microscópio óptico. Foi calculado o Número Médio de Esporos e Porcentagem de Inibição de Esporulação (PIE), mediante a fórmula proposta por Silva (2024).

$$\text{PIE (\%)} = (E_c - E_t) / (E_c) * 100$$

Na qual, E_c = esporos no tratamento controle; E_t = esporos em certo tratamento.

$$\text{Nº médio de esporos em c' x } 4 \times 10^6 = \text{esporos/mL.}$$

Foi calculada a Redução Percentual (RP) do IVCM da colônia de *P. digitatum*, de acordo com a fórmula (Autor, 2024):

$$RP (\%) = (Vc - Vt)/(Vc)*100$$

Onde, Vc= valor no tratamento controle; Vt= valor em certo tratamento.

O controle *in vitro* foi conduzido em Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC), com 10 tratamentos e cinco repetições compostas por duas placas de Petri.

3.5 Controle *in vivo* de *P. digitatum* em *C. sinensis*

Os frutos de *C. sinensis* foram adquiridos na Central Estadual de Abastecimento (CEASA), localizado no município de Campina Grande – PB, sendo selecionados de acordo com a homogeneidade de peso e coloração, no estágio de maturação C1 com a coloração da casca verde.

Os frutos foram recepcionados no Laboratório de Fitopatologia CCA/UFPB, lavados com detergente neutro e água corrente, desinfestados em uma solução de hipoclorito a 1% por três minutos e enxaguados com ADE, sendo postos para secar em papel absorvente à temperatura ambiente (26 ± 2 °C).

Os tratamentos foram diluídos em ADE, seguindo as dosagens anteriormente descritas. Os frutos foram imersos nos tratamentos por cinco minutos, em recipientes de polietileno, e depois acondicionados em ambiente com temperatura controlada (25 ± 2 °C) (Figura 3).

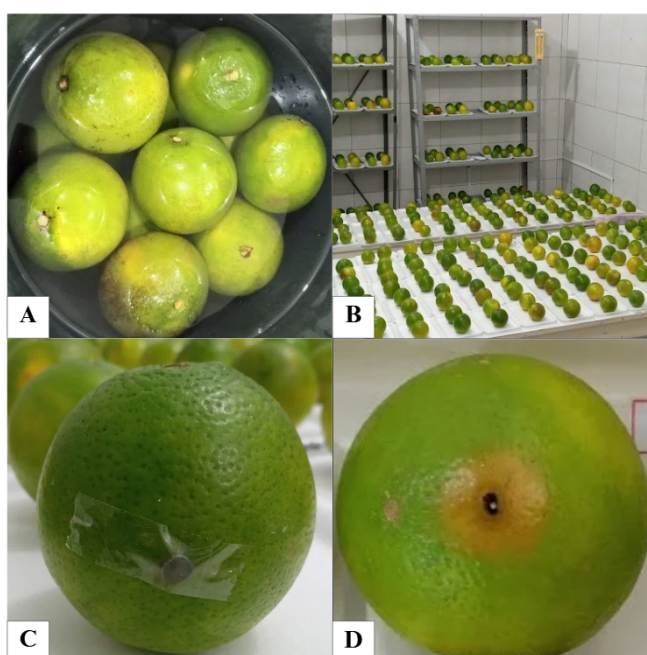


Figura 3. Controle *in vivo* de *P. digitatum* em *C. sinensis* **A)** Frutos imersos aos tratamentos em recipientes de polietileno; **B)** Frutos acondicionados em sala com temperatura controlada; **C)** Fruto inoculado com um disco de colônia de *P. digitatum*; e **D)** Primeiros sintomas de *P. digitatum* em fruto de *C. sinensis* inoculado com *P. digitatum*. **Fonte:** Autor (2024)

Após 24 horas da aplicação dos tratamentos nos frutos, foi realizada a inoculação de *P. digitatum* em frutos de laranja ‘Pêra’. Foram realizados três ferimentos na superfície da casca com profundidade de 2 mm, com auxílio de uma agulha esterilizada e sobre o ferimento foi inoculado um disco de 5 mm da colônia de *P. digitatum* (Figura 3). Os frutos foram acondicionados em câmara úmida, composta por sacos de polietileno umedecidos com ADE, por um período de 24 horas após a inoculação.

Após o surgimento dos primeiros sintomas (Figura 3), o diâmetro das lesões em cada fruto foi avaliado diariamente. A medição foi realizada com um paquímetro digital, em dois sentidos perpendiculares entre si, até o décimo dia, quando ocorreu a colonização total da área dos frutos dentro do primeiro tratamento.

Para determinar a severidade foi utilizada a fórmula proposta por Nutter et al. (2006):

$$\text{Severidade} = l2/L2*100$$

Na qual: l2= área sintomática do fruto; e L2= área total do fruto.

Foi calculada a Redução Percentual (RP) da Severidade do bolor verde, de acordo com a fórmula (Autor, 2024):

$$\text{RP (\%)} = (Vc - Vt)/(Vc)*100$$

Onde, Vc= valor no tratamento controle; Vt= valor em certo tratamento.

O controle *in vivo* foi conduzido em Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC), com 10 tratamentos e quatro repetições compostas por dois frutos.

3.6 Avaliação da Indução de Resistência

A indução de resistência foi determinada pela avaliação da atividade enzimática da Peroxidase (POX), Fenilalanina-amônia liase (PAL) e Polifenoloxidase (PPO) presentes na casca dos frutos. No terceiro e 15º dia após a aplicação dos tratamentos, amostras de casca dos frutos foram coletadas utilizando uma lâmina esterilizada. Os fragmentos de casca, correspondentes à camada do flavedo na superfície dos frutos, foram cuidadosamente

removidos e 1,0 g de casca foi pesada para cada amostra, totalizando quatro repetições por tratamento.

As amostras das cascas de *C. sinensis* foram maceradas em almofariz com nitrogênio líquido e adicionados 10 mL de tampão de acetato de sódio 50 mmol L⁻¹, (pH 5,0) até formar uma mistura homogênea. O extrato foi armazenado em microtubos do tipo Eppendorf, e centrifugado a 12.000 G, à -4 °C por 15 minutos. O sobrenadante foi transferido para microtubos de 2 mL e congelados até o momento das análises da atividade enzimática.

A avaliação da indução de resistência foi conduzida em Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC), em esquema fatorial, com 10 tratamentos, quatro repetições e dois períodos de análises.

3.6.1 Proteínas Totais

As proteínas solúveis presentes nos extratos foram quantificadas pelo ensaio de Bradford (1976), utilizando uma curva padrão. Para isso, foram adicionados 100 µL de uma solução de albumina sérica bovina (BSA) (µg/µL), e a partir dessa solução, foram realizadas diluições seriadas em ADE para obtenção de diferentes concentrações (0 µg/µL; 2 µg/µL; 4 µg/µL; 6 µg/µL; 8 µg/µL; e 10 µg/µL).

Para a preparo da amostra, foram adicionados em um microtubo 1000 µL de reagente de Bradford e 100 µL do extrato. Para a preparação do branco, a quantidade de extrato foi substituída por ADE. Os tubos foram incubados à temperatura ambiente (27°) por 15 minutos, e a absorbância foi medida a 595 nm, sendo expressa em Unidades de Absorbância U.A⁻¹min⁻¹mg de proteína.

3.6.2 Atividade da Fenilalanina-amônia liase (PAL)

A determinação da Fenilalanina-amônia liase foi realizada quantificando-se o ácido trans-cinâmico liberado a partir da fenilalanina intermediado pela FAL (UMESHA, 2006). Os tubos de ensaio com as reações foram incubadas em banho-maria à 40°C por 60 minutos. Posteriormente, a reação foi paralisada com adição de 100 µL de ácido clorídrico a (5,0 M). Foram realizadas duas reações de referência. O Branco 1 foi composto por de 1500 µL de tampão Tris-HCl (100 mM) (pH 8,8), 500 µL de fenilalanina (100 mM), 1000 µL de ADE. O

Branco 2 foi composto por 1500 μL de tampão Tris-HCl (100 mM) (pH 8,8), 250 μL do extrato enzimático, obtido a partir da casca de cada fruto e 1250 μL de ADE.

A leitura foi feita em cubeta de quartzo com auxílio de espectrofotômetro (Lightwave II, WPA, Biochron) através da variação na absorbância, com comprimento de onda 290 nm, a 25°C e os resultados expressos em $\text{U.A}^{-1}\text{min}^{-1}\text{mg}$ de proteína.

3.6.3 Atividade da Peroxidase (POX)

A determinação da atividade da Peroxidase foi realizada pela reação de conversão guaiacol em tetraguaiacol, através da guaiacol peroxidase, na adição de 120 μL do extrato enzimático, 380 μL de ADE, 750 μL do tampão de reação fosfato 0,1 M (pH 6,0), 250 μL de guaiacol (1,7%), totalizando um volume final de reação de 1,5 mL. O branco foi constituído pela mesma reação, substituindo o extrato por ADE. A cada 15 segundos, por um período de dois minutos, foram realizadas leituras, verificando a atividade enzimática com comprimento de onda de 470 nm, em espectrofotômetro (Lightwave II, WPA, Biochron) e os resultados foram expressos em $\text{U.A}^{-1}\text{min}^{-1}\text{mg}$ de proteína (RONCATO, 1998).

3.6.4 Atividade da Polifenoloxidase (PPO)

A atividade da Polifenoloxidase foi realizada pela conversão de catecol em quinona na adição de 120 μL do extrato enzimático, 380 μL de ADE, 250 μL de 4-metil-catecol (60 mM) e 750 μL do tampão fosfato 0,1 M (pH 6,8), totalizando um volume final de reação de 1,5 mL. O branco foi feito com todos os componentes, exceto o extrato proteico, o qual foi substituído por ADE. As amostras foram submetidas a banho Maria a 40 °C durante 15 min. Em seguida, a reação foi paralisada com a adição de 800 μL de ácido perclórico (2,0 M). Verificou-se a atividade da PPO em espectrofotômetro (Lightwave II, WPA, Biochron), com absorbância de 395 nm. Os resultados foram expressos em $\text{U.A}^{-1}\text{min}^{-1}\text{mg}$ de proteína (DUANGMAL; APENTEN, 1999).

3.7 Análises Físico-Químicas de qualidade pós-colheita

As análises físico-químicas de qualidade pós-colheita foram realizadas ao longo de 15 dias, com intervalos de três dias entre cada análise, resultando em um total de cinco períodos. Em cada um desses períodos, foram avaliados dois frutos e três repetições de cada tratamento.

As análises físicas foram compostas pelas seguintes variáveis:

a) Perda de massa (PM) realizada diariamente durante 10 dias, pesando-se os frutos individualmente em balança Welmy semi-analítica;

b) Firmeza da casca, expressa em Newtons (N), verificada com o auxílio de penetrômetro digital (Magness Taylor Pressure Tester) pressionado na região mediana dos frutos, em dois lados opostos,

As análises químicas foram realizadas através de avaliação das variáveis:

a) Teor de sólidos solúveis (SS) avaliado através do suco dos frutos e determinado em refratômetro digital (Milwaukee MA871 Digital Brix/Sugar), sendo os resultados expressos em °Brix (AOAC, 2023);

b) Acidez titulável (AT) determinada a partir de 2 mL de suco em 50 mL de ADE seguindo de titulação com solução de hidróxido de sódio a (NaOH, 0,1 N), usando-se duas gotas de fenolftaleína como indicadora (IAL, 2008);

c) Relação SS/AT, obtida pela divisão do teor de sólidos solúveis pela acidez titulável;

d) Potencial hidrogeniônico (pH) realizado a partir de 2 mL de suco homogeneizado em 50 mL de ADE e lido em pHmetro de bancada com correção automática dos valores em função da temperatura (AOAC, 2023);

e) vitamina C determinado por titulação com 1 mL de suco homogeneizado em 50 mL de ácido oxálico 1% seguindo de titulação, realizada no escuro, com solução de 2,6-diclorofenolindofenol-sódio (DCFI) até a obtenção da coloração rósea por 15 segundos (AOAC, 2023).

As análises físico-químicas de qualidade pós-colheita foram conduzidas em Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC), em esquema fatorial, com 10 tratamentos e quatro repetições compostas por dois frutos e cinco períodos de análises.

3.8 Análise estatística

Foi realizada a análise de variância (ANOVA) pelo teste F, posteriormente, as médias foram agrupadas pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$), utilizando o programa SISVAR® 5.6 (Ferreira, 2011).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Controle *in vitro* de *Penicillium digitatum*

Todos os tratamentos biológicos reduziram o Diâmetro Médio (DM) da colônia de *P. digitatum* no nono dia de incubação. Os tratamentos T2-Natucontrol®, T3-Shocker®, T4-Bio-Imune®, T6-Tricho-Turbo® e T8-Mac Café® apresentaram resultados semelhantes ao T5-EcoTrich® e ao T10-Fungicida Tiabendazol, que inibiram completamente o crescimento da colônia (Tabela 1).

Tabela 1. Cultivo *in vitro* de *Penicillium digitatum*

Tratamento	DM*	IVCM*	PIC*	PIE*	NE*
	(mm)	(mm dia ⁻¹)	-----%-----		10 ⁶ esporos mL ⁻¹
Controle	77,56 c	10,51 f	0,00 g	0,00 f	414 e
Natucontrol®	2,07 a	0,78 b	83,26 b	99,03 a	4 a
Shocker®	1,22 a	0,42 a	86,11 b	89,37 c	44 b
Bio-Imune®	8,29 a	1,33 b	62,78 c	95,17 b	20 b
EcoTrich®	0,00 a	0,00 a	100,00 a	100,00 a	0 a
Tricho-Turbo®	14,19 a	2,90 c	51,67 d	91,30 b	36 b
Auin-Ce®	31,22 a	5,89 d	24,17 e	94,20 b	24 b
Mac Café®	2,20 a	1,30 b	81,39 b	71,01 e	120 d
Romeo SC®	49,61 a	8,43 e	11,94 f	74,88 d	104 c
Fungicida	0,00 a	0,00 a	100,00 a	100,00 a	0 a
CV (%)	9,85	11,47	13,54	16,32	17,23

T1: Controle (BDA); **T2:** Natucontrol® (1,6 g L⁻¹); **T3:** Shocker® (1,0 g L⁻¹); **T4:** Bio-Imune® (3,3 g L⁻¹); **T5:** EcoTrich® (0,83 g L⁻¹); **T6:** Tricho-Turbo® (1,0 mL L⁻¹); **T7:** Auin-Ce® (2,2 mL L⁻¹); **T8:** Mac Café® (2,5 mL L⁻¹); **T9:** Romeo SC® (3,3 mL L⁻¹) e **T10:** Tiabendazol (10,3 mL L⁻¹). **UFPB, Areia-PB, 2024.** Diferença significativa em relação à testemunha pelo teste de Scott-Knott ($P < 0,05$). Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott Knott ($p \leq 0,05$).

***DM:** Diâmetro Médio da Colônia; ***IVCM:** Índice de Velocidade de Crescimento Micelial; ***PIC:** Percentual de Inibição de Crescimento; ***PIE:** Percentual de Inibição de Esporulação; ***NM:** Número Médio de Esporos.

A inibição do crescimento pelo grupo de tratamentos mais eficazes (T2, T3, T4, T6, T8) pode estar associada a diversos mecanismos de ação dos agentes biológicos contra patógenos, como a predação, micoparasitismo, produção de antibióticos, competição por

espaço e nutrientes, acidificação ambiente e produção de sideróforos (Larrea et al., 2024). Isso destaca o potencial de agentes, tais como *Trichoderma* spp., *Bacillus* spp. e *Cladosporium* spp., no manejo sustentável contra *P. digitatum* no período pós-colheita da laranja 'Pêra'. *Trichoderma* spp. presente nos tratamentos T2, T4, T5 e T6, reduziu o diâmetro da colônia de *P. digitatum* (Yuliantoro, 2023) e foi capaz de inibir completamente o seu crescimento, como observado neste trabalho (Bonapaz et al., 2024). As espécies *Bacillus subtilis* e *B. amyloliquefaciens*, presentes nos tratamentos T3 e T4, respectivamente, demonstram eficiência na inibição do crescimento de *P. digitatum in vitro* (Li et al., 2022; Radouane et al., 2023). *Cladosporium* spp., presente no T8, reduziu o crescimento micelial de *Botrytis cinerea in vitro* (Pan et al., 2023), e oferece viabilidade no manejo de fungos fitopatogênicos (Zhu et al., 2024).

Os tratamentos T7-Auin-Ce® e T9-Romeo SC® reduziram o diâmetro médio (DM) da colônia de *P. digitatum*, apresentando valores de 31,22 e 49,61 mm, respectivamente (Tabela 1). Em comparação com o tratamento T1-Controle (BDA), que obteve DM igual a 77,56 mm, o PIC foi de 51,67% para o tratamento T7 e 11,94% para o tratamento T9. *Beauveria* spp., presente no T7, apresenta diversas espécies que são utilizadas no manejo contra pragas e doenças e demonstram eficiência no controle de patógenos devido a produção de ciclopeptídeos antifúngicos, associados a inibição do crescimento de *Geotrichum citri-aurantii*, agente causal da Podridão Azeda, uma das principais doenças pós-colheita em citros (Minghua et al., 2023).

Em relação ao PIC, o tratamento T5-EcoTrich® destacou-se por inibir completamente o crescimento de *P. digitatum* em condições *in vitro* (Tabela 1), demonstrando eficiência semelhante ao fungicida Tiabendazol, mostrando-se uma alternativa sustentável e eficiente no manejo de *P. digitatum* em laranja 'Pêra'. Segundo Bonapaz et al. (2024), o *T. harzianum*, ao qual o T5 é também composto, obteve eficiência no controle de *P. digitatum* em condições *in vitro* utilizando a concentração de 25 mL L⁻¹. A produção de compostos antibióticos, como peptídeos, tricomina, gelatinomicina e clorotricomicina (El-Nagar et al., 2024) é observada em diversas espécies de *Trichoderma*, além disso, a inibição do crescimento está associada a competição com os patógenos por espaço e nutrientes e pelo micoparasitismo (Kappel et al., 2024).

Todos os tratamentos biológicos aumentaram o PIC em comparação com o T1-Controle (BDA) (0%), reduzindo o crescimento do patógeno *in vitro*. O T2-Natucontrol®, T3-Shocker® e T8-Mac Café® apresentaram PIC do *P. digitatum* superior a 80% e o T4-Bio-Imune® e o T6-Tricho-Turbo® demonstraram PIC de 62,78% e 51,67% (Tabela 1).

Esses percentuais indicam potencial controle de *P. digitatum* em laranja ‘Pêra’ e potencial eficiência através da adoção do controle biológico no manejo integrado de doenças pós-colheita. O T7-Auin-Ce® e T9-Romeo SC® demonstraram PIC de 24,17 e 11,94%, esse resultados indicam uma inibição parcial de *P. digitatum*, que pode está relacionada a menor produção de compostos ativos, concentração do agente na diluição e dose utilizada.

O tratamento T5-EcoTrich® demonstrou eficiência total na inibição do crescimento micelial de *P. digitatum* (IVCM = 0 mm dia⁻¹) com resultados semelhantes ao fungicida Tiabendazol (Tabela 1) no nono dia de incubação. O tratamento T3-Shocker® apresentou IVCM de 0,77 mm dia⁻¹, estatisticamente igual ao T5.

Os tratamentos T2-Natucontrol®, T4-Bio-Imune® e T8-Mac Café® diminuíram o IVCM apresentando valores de 0,77 mm dia⁻¹, 1,32 mm dia⁻¹ e 1,29 mm dia⁻¹. A redução percentual do IVCM nesses tratamentos foi de 92,65%, 87,44% e 87,73%, de acordo com a ordem indicada (Figura 4). O IVCM também foi menor em T6-Tricho-Turbo® (2,90 mm dia⁻¹), T7-Auin-Ce® (5,90 mm dia⁻¹) e T9-Romeo SC® (8,42 mm dia⁻¹) em relação ao tratamento T1-Controle (BDA) (10,51 mm dia⁻¹), representando uma redução percentual de 72,11%, 43,86% e 19,89%, respectivamente. A redução do IVCM está associada à capacidade dos microrganismos presentes na composição dos produtos biológicos de competir, realizar antibiose, exercer micoparasitismo e produzir sideróforos (Larrea et al., 2024), demonstrando potencial atividade fungitóxica e fungistática (Valencia-Hernández et al., 2021) contra *P. digitatum*, visto que os tratamentos apresentaram a capacidade de inibir e retardar o crescimento do patógeno *in vitro*.

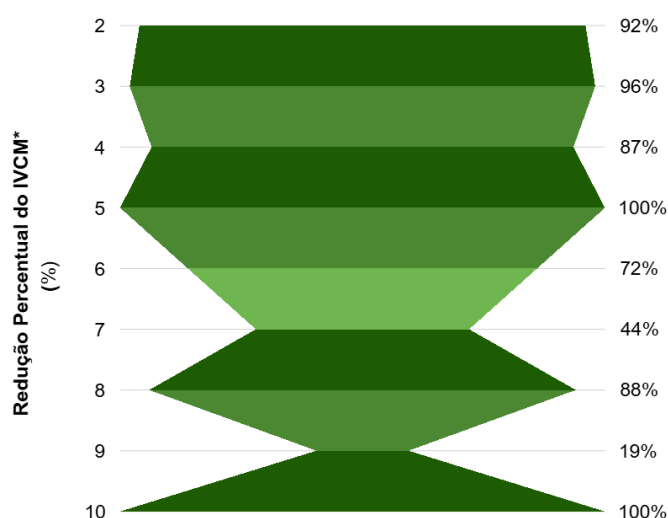


Figura 4. Redução Percentual do IVCM de *P. digitatum*. **T2:** Natucontrol® (1,6 g L⁻¹); **T3:** Shocker® (1,0 g L⁻¹); **T4:** Bio-Imune® (3,3 g L⁻¹); **T5:** EcoTrich® (0,83 g L⁻¹); **T6:** Tricho-Turbo® (1,0 mL L⁻¹); **T7:** Auin-Ce® (2,2 mL L⁻¹); **T8:** Mac Café® (2,5 mL L⁻¹); **T9:** Romeo SC® (3,3 mL L⁻¹) e **T10:** Tiabendazol (10,3 mL L⁻¹). **UFPB, Areia-PB, 2024. Fonte:** Autor (2024).

IVCM*Índice de Velocidade de Crescimento Micelial.

O Número Médio de Esporos (NM) de *P. digitatum* foi reduzido em todos os tratamentos biológicos em comparação com o T1-Controle (414×10^6 esporos mL^{-1}), aumentando, consequentemente, o PIE (Tabela 1) no décimo dia de incubação. O T2-Natucontrol® (4×10^6 esporos mL^{-1}) e o T5-EcoTrich® (0 esporos mL^{-1}) demonstraram ser os tratamentos mais eficientes, pois obtiveram PIE de 99,03% e 100%, semelhantes ao fungicida Tiabendazol.

Os tratamentos T3-Shocker®, T4-Bio-Imune®, T6-Tricho-Turbo® e T7-Auin-Ce® apresentaram NM entre 20 e 44×10^6 esporos mL^{-1} e PIE de 89,37% (T3), 95,17% (T4), 91,30% (T6) e 94,20% (T7) (Tabela 1). Os tratamentos T8-Mac Café® e T9-Romeo SC® apresentaram NM de 120 e 104×10^6 esporos mL^{-1} e PIE de 74,88% e 71,01%. Todos os tratamentos biológicos demonstraram-se eficientes na redução da esporulação de *P. digitatum* *in vitro*. Diversas substâncias produzidas por agentes biológicos são capazes de suprimir expressões genéticas nos patógenos, responsáveis pela esporulação (Wang; Shang, 2022). O efeito anti-esporulante promovido pelos agentes de controle, contribui com a eficiência dos produtos biológicos, pois a redução do propágulo dos patógenos é algo desejável no manejo integrado de doenças pós-colheita, visto que a relação da quantidade de conídios de *P. digitatum* e a severidade da doença é linear em condições *in vivo* (Thomé, 2020). Esses percentuais estão relacionados também aos menores valores de DM e IVCM nos tratamentos biológicos e representam potencial no controle sustentável de *P. digitatum* em laranja ‘Pêra’.

4.2 Controle *in vivo* de *P. digitatum* em *Citrus sinensis*

Os valores da severidade do bolor verde foram menores nos frutos de laranja ‘Pêra’ tratados com produtos biológicos nas doses recomendadas pelos fabricantes, no 10º dia de armazenamento (Figura 5).

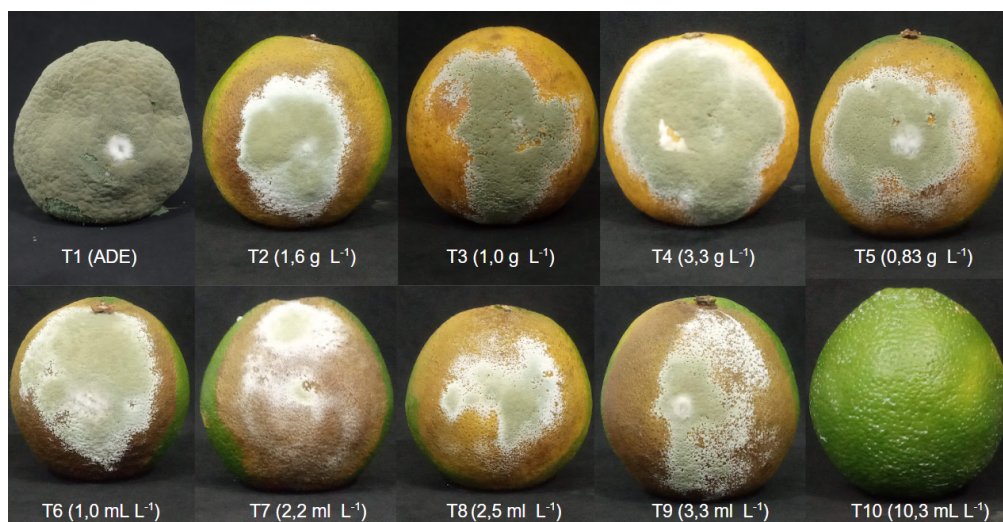


Figura 5. Severidade do bolor verde em Laranja ‘Pêra’ submetidos aos tratamentos **T1:** Controle (BDA); **T2:** Natucontrol®; **T3:** Shocker®; **T4:** Bio-Imune®; **T5:** EcoTrich®, **T6:** Tricho-Turbo®; **T7:** Auin-Ce®, **T8:** Mac Café®; **T9:** Romeo SC® e **T10:** Tiabendazol. **UFPB, Areia-PB, 2024. Fonte:** Autor (2024)

Os tratamentos T6-Tricho-Turbo®, T7-Auin-Ce® e T9-Romeo SC® apresentaram severidade de 31,38%, 36,12% e 41,35%, de acordo com a ordem indicada (Figura 6). Esses valores indicam potencial eficiência do controle biológico no manejo integrado do bolor verde no período pós-colheita. Os percentuais de de 31 a 41% de severidade dos tratamentos, reflete o menor crescimento e esporulação de *P. digitatum*, como visto nos experimentos *in vitro*. Esse efeito pode levar à redução gradual da incidência e severidade da doença ao longo do tempo, de maneira sustentável, dado que essas variáveis apresentam relação linear com a quantidade de propágulos no ambiente (Bonapaz et al., 2024).

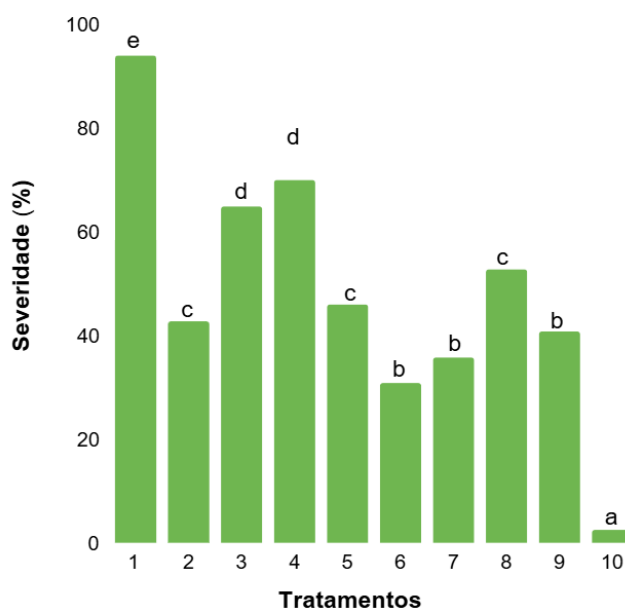


Figura 6. Severidade (%) em frutos de Laranja ‘Pêra’ (*Citrus sinensis*) inoculados com *Penicillium digitatum* submetidos aos tratamentos **T1:** Controle (BDA); **T2:** Natucontrol® (1,6 g L⁻¹); **T3:** Shocker® (1,0 g L⁻¹); **T4:** Bio-Imune® (3,3 g L⁻¹); **T5:** EcoTrich® (0,83 g L⁻¹); **T6:** Tricho-Turbo® (1,0 mL L⁻¹); **T7:** Auin-Ce® (2,2 mL L⁻¹); **T8:** Mac Café® (2,5 mL L⁻¹); **T9:** Romeo SC® (3,3 mL L⁻¹) e **T10:** Tiabendazol (10,3 mL L⁻¹). UFPB, Areia-PB, 2024. A presença da mesma letra minúscula na barra não difere entre si pelo teste de Scott Knott ($p \leq 0,05$).
Fonte: Autor (2024)

Houve uma redução de aproximadamente 66,57%, 61,53% e 55,74% na severidade do bolor verde com os tratamentos T6, T7 e T9 (Figura 7). O *T. asperellum*, presente no T6, tem a capacidade de colonizar rapidamente o ambiente, competir eficientemente por espaço e nutrientes, liberar ácidos orgânicos e moléculas antibióticas, além do micoparasitismo e da indução de resistência no hospedeiro, ocasionando menor desenvolvimento do patógeno e consequentemente menor percentual de severidade das doenças (Baazeen, 2022). Os frutos tratados apresentaram redução da severidade de 66,57% (Figura 7). Outros estudos mostram a eficácia de *T. asperellum* na redução de doenças pós-colheita, como demonstrado por Abdul-Hakim (2023).

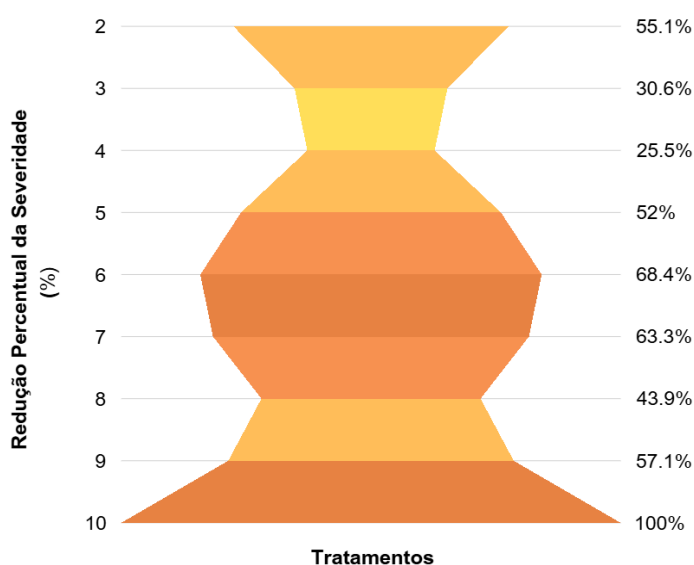


Figura 7. Redução da Severidade (%) em frutos de Laranja ‘Pêra’ (*Citrus sinensis*) inoculados com *Penicillium digitatum* submetidos aos tratamentos **T1:** Controle (BDA); **T2:** Natucontrol® (1,6 g L⁻¹); **T3:** Shocker® (1,0 g L⁻¹); **T4:** Bio-Imune® (3,3 g L⁻¹); **T5:** EcoTrich® (0,83 g L⁻¹); **T6:** Tricho-Turbo® (1,0 mL L⁻¹); **T7:** Auin-Ce® (2,2 mL L⁻¹); **T8:** Mac Café® (2,5 mL L⁻¹); **T9:** Romeo SC® (3,3 mL L⁻¹) e **T10:** Tiabendazol (10,3 mL L⁻¹). UFPB, Areia-PB, 2024. **Fonte:** Autor (2024)

A espécie *B. bassiana*, presente no T7, tem se mostrado eficiente no controle de fitopatógenos, como *A. solani* (Cheruiyot, 2024), *F. oxysporum* (López-López et al. 2022), *Colletotrichum* spp. (Serrato-Díaz, 2020). Os frutos tratados apresentaram redução da severidade de 61,53% (Figura 7). Genes presentes em *B. bassiana* são responsáveis pela transcrição de mais de 145 enzimas diferentes relacionadas ao controle

biológico, como as quitinases, glucanases, cetolases, lipases, proteases, amilases e superóxido dismutases, essas enzimas participam no antagonismo aos fitopatógenos, sem ocasionar danos às células vegetais (Amobonye, 2020), além disso, *B. bassiana* está associado ao micoparasitismo de patógenos e a indução de resistência nas células vegetais (Mantzoukas et al., 2021; Qin et al. 2021).

O T9 é um biofungicida comercial produzido a partir da parede celular de *S. cerevisiae*. Os frutos tratados apresentaram redução da severidade de 55,74% (Figura 7), demonstrando expressiva redução no crescimento de *P. digitatum in vivo*. Dentre os mecanismos de ação do produto, a elicitação é o seu principal mecanismo de ação, atuando de maneira indireta contra os patógenos, através da ativação das vias metabólicas relacionadas à resistência contra estresses bióticos (Vittorello, 2022). O controle direto também é observado e tem potencial preventivo e curativo no manejo de doenças pós-colheita em citros (Moura et al., 2019), pois possui em sua composição metabólitos tóxicos aos patógenos, como as enzimas hidrolíticas, as quitinases e β -1,3-glucanases (Rodrigues, et al. 2020). *Sacharomyces cerevisiae* reduziu a severidade do bolor verde em citros, em mais de 50% após sete dias de incubação, sendo promissora no manejo integrado de doenças pós-colheita (Cunha, 2020).

Os valores de severidade foram de 43,18 % para T2-Natucontrol® (Figura 5), 46,25% para T5-EcoTrich® e 53,31 % para T8-Mac Café® representando uma redução do bolor verde de 43 a 53,14% (Figura 7).

Os tratamentos T2-Natucontrol® (*T. harzianum*), T5-EcoTrich® (*T. harzianum*) e T8-Mac Café® (*Cladosporium* sp.) apresentaram severidade variando entre 42% e 53% (Figura 5), representando uma redução do bolor verde de 43 a 53,14% (Figura 7). Esses valores refletem o potencial controle dessas espécies contra *P. digitatum* e podem também ser integrados no manejo contra doenças pós-colheita, condicionando a redução do uso de fungicidas químicos e maior sustentabilidade na cadeia da laranja.

Diversas espécies do gênero *Cladosporium* são utilizadas no biocontrole de fitopatógenos, apresentando eficiência no controle da brusone do arroz (*Magnaporthe oryzae*) e da ferrugem amarela do trigo (*Puccinia striiformis* sp. *tritici*) (Islantuhin, 2023). Os frutos tratados apresentaram severidade de 53,31% (Figura 6). Os mecanismos de ação contra os patógenos estão associados à produção de sideróforos e compostos tóxicos, como as enzimas quitinases e queratinases (Răut, 2021) responsáveis pela destruição da parede celular dos patógenos durante a competição por espaço e nutrientes (Halo et al., 2021).

O T3-Shocker® e o T4-Bio-Imune® demonstraram percentuais de severidade do bolor verde de 65,58 e 70,21% (Figura 5) e redução de 25,11% e 30,23% (Figura 7). A performance

dos produtos biológicos inclui variáveis funcionais, como o ambiente físico, a virulência do patógeno e a microbiota endofítica, tal como a atividade e quantidade de inóculo do agente de controle biológico (Wisniewski; Droby, 2019). Avaliando as concentrações de *T. harzianum* no controle do bolor verde dos citros, Bonapaz et al. (2024) observaram significância de inibição do *P. digitatum* de forma linear, atingindo redução na infecção de 13,6%, 26,4%, 33,6% e 53,6% em concentrações de 10, 15, 20 e 25 mL L⁻¹. A concentração de 5 mL L⁻¹ não apresentou diferença da testemunha.

4.3 Avaliação da Indução de Resistência

No 3º dia de armazenamento, os frutos tratados com os produtos biológicos apresentaram maior atividade da PAL em comparação à testemunha (Tabela 2), dentre os tratamentos, destaca-se o T3-Shocker® com maior média de atividade da PAL. Esses resultados apontam para a ativação das rotas metabólicas de defesa das células vegetais mediada pela Resistência Sistêmica Induzida (ISR) e indica o potencial dos produtos biológicos na preservação da qualidade pós-colheita de frutos de laranja ‘Pêra’, através da indução de resistência e proteção contra possíveis infecções por patógenos.

Tabela 2. Atividade enzimática relacionada à indução de resistência

PAL			POX		UA	
UA						
Tratamentos	Períodos de armazenamento					
	3º dia	15º dia	3º dia	15º dia	3º dia	15º dia
1	2,82 Bc	5,56 Aa	821,89 Ae	605,29 Bd	10,49 Ac	8,3 Bc
2	4,42 Ab	4,62 Aa	1129,34 Ad	898,84 Bc	13,01 Ab	8,61 Bc
3	10,53 Aa	4,94 Ba	2855,47 Aa	922,95 Bc	23,68 Aa	8,55 Bc
4	6,04 Ab	4,33 Aa	1178,75 Bd	1351,95 Ab	19,7 Aa	13,3 Ba
5	4,69 Bb	6,24 Aa	1615,48 Bb	1855,19 Aa	13,7 Ab	4,73 Bb
6	5,59 Bb	6,01 Aa	1397,31 Ac	1202,61 Ab	11,86 Ac	4,9 Bb
7	3,39 Bc	5,06 Aa	1095,32 Bd	1140,31 Ab	11,44 Ac	7,1 Bb
8	3,14 Bc	3,76 Aa	1303,84 Ac	472,83 Bd	8,17 Ac	6,2 Bb
9	4,38 Ab	4,67 Aa	914,60 Ae	848,35 Ac	9,71 Ac	9,61 Aa
10	3,76 Ac	2,87 Ba	856,69 Ae	602,68 Bd	10,47 Ac	8,26 Bc
CV (%)	17,15	21,62	21,67	23,87	19,91	22,04

T1: Controle (BDA); **T2:** Natucontrol® (1,6 g L⁻¹); **T3:** Shocker® (1,0 g L⁻¹); **T4:** Bio-Imune® (3,3 g L⁻¹); **T5:** EcoTrich® (0,83 g L⁻¹); **T6:** Tricho-Turbo® (1,0 mL L⁻¹); **T7:** Auin-Ce® (2,2 mL L⁻¹); **T8:** Mac Café® (2,5 mL L⁻¹); **T9:** Romeo SC® (3,3 mL L⁻¹) e **T10:** Tiabendazol (10,3 mL L⁻¹). **UFPB, Areia-PB, 2024.** Diferença significativa em relação à testemunha pelo teste de Scott-Knott ($P < 0,05$). Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúsculas nas linhas não diferem entre si pelo teste de Scott Knott ($p \leq 0,05$).

***PAL:** Fenilalanina amônia-liase; ***POX:** Peroxidase; ***PPO:** Polifenoloxidase.

No 15º dia de armazenamento, os frutos tratados não apresentaram diferenças estatísticas significativas, sugerindo que os frutos estabilizaram a atividade da PAL em função dos processos metabólicos de amadurecimento (Tabela 2). A interação entre os tratamentos e os períodos de avaliação, apontam para uma diminuição da atividade da PAL no T3, esses resultados estão relacionados ao padrão respiratório constante dos frutos não climatéricos, como a laranja ‘Pêra’, onde a produção de etileno é baixa e constante, havendo menor interação com a ISR e, conseqüentemente, menor atividade da PAL ao longo do armazenamento (Ballester; González-Candelas, 2020).

Os produtos biológicos demonstram potencial como indutores de resistência em frutos de laranja ‘Pêra’ nos primeiros dias de armazenamento. A ativação da PAL nos primeiros dias de armazenamento contribui para a produção de compostos fenólicos e condiciona melhor resistência a patógenos, ajudando a manter a qualidade do fruto. A enzima PAL é sintetizada na rota do fenilpropanoide, intermediando a reação da fenilalanina em ácido trans-cinâmico. Esta rota produz compostos fenólicos que operam na resistência local com ação direta nas células infectadas pelos patógenos e na resistência sistêmica pela produção de sinalizadores, como o hormônio ácido salicílico. Li et al. (2020); Moosa, (2021), observaram que as expressões da PAL foram maiores em citros tratados com ácido salicílico aos 3 dias após a incubação.

Os compostos fenólicos produzidos a partir da indução de resistência, podem ser polimerizados, formando lignina, configurando resistência física à penetração (Fan et al., 2024). Metabólitos produzidos por espécies de *Trichoderma* e *Bacillus* são reconhecidos por receptores na membrana da célula vegetal, desencadeando reações e ativação da rota dos fenilpropanoides (Agostini et al., 2022; Etesami et al., 2023).

Zhang (2023) observou aumento na atividade da PAL e acúmulo de compostos fenólicos em citros tratados com epsilon-poli-l-lisina, contribuindo na resistência dos frutos contra o bolor verde. *Trichoderma* spp. aumentou a atividade da PAL em bananas (*Musa* spp.) (Prasanna et al., 2023) e feijão (*Phaseolus* spp.) (Ghoneem et al., 2023) e *Bacillus* spp. aumentou a atividade da PAL em melancia (*Citrullus lanatus*) (Chen et al., 2023), tomate (Samaras et al., 2022) e pimentão (*Capsicum annuum*) (Samaniego-Gámez et al., 2023)

indicando indução sistêmica induzida (ISR) e ativação de respostas de defesa para ataques subsequentes de patógenos.

Os tratamentos biológicos aumentaram a atividade da POX no 3º e no 15º dia de armazenamento de laranja ‘Pêra’ (Tabela 2). Destacando-se os tratamentos T3-Shocker® e T5-EcoTrich®, que obtiveram as maiores médias de $U.A^{-1}min^{-1}mg$ de proteína.

A interação entre os tratamentos biológicos e os períodos de avaliação, apontam para uma redução da atividade da POX nos tratamentos T2-Natucontrol®, T3-Shocker® e T8-Mac Café® entre o 3º e 15º dia de armazenamento (Tabela). Já os tratamentos T4, T5-Tricho-Turbo® e T-Auin-Ce® apresentaram maiores médias no 15º dia de armazenamento (Tabela 2).

Esses resultados indicam o potencial dos produtos biológicos na manutenção da qualidade pós-colheita de laranja ‘Pêra’, tanto nos primeiros dias de armazenamento quanto nos dias consecutivos, em função do produto.

A ativação das POX é importante para a defesa dos frutos contra danos oxidativos durante infecções e para a manutenção de sua qualidade durante o armazenamento, os produtos biológicos apresentam eficácia no aumento da resistência e do tempo de prateleira de frutos. Os resultados indicam o potencial dos produtos biológicos na manutenção da qualidade pós-colheita de laranja ‘Pêra’, tanto nos primeiros dias de armazenamento quanto nos dias subsequentes, dependendo do produto utilizado.

As peroxidases desempenham diversos papéis antagonistas à infecção por patógenos nas células vegetais. A neutralização de ROS's é importante para a célula, pois atenua o estresse oxidativo causado pelas ROS's. As ROS's são produzidas pelas células vegetais como mecanismo de resistência local e sinalização, entretanto, o seu acúmulo ocasiona danos celulares (Safronova et al., 2023). As peroxidases utilizam peróxido de hidrogênio (H_2O_2) para formação de monolignóis e radicais livres instáveis, precursores de lignina, importante na resistência a penetração do patógeno nas células (Panda, 2021; Najafi et al., 2024). As POX atuam também intermediando a produção de quitinases e glucanases, enzimas hidrolíticas relacionadas a lise da parede celular de patógenos (Imran; Ghosh, 2024).

Diversas espécies de *Bacillus* foram descritas aumentando atividade de POX em arroz (Etesami et al., 2023), tomate (Masmoudi et al., 2021), *Glycyrrhiza uralensis* (Ma et al., 2022) e kiwi (*Actinidia deliciosa*) (Fan et al., 2022) reduzindo danos oxidativos e respostas a infecção de patógenos.

Em relação a atividade da PPO, os frutos tratados com T2-Natucontrol®, T3-Shocker®, T4-Bio-Imune® e T5-EcoTrich® apresentaram maiores médias em comparação com a

testemunha, no 3º dia de armazenamento (Tabela 2). No 15º dia de armazenamento, as maiores médias foram dos frutos tratados com T4-Bio-Imune® e T9-Romeo SC®.

Isso pode ocorrer devido ao estímulo induzido por esses tratamentos a partir de compostos produzidos por *Bacillus subtilis* (T3 e T4) *T. harzianum* (T2, T4 e T5), que levaram à ativação da enzima como parte de uma resposta de defesa, aumento na disponibilidade de substratos ou modificações no ambiente celular favoráveis à sua ação nos primeiros dias de armazenamento, induzindo a resistência a patógenos nesse período (Zhang; Sun, 2021).

A PPO está relacionada às respostas de defesa das células vegetais, atuam ajudando a inibir o crescimento de patógenos através da oxidação de compostos fenólicos e a formação de moléculas antimicrobianas, como as quinonas. A polimerização de quinonas, formam a melanina, pigmentos insolúveis e escuros, importante barreira física e química contra a penetração de patógenos nas células vegetais (Ramachandra et al., 2023). *T. harzianum*, presente no T4-Bio-Imune®, induziu a resistência de plantas de girassol (*Helianthus annuus*) contra podridão do carvão do girassol (*Macrophomina phaseolina*), aumentando a atividade da PPO e o vigor das plantas (Sido; Hassan, 2023). *Bacillus subtilis*, presente no T3-Shocker®, ativou a PPO em plantas enxertadas de tomate, promovendo maior sucesso no enxerto, com maior taxa de callus e neutralização de ROS (Padró et al., 2021).

A interação entre os tratamentos e os períodos de avaliação demonstram redução dos valores de atividade da PPO nos frutos, ao longo do tempo de armazenamento. Esses resultados estão relacionados à estabilidade da ISR mediada pela baixa e constante produção de etileno pelos frutos não climatéricos, apontando para eficiência dos produtos biológicos nos primeiros dias de armazenamento de laranja ‘Pêra’.

4.4 Avaliação de qualidade pós-colheita em *C. sinensis*

Os tratamentos não apresentaram diferenças estatisticamente significativas entre si na avaliação da firmeza da casca. No entanto, ocorreu uma interação significativa entre os períodos de avaliação e os tratamentos, demonstrando que os frutos tratados com os produtos biológicos mantiveram maiores médias de firmeza até o 9º dia de armazenamento (Tabela 3). Esses resultados indicam manutenção da firmeza da casca do fruto por parte dos produtos biológicos, demonstrando potencial na preservação da qualidade pós-colheita de laranja ‘Pêra’.

Tabela 3. Firmeza da casca de frutos de *Citrus sinensis* tratados com produtos biológicos

Tratamentos	Firmeza (N)				
	Período de armazenamento				
	3º dia	6º dia	9º dia	12º dia	15º dia
1	5,11 Ab	5,68 Aa	5,80 Aa	4,05 Ba	4,38 Bb
2	8,39 Aa	4,34 Ba	6,68 Aa	3,78 Ba	3,64 Bb
3	6,04 Ab	6,15 Aa	6,11 Aa	6,06 Aa	4,06 Ab
4	8,50 Aa	6,51 Aa	5,89 Aa	4,49 Ba	3,75 Bb
5	8,48 Aa	6,69 Aa	6,24 Aa	3,80 Ba	3,50 Bb
6	8,63 Aa	5,83 Aa	5,91 Aa	3,99 Ba	4,29 Bb
7	8,54 Aa	6,09 Aa	6,14 Aa	4,93 Ba	4,63 Ba
8	8,44 Aa	6,70 Aa	5,33 Aa	3,95 Ba	5,94 Aa
9	8,89 Aa	6,29 Aa	5,16 Aa	4,16 Ba	4,69 Ba
10	8,73 Aa	5,73 Ba	6,09 Aa	4,23 Ba	4,93 Ba
CV (%)	15,83	23,12	18,56	24,74	16,33

T1: Controle (BDA); **T2:** Natucontrol® (1,6 g L⁻¹); **T3:** Shocker® (1,0 g L⁻¹); **T4:** Bio-Imune® (3,3 g L⁻¹); **T5:** EcoTrich® (0,83 g L⁻¹); **T6:** Tricho-Turbo® (1,0 mL L⁻¹); **T7:** Auin-Ce® (2,2 mL L⁻¹); **T8:** Mac Café® (2,5 mL L⁻¹); **T9:** Romeo SC® (3,3 mL L⁻¹) e **T10:** Tiabendazol (10,3 mL L⁻¹). **UFPB, Areia-PB, 2024.** Diferença significativa em relação à testemunha pelo teste de Scott-Knott ($P < 0,05$). Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúsculas nas linhas não diferem entre si pelo teste de Scott Knott ($p \leq 0,05$).

A manutenção da firmeza da casca está relacionada a produção de lignina e calose para fortificação da parede celular durante a indução de resistência (Lv et al., 2023) e a colonização dos agentes biológicos na superfície do fruto, limitando o crescimento de microrganismos deterioradores e patógenos (Karbowski et al., 2023).

Os tratamentos T4-Bio-Imune®, T5-EcoTrich®, T6-Tricho-Turbo®, T7-Auin-Ce®, T8-Mac Café®, T9-Romeo SC® apresentaram valores de vitamina C superiores a testemunha, no 15º dia de armazenamento (Tabela 4), a interação entre os fatores foi positiva para os tratamentos biológicos, demonstrando preservação da vitamina C ao longo do período de armazenamento.

Tabela 4. Potencial hidrogeniônico (pH) e vitamina C de frutos de *Citrus sinensis* tratados com produtos biológicos

Tratamentos	Vitamina C				
	Período de armazenamento				
	3º dia	6º dia	9º dia	12º dia	15º dia
1	32,99 Bb	43,91 Aa	32,93 Bb	34,35 Ba	30,45 Bb
2	35,27 Bb	46,74 Aa	36,47 Aa	34,35 Ba	34,70 Bb
3	30,98 Bb	42,14 Aa	29,04 Bb	36,12 Ba	35,06 Bb
4	34,07 Bb	47,45 Aa	39,31 Aa	38,60 Aa	36,83 Aa
5	35,23 Bb	41,43 Aa	36,12 Aa	39,66 Ba	41,43 Aa
6	39,66 Aa	36,83 Bb	37,53 Aa	41,43 Aa	42,14 Aa
7	41,43 Aa	33,99 Bb	35,41 Bb	43,20 Aa	40,37 Aa
8	37,53 Aa	35,41 Bb	41,08 Aa	41,43 Aa	39,31 Aa
9	44,26 Aa	30,10 Bb	36,12 Aa	38,60 Ba	38,24 Aa
10	45,15 Aa	31,87 Bb	37,89 Aa	43,20 Aa	43,20 Aa
CV (%)	12,17	12,56	9,19	11,44	12,49
Tratamentos	pH				
	3º dia	6º dia	9º dia	12º dia	15º dia
	3º dia	6º dia	9º dia	12º dia	15º dia
1	4,13 Bb	4,32 Aa	4,36 Aa	4,13 Aa	4,40 Bb
2	4,36 Aa	4,25 Aa	4,00 Bb	4,35 Aa	4,37 Bb
3	4,28 Ab	4,37 Aa	4,36 Aa	4,19 Aa	4,4 Bb
4	4,11 Bb	4,28 Aa	4,15 Bb	4,30 Aa	4,27 Bb
5	4,46 Aa	4,14 Aa	4,28 Aa	4,15 Aa	4,77 Aa
6	4,24 Bb	4,23 Aa	4,12 Bb	4,18 Aa	4,61 Aa
7	4,11 Bb	4,21 Aa	4,31 Aa	4,35 Aa	4,51 Aa
8	4,11 Bb	4,28 Aa	4,19 Bb	4,21 Aa	4,29 Bb
9	4,16 Bb	4,11 Aa	4,15 Bb	4,31 Aa	4,1 Bb
10	4,42 Aa	4,33 Aa	4,16 Bb	4,17 Aa	4,37 Bb
CV (%)	6,03	4,63	5,29	5,15	4,55

T1: Controle (BDA); **T2:** Natucontrol® (1,6 g L⁻¹); **T3:** Shocker® (1,0 g L⁻¹); **T4:** Bio-Imune® (3,3 g L⁻¹); **T5:** EcoTrich® (0,83 g L⁻¹); **T6:** Tricho-Turbo® (1,0 mL L⁻¹); **T7:** Auin-Ce® (2,2 mL L⁻¹); **T8:** Mac Café® (2,5 mL L⁻¹); **T9:** Romeo SC® (3,3 mL L⁻¹) e **T10:** Tiabendazol (10,3 mL L⁻¹). **UFPB, Areia-PB, 2024.** Diferença significativa em relação à testemunha pelo teste de Scott-Knott ($P < 0,05$). Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúsculas nas linhas não diferem entre si pelo teste de Scott Knott ($p \leq 0,05$).

Esses resultados indicam contribuição dos produtos biológicos na preservação da qualidade de laranja ‘Pêra’ pós-colheita, com potencial de maior resistência ao estresse e maior longevidade pós-colheita, além disso, maiores teores de vitamina C agregam valor nutricional aos frutos, o que é desejável tanto do ponto de vista nutricional e comercial.

Resultados semelhantes foram observados por Qiaoli Ma et al. (2021), com um aumento de 13,97% de vitamina C em relação ao grupo controle. De acordo com Nehela e Killiny (2023), a vitamina C atua como um potente antioxidante, ajudando a neutralizar radicais livres e espécies reativas de oxigênio (ROS), o que pode resultar em menor oxidação e maior preservação da qualidade dos frutos.

Os tratamentos T5-EcoTrich®, T6-Tricho-Turbo® e T7-Auin-Ce® diferenciaram-se dos demais, elevando o pH em 0,15 a 0,4 no décimo dia de avaliação, em relação aos outros tratamentos. O pH máximo alcançado foi de 4,8 (Tabela 2). De acordo com Ore et al. (2022) os valores de pH para citros geralmente variam entre 3 e 4. Os resultados obtidos por Tiencheu et al. (2021) corroboram com os valores deste estudo, onde o pH variou entre 3,40 e 4,90. Segundo Chitarra; Chitarra (2005) os valores de pH podem ter sido superiores devido à mudanças na concentração de ácidos orgânicos, à medida que o valor do pH aumenta, os sucos ficam menos ácidos, aumentando a aceitabilidade do mercado consumidor.

Os valores de perda de massa, sólidos solúveis, acidez titulável e relação SS/AT não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos biológicos aplicados e a testemunha, indicando que os produtos biológicos não influenciam a qualidade físico-química dos frutos de laranja 'Pêra', apresentando valores semelhantes aos frutos tratados com ADE.

A perda de massa durante os 15 dias de armazenamento foi de 24 g, o que corresponde a aproximadamente 14,37% de perda de peso. A perda de massa ocorre devido ao amadurecimento e a senescência, essa diminuição é comum em frutos durante o armazenamento, ocasionado pelo desenvolvimento de processos fisiológicos como a desidratação (Hailu; Bekele, 2024).

O teor de sólidos solúveis (SS) apresentou uma queda de 10,5 para 9,7 °Brix, correspondendo a uma diminuição de 7,6%. A diminuição dos sólidos solúveis corresponde a utilização de açúcares para processos metabólicos, como a respiração dos frutos (Iwanami et al., 2024).

A acidez titulável aumentou de 1,01 mg/100 mL para 1,20 mg/100 mL, representando um aumento de 18,8%. Esse aumento pode ser atribuído à redução de SS e pela acumulação de ácidos orgânicos durante o amadurecimento (Yilmaz et al. 2024).

A relação SS/AT diminuiu de 10,35 para 8,15, representando uma queda de 21,4%. A relação SS/AT é um indicador importante do equilíbrio entre a doçura e a acidez dos frutos. Resultando em uma fruta menos doce e mais ácida ao paladar (Araújo et al., 2024).

5. CONCLUSÃO

O controle biológico demonstra-se como uma alternativa eficiente e sustentável para ser implementada no manejo pós-colheita de laranja ‘Pêra’, apontando potencial na redução do crescimento e da esporulação de *Penicillium digitatum* e menores percentuais severidade do bolor verde, o seu uso, além de eficiente no manejo de doenças pós-colheita, promove a sustentabilidade e atende às exigências das produções orgânicas, onde o uso de agrotóxicos é limitado. A substituição ou integração de agrotóxicos por agentes biológicos minimizam possíveis impactos ambientais e aumentam a aceitação do produto em mercados que valorizam a sustentabilidade da cadeia de produção agrícola.

Os frutos tratados apresentaram maior concentração de vitamina C e maior atividade da POX ao longo do período de armazenamento, demonstrando potencial na manutenção da qualidade pós-colheita dos frutos, através do acúmulo de compostos antioxidantes. Além disso, houve um aumento na atividade da PAL e PPO nos primeiros dias de armazenamento, apontando para o potencial de indução de resistência dos produtos biológicos, garantindo maior resistência dos frutos a infecções patogênicas durante o armazenamento.

Os resultados obtidos mostram a viabilidade do controle biológico como estratégia eficiente para a redução da severidade do bolor verde em laranjas ‘Pêra’, além de contribuir para a manutenção da qualidade nutricional e a indução de resistência dos frutos ao longo do armazenamento. A aplicação de agentes biológicos no manejo pós-colheita pode representar um avanço significativo para a cadeia do citros, promovendo sistemas de produção mais sustentáveis e alinhados às exigências de mercados que priorizam produtos livres de resíduos químicos. No entanto, para uma implementação mais ampliada do controle biológico, são necessários estudos adicionais que avaliem sua eficiência em diferentes condições de armazenamento, bem como sua compatibilidade com outras práticas de manejo integrado. O avanço dessas pesquisas contribuirá para consolidar o controle biológico como uma alternativa viável e amplamente adotada na pós-colheita de frutas cítricas.

REFERÊNCIAS

- ABDELKHALEK, A.; KIRÁLY, L.; AL-MANSORI, A.; YOUNES, H.; ZEID, A.; ELSHARKAWY, M.; BEHIRY, S. Defense responses and metabolic changes involving phenylpropanoid pathway and PR genes in squash (*Cucurbita pepo* L.) following Cucumber mosaic virus infection. **Plants**, v. 11, 2022.
- ABDUL-HALIM, A. M. A.; SHIVANAND, P.; KRISHNAMOORTHY, S.; TAHA, H. A review on the biological properties of *Trichoderma* spp. as a prospective biocontrol agent and biofertilizer. **Journal of Applied Biology & Biotechnology**, v. 11, n. 5, p. 34-46, 2023.
- AGOSTINI, R.; ARIEL, F.; RIUS, S.; VARGAS, W.; CAMPOS-BERMUDEZ, V. *Trichoderma* root colonization triggers epigenetic changes in jasmonic and salicylic acid pathway-related genes. **Journal of Experimental Botany**, v. 73, n. 15, 2022.
- AJUNA, H.; LIM, H.; MOON, J.; WON, S.; CHOUB, V.; CHOI, S.; YUN, J.; AHN, Y. The Prospect of Hydrolytic Enzymes from *Bacillus* Species in the Biological Control of Pests and Diseases in Forest and Fruit Tree Production. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 24, 2023.
- ALI, S.; SAYYED, R.; MIR, M.; KHAN, M.; HAMEEDA, B.; ALKHANANI, M.; HAQUE, S.; TAWAHA, A.; POZAI, P. Induction of systemic resistance in maize and antibiofilm activity of surfactin from *Bacillus velezensis* MS20. **Frontiers in Microbiology**, v. 13, 2022.
- ALIZADEH, M.; VASEBI, Y.; SAFAIE, N. Microbial antagonists against plant pathogens in Iran: A review. **Open Agriculture**, v. 5, n. 1, p. 404-440, 2020.
- AISHWARDANI, N.; IRAWAN, B.; AGUSTRINA, R.; YULIANTY, Y. Effect of *Gliocladium* sp. and mung bean sprouts extract (*Vigna radiata* (L.) R. Wilczek) induction on *Fusarium* wilt in tomato plants (*Solanum lycopersicum* L.). **Research Inventy: International Journal of Engineering and Science**, v. 14, n. 7, 2024.
- AMINI, M. M.; MIRZAEI, S.; HEIDARI, A. A growing threat: investigating the high incidence of benzimidazole fungicides resistance in Iranian *Botrytis cinerea* isolates. **PLOS ONE**, v. 18 (11), 2023.
- ARAÚJO, J. M.; ANDRADE NETO, R. C.; TAVELLA, L. B.; LEITE, H. M. F.; ARAÚJO, M. L.; SARAÍVA LESSA, L.; ABREU, M. G. P.; SEBIM MARIM, J. P. Quality and postharvest conservation of sour passion fruit genotypes. **Comunicata Scientiae**, v. 16, p. e4206, 2024.
- AYILARA, M. S.; ADELEKE, B. S.; AKINOLA, S. A.; FAYOSE, C. A.; ADEYEMI, U. T.; GBADEGESIN, L. A.; OMOLE, R. K.; JOHNSON, R. M.; UTHMAN, Q. O.; BABALOLA, O. O. Biopesticides as a promising alternative to synthetic pesticides: a case for microbial pesticides, phytopesticides, and nanobiopesticides. **Frontiers in Microbiology**, v. 14, art. 1040901, 2023.
- AOAC, Association of official agricultural chemists. Official methods of analysis. 22. ed. Washington: 2023.

ABDUL-HAKIM, Abdul Muizz Al-Azim; SHIVANAND, Pooja; KRISHNAMOORTHY, Sarayu; TAHA, Hussein. A review on the biological properties of *Trichoderma* spp. as a prospective biocontrol agent and biofertilizer. **Journal of Applied Biology & Biotechnology**, v. 11, n. 5, p. 34-46, set.-out. 2023. doi: 10.7324/JABB.2023.11504.

ABDELFATTAH, A.; TACK, A. J. M.; WASSERMAN, B.; LIU, J.; BERG, G.; NORELLI, J.; DROBY, S.; WISNIEWSKI, M. Evidence for host-microbiome co-evolution in apple. **The New Phytologist**, v. 234, n. 6, p. 2088-2100, 2022. doi: 10.1111/nph.17820.

ABD-EL-KAREEM, F.; ELSHAHAWY, I. E.; ABD-ELGAWAD, M. M. M. Application of *Bacillus pumilus* isolates for management of black rot disease in strawberry. **Egyptian Journal of Biological Pest Control**, v. 31, p. 25, 2021.

AMOBONYE, A; BHAGWAT, P; PANDEY, A; SINGH, S; PILLAI, S. Biotechnological potential of *Beauveria bassiana* as a source of novel biocatalysts and metabolites. **Critical Reviews in Biotechnology**, v. 40, n. 7, p. 1019-1034, 2020.

AWUCHI, C.; ONDARI, E.; OGBONNA, C.; UPADHYAY, A.; BARAN, K.; OKPALA, C.; KORZENIOWSKA, M.; GUINÉ, R. Mycotoxins affecting animals, foods, humans, and plants: types, occurrence, toxicities, action mechanisms, prevention, and detoxification strategies—a revisit. **Foods**, v. 10, 2021.

AUGUSTINE, L.; VARGHESE, L.; KAPPACHERY, S.; RAMASWAMI, V. M.; SURENDRABABU, S. P.; SAKUNTALA, M.; THOMAS, G. Comparative analyses reveal a phenylalanine ammonia lyase dependent and salicylic acid mediated host resistance in *Zingiber zerumbet* against the necrotrophic soft rot pathogen *Pythium myriotylum*. **Plant Science**, v. 340, p. 111972, 2024.

BAARD, V.; BAKARE, O. O.; DANIEL, A. I.; NKOMO, M.; GOKUL, A.; KEYSTER, M.; KLEIN, A. Biocontrol potential of *Bacillus subtilis* and *Bacillus tequilensis* against four *Fusarium* species. **Pathogens**, v. 12, p. 254, 2023.

BALLESTER, A., & GONZÁLEZ-CANDELAS, L. EFE-Mediated Ethylene Synthesis Is the Major Pathway in the Citrus Postharvest Pathogen *Penicillium digitatum* during Fruit Infection. **Journal of Fungi**, 6, 1-10, 2020.

BAHADUR, A. The potential of the entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana* to manage insect pests and diseases. **Natural Resources Conservation and Research**, v. 6, n. 2, 2023.

BENATO, E. A.; BELLETTI, T. C.; TERAPO, D.; FRANCO, D. A. de S. Óleos essenciais e tratamento térmico no controle pós-colheita de bolor verde em laranja. **Summa Phytopathol**, Botucatu, v. 44, n. 1, p. 65-71, 2018.

BENSACI, O. A.; ROUABAH, K.; ALIAT, T.; LOMBARKIA, N.; PLUSHIKOV, V. G.; KUCHER, D. E.; DOKUKIN, P. A.; TEMIRBEKOVA, S. K.; REBOUH, N. Y. Biological pests management for sustainable agriculture: understanding the influence of *Cladosporium*-bioformulated endophytic fungi application to control *Myzus persicae* (Sulzer, 1776) in potato (*Solanum tuberosum* L.). **Plants**, v. 11, p. 2055, 2022.

BRADFORD, M. M.; A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. **Analytical Biochemistry**, v. 72, n. 1–2, p. 248–254. 1976.

BAAZEEM, A.; ALMANEA, A.; MANIKANDAN, P.; ALORABI, M.; VIJAYARAGHAVAN, P.; ABDEL-HADI, A. *In vitro* antibacterial, antifungal, nematocidal and growth promoting activities of *Trichoderma hamatum* FB10 and its secondary metabolites. **Journal of Fungi**, v. 7, n. 5, p. 331, 2021.

BONAPAZ, R.; SOUSA, A.; PINTO, S.; KUCZER, M.; ZORTÉA, E.; FARIA, C.; BOTELHO, R.. Biocontrol agents against *Penicillium digitatum* in ‘Pera’ orange. **Comunicata Scientiae**, 2024. e-ISSN: 2177-5133.

BULGARI, D.; ALIAS, C.; PERON, G.; RIBAUDO, G.; GIANONCELLI, A.; SAVINO, S.; BOUREGHDA, H.; BOUZNAD, Z.; MONTI, E.; GOBBI, E. Solid-state fermentation of *Trichoderma* spp.: A new way to valorize the agricultural digestate and produce value-added bioproducts. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 71, p. 3994–4000, 2023.

CARMONA-HERNANDEZ, Saul; REYES-PÉREZ, Juan J.; CHIQUITO-CONTRERAS, Roberto G.; RINCON-ENRIQUEZ, Gabriel; CERDAN-CABRERA, Carlos R.; HERNANDEZ-MONTIEL, Luis G. Biocontrol of postharvest fruit fungal diseases by bacterial antagonists: a review. **Agronomy**, v. 9, p. 121, 2019.

CASTRO, Natália. Busca de uma estratégia de controle para bolores em frutos de laranja. 2020. 67 f. **Dissertação** (Mestrado em Microbiologia Agropecuária) – Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2020.

CIGNOLA, R.; ZUCCHINALI, S.; FIRRAO, G.; DI FRANCESCO, A. Aspects of the biocontrol activity of *Aureobasidium* spp. strain against *Penicillium expansum* of apple. **Annals of Applied Biology**, v. 184, p. 307–313, 2024.

CISNEROS, Jonathan; WENDEL, Justin; JARONSKI, Stefan; CIOMPERLIK, Matthew; FLORES, Daniel. Assessment of two novel host-derived *Beauveria bassiana* (Hypocreales: Cordycipitaceae) isolates against the citrus pest, *Diaphorina citri* (Hemiptera: Liviidae). **Journal of Economic Entomology**, v. 115, n. 1, p. 56-64, 2022.

CITRUSBR. CitrusBR. 2024. Disponível em: <https://www.citrusbr.com/>. Acesso em: 27 out. 2024.

CHAUDHARY, R.; NAWAZ, A.; KHATTAK, Z.; BUTT, M. A.; FOUILLAUD, M.; DUFOSSÉ, L.; MUNIR, M.; HAQ, I. ul; MUKHTAR, H. Microbial bio-control agents: A comprehensive analysis on sustainable pest management in agriculture. **Journal of Agriculture and Food Research**, v. 18, p. 101421, 2024.

CHEN, L.; HAO, D.; DOU, K.; LANG, B.; WANG, X.; LI, Y.; CHEN, J. Preparation of high water-soluble *Trichoderma* co-culture metabolite powder and its effects on seedling emergence rate and growth of crops. **Journal of Fungi**, v. 9, p. 767, 2023.

CHEN, K.; TIAN, Z.; HE, H.; LONG, C.-A.; JIANG, F. *Bacillus* species as potential biocontrol agents against citrus diseases. **Biological Control**, v. 151, p. 104419, 2020.

CHEN, Z.; WANG, Z.; XU, W. *Bacillus velezensis* WB induces systemic resistance in watermelon against *Fusarium* wilt. **Pest Management Science**, v. 80, n. 3, p. 1423, 2023.

CHENG, Y.; LIN, Y.; CAO, H.; LI, Z. Citrus postharvest green mold: recent advances in fungal pathogenicity and fruit resistance. **Microorganisms**, v. 8, n. 3, p. 449, 2020.

CHERUIYOT, Emmy; MWAMBURI, Lizzy; MAKUMBA, Billy. Bio-control potential of *Trichoderma harzianum* and *Beauveria bassiana* against *Alternaria solani* in tomatoes (*Solanum lycopersicum*). **African Journal of Education, Science and Technology (AJEST)**, v. 7, n. 4, 2024.

CHUANG, C.; LIN, S.; LI, A.; LI, S.; HSIAO, C.; LIN, Y. *Bacillus amyloliquefaciens* PMB05 increases resistance to bacterial wilt by activating MAPK and ROS pathway crosstalk in *Arabidopsis thaliana*. **Phytopathology**, v. 112, n. 12, p. 1943, 2022.

CUI, H.; CHENG, Q.; JING, T.; CHEN, Y.; LI, X.; ZHANG, M.; XIE, J. A newly isolated high-yield siderophores from *Trichoderma viride* XZ11-1 with high antifungal activity against *Fusarium oxysporum* and growth-promoting ability in bananas. **Research Square**, v. 1, 2024.

CUNHA, A. Laranjeira - 'Pêra' em função de novos porta-enxertos no município de Capitão Poço - Pa. 2021. 60 f. **Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Agronomia)** - Universidade Federal Rural da Amazônia, Campus Capitão Poço, 2021.

DACCÒ, C.; NICOLA, L.; TEMPORITI, M. E. E.; MANNUCCI, B.; CORANA, F.; CARPANI, G.; TOSI, S. *Trichoderma*: Evaluation of Its Degrading Abilities for the Bioremediation of Hydrocarbon Complex Mixtures. **Appl. Sci.**, v. 10, n. 9, p. 3152, 2020.

DEB, L.; DUTTA, P.; MANDAL, M.; SINGH, S. Antimicrobial traits of *Beauveria bassiana* against *Rhizoctonia solani*, the causal agent of sheath blight of rice under field conditions. **Plant Disease**, v. 107, n. 5, PDIS04220806RE, 2023.

DING, L. N.; LI, Y. T.; WU, Y. Z.; LI, T.; GENG, R.; CAO, J.; TAN, X. L. Plant disease resistance-related signaling pathways: recent progress and future prospects. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 23, n. 24, p. 16200, 2022.

DINLER, B., & ÇETINKAYA, H. An overview on Azelaic Acid: Biosynthesis, signalling and the action under stress conditions in plants. **Journal of Plant Stress Physiology**, 10, 1-13, 2024

DUANGMAL, K.; APENTEN, R. K. O. A comparative study of polyphenol oxidases from taro (*Colocasia esculenta*) and potato (*Solanum tuberosum* var. Romano). **Food Chemistry**, London, v.64, p.351-359, 1999.

DWIASTUTI, M; SOESANTO, L; GUSTI AJI, T; DEVY, N; HARDIYANTO, H. Biological control strategy for postharvest diseases of citrus, apples, grapes and strawberries fruits and application in Indonesia. **Egypt Journal of Biological Pest Control**. 2021.

DROBY, S.; ZHIMO, V. Y.; WISNIEWSKI, M.; FREILICH, S. The pathobiome concept applied to postharvest pathology and its implication on biocontrol strategies. **Postharvest Biology and Technology**, v. 189, p. 111911, 2022.

DOBZYŃSKI, J.; JAKUBOWSKA, Z.; KULKOVA, I.; KOWALCZYK, P.; KRAMKOWSKI, K. Biocontrol of fungal phytopathogens by *Bacillus pumilus*. **Frontiers in Microbiology**, v. 14, 2023.

ELASH, W. E. M.; ABOREHAB, M. E. A.; EL-SEHRAWY, O. A. M.; SHAHIN, S. I. Control of green and blue molds of citrus fruits using some biocontrol agents under Egyptian conditions. **Egyptian Journal of Phytopathology**, v. 51, n. 1, p. 93-102, 2023.

El-Nagar, A.; Mazrou, Y. S.; El-Fawy, M. M.; Abou-Shlell, M. K.; Seleim, M. A.; Makhoulf, A. H.; Hegazy, M. G. New *Trichoderma* Strains Suppress Blue Mold in Oranges by Damaging the Cell Membrane of *Penicillium italicum* and Enhancing Both Enzymatic and Non-Enzymatic Defense Mechanisms in Orange Fruits. **Horticulturae**, v. 10, n. 10, p. 1076, 2024.

EMBRAPA. Citros: cultivos e manejo. Disponível em: <https://www.embrapa.br/mandioca-e-fruticultura/cultivos/citros>. Acesso em: 01 de novembro de 2024.

ETESAMI, H.; JEONG, B. R.; GLICK, B. R. Biocontrol of plant diseases by *Bacillus* spp. **Physiological and Molecular Plant Pathology**, v. 126, 2023.

FAN, S.; WEI, X.; LU, R.; FENG, C.; ZHANG, Q.; LU, X.; JIN, T.; YAN, M.; YANG, Z.; Roles of the N-terminal motif in improving the activity and soluble expression of phenylalanine ammonia lyases in *Escherichia coli*. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 262, p. 130248. 2024. FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations.

FAN, Y.; ZHANG, Y.; LI, W.; LI, J.; LIU, D.; YANG, Y.; ZHAO, Y.; ZHANG, Y.; LUO, S.; WANG, C.; ZHANG, X.; XU, Y. 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, 2023.

FAO. Citrus. Disponível em: <https://www.fao.org/land-water/databases-and-software/crop-information/citrus/en/>. Acesso em: 26 out. 2024.

FERREIRA, D. F. SISVAR: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n. 6, p. 1039, 2011.

GALICIA-CAMPOS, E.; RAMOS-SOLANO, B.; MONTERO-PALMERO, M. B.; GUTIERREZ-MAÑERO, F. J.; GARCÍA-VILLARACO, A. Management of plant physiology with beneficial bacteria to improve leaf bioactive profiles and plant adaptation under saline stress in *Olea europaea* L. **Foods**, v. 9, n. 1, p. 57, 2020.

GARBIN, E.; BOFF, P.; BOFF, M. I. C. Ação de altas diluições dinamizadas no crescimento micelial de *Beauveria bassiana*. **Cadernos de Agroecologia**, v. 19, n. 1, 2024.

GOMES, R. M.; SOARES, G.; PASSOS, L.; CRUZ, R.; APARECIDA, T. A cadeia produtiva da laranja pera no estado de São Paulo e os fatores que influenciam a qualidade da fruta. In: **JORNADA CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA DA FATEC DE BOTUCATU**, v. 9., 2024, Botucatu. Botucatu: FATEC, 2024.

GHONEEM, K.; AL-ASKAR, A.; SABER, W. A simple formula of the endophytic *Trichoderma viride*, a case study for the management of *Rhizoctonia solani* on the common bean. **Life**, v. 13, 2023.

GUO, X.; QIAO, M.; YANG, Y.; LUO, K.; LIU, Z.; LIU, J.; SUN, Q. *Bacillus amyloliquefaciens* M73 reduces postharvest decay and promotes anthocyanin accumulation in Tarocco blood orange (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck) during cold storage. **Postharvest Biology and Technology**, v. 182, p. 111698, 2021.

GUPTA, R.; KEPPANAN, R.; LEIBMAN-MARKUS, M.; RAV-DAVID, D.; ELAD, Y.; MENT, D.; BAR, M. The entomopathogenic fungi *Metarhizium brunneum* and *Beauveria bassiana* promote systemic immunity and confer resistance to a broad range of pests and pathogens in tomato. **Phytopathology**, 2022.

GUZMÁN-GUZMÁN, P.; KUMAR, A.; DE LOS SANTOS-VILLALOBOS, S.; PARRA-COTA, F.; OROZCO-MOSQUEDA, M.; FADIJI, A.; HYDER, S.; BABALOLA, O.; SANTOYO, G. *Trichoderma* Species: Our Best Fungal Allies in the Biocontrol of Plant Diseases - A Review. **Plants**, v. 12, p. 432, 2023.

HALO, B. A.; AL-YAHYAI, R. A.; AL-SADI, A. M. Biological control of *Pythium aphanidermatum* induced cucumber and radish damping-off by an endophytic fungus, *Cladosporium omanense* isolate 31R. **Biocontrol Science and Technology**, v. 31, n. 3, p. 235-251, 2021.

HAILU, W.; BEKELE, T. Quality and physio-chemical changes associated with processing and properties of fruits and vegetables. **Cogent Food & Agriculture**, v. 10, n. 1, p. 2419957, 2024.

HMMAM, I; ABDELAAL, R; AZOZ, S; GOMAA, A. Alterations in photosynthetic apparatus, antioxidant systems, and leaf anatomical structure of some citrus genotypes grafted on the recently introduced 'Macrophylla' rootstock in response to chilling stress. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 45, e-236, 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Produção de Laranjas no Brasil. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/laranja/br>. Acesso em: 21 set. 2024.

IWANAMI, H.; MORIYA-TANAKA, Y.; HANADA, T.; BABA, T.; SAKAMOTO, D. Factors explaining variations in soluble solids content of apples during ripening and storage. **The Horticulture Journal**, v. 93, n. 2, p. 135-142, 2024.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz**. 4. ed. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008.

IMRAN, A.; GHOSH, A. Evolutionary expansion, functional diversification, and transcript profiling of plant Glutathione Peroxidases. **Plant Science**, v. 341, p. 111991, abr. 2024.

ISLAM, Md Touhidul. Current status and future prospects of *Cladosporium* sp., a biocontrol agent for sustainable plant protection. **Biocontrol Science**, v. 27, n. 4, p. 185-191, 2022.

JIA, Y., TAO, Z., ZHI, J., TUO, L., YUE, W., LI, D., & LIU, L. Combined Jasmonic Acid and Ethylene Treatment Induces Resistance Effect in Faba Bean Plants Against *Frankliniella occidentalis* (Pergande) (Thysanoptera: Thripidae). **Insects**, 13, 1-9, 2022.

KARPETS, Y. V.; KOLUPAEV, Y. E.; LUGOVAYA, A. A.; SHVIDENKO, N. V.; SHKLIAREVSKYI, M. A.; YASTREB, T. O. Functional interaction of ROS and nitric oxide during induction of heat resistance of wheat seedlings by hydrogen sulfide donor. **Russian Journal of Plant Physiology**, v. 67, p. 653-660, 2020.

KARBOWIAK, M., SYMAŃSKI, P., & ZIELIŃSKA, D. Synergistic Effect of Combination of Various Microbial Hurdles in the Biopreservation of Meat and Meat Products—Systematic Review. **Foods**, 12, 1-12, 2023.

KAPPEL, L.; YU, L.; ESCOBAR, C.; MARCIANÒ, D.; SRIVASTAVA, V.; BULONE, V.; GRUBER, S. A comparative cell wall analysis of *Trichoderma* spp. confirms a conserved polysaccharide scaffold and suggests an important role for chitosan in mycoparasitism. **Microbiology Spectrum**, v. 12, n. 8, p. e03495-23, 2024.

KLEMMED BJØRK, P.; JOHANSEN, N. T.; HAVSHØI, N. W.; RASMUSSEN, S. A.; IPSEN, J. Ø.; ISBRANDT, T.; LARSEN, T. O.; FUGLSANG, A. T. *Trichoderma harzianum* peptaibols stimulate plant plasma membrane H⁺-ATPase activity. **ACS Omega**, v. 8, p. 34928–34937, 2023.

KHATRI, S.; SAZINAS, P.; STRUBE, M. L.; DING, L.; DUBEY, S.; SHIVAY, Y. S.; SHARMA, S.; JELSBak, L. *Pseudomonas* is a key player in conferring disease suppressiveness in organic farming. **Plant and Soil**, v. 503, p. 85–104, 2024.

KIMATI, H.; AMORIM, L.; BERGAMIN FILHO, L.E.A.; REZENDE, J.A.M. Manual de Fitopatologia: Doenças das Plantas Cultivadas. Vol. 2., **Ceres**: São Paulo, 774 p.

KUPPER, K. C.; MOURA, V. S.; PAULA, F. B. F. Leveduras como agentes de controle biológico de patógenos de pós-colheita em citros. **Revisão Anual de Patologia de Plantas**, v. 29, p. 35-55, 2023.

LARREA, C.N.M.; BENÍTEZ RODAS, G.A.; SANDOVAL-ESPÍNOLA, W.J.; ARRÚA, P.D.; LOPEZ-NICORA, H.; QUINTANA ARRÚA, S.A.; FERNÁNDEZ RIOS, D.; ARRÚA, A.A. *Trichoderma* as biocontrol agent - in focus. **Revista de la Sociedad Científica del Paraguay**, v. 29, n. 1, p. 137, 2024.

LEE, W.; KIM, J. S.; SEO, C. W.; LEE, J. W.; KIM, S. H.; CHO, Y.; LIM, Y. W. Diversity of *Cladosporium* (Cladosporiales, Cladosporiaceae) species in marine environments and report on five new species. **MycKeys**, v. 98, p. 87-111, 2023.

LI, Z., WEI, Y., CAO, Z., JIANG, S., CHEN, Y., & SHAO, X. The Jasmonic Acid Signaling Pathway is Associated with Terpinen-4-ol-Induced Disease Resistance against *Botrytis cinerea* in Strawberry Fruit. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 69, 1-12, 2021.

LI, X.; ZENG, S.; WISNIEWSKI, M.; DROBY, S.; YU, L.; AN, F.; LENG, Y.; WANG, C.; LI, X.; HE, M.; LIAO, Q.; LIU, J.; WANG, Y.; SUI, Y.. Critical reviews in food science and nutrition. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 62, n. 1, p. 123-135, 2022.

LI, Z.; ZHANG, S.; XUE, J.; MU, B.; SONG, H.; LIU, Y. Exogenous melatonin treatment induces disease resistance against *Botrytis cinerea* on post-harvest grapes by activating defence responses. **Foods**, v. 11, 2231, 2022.

LI, Qiang; QIN, Xiujuan; QI, Jingjing; DOU, Wanfu; DUNAND, Christophe; CHEN, Shanchun; HE, Yongrui. CsPrx25, a class III peroxidase in *Citrus sinensis*, confers resistance to citrus bacterial canker through the maintenance of ROS homeostasis and cell wall lignification. **Horticulture Research**, v. 7, p. 192, 2020.

LI, Z.; TANG, S.; GAO, H.; REN, J.; XU, P.; DONG, W.; ZHENG, Y.; YANG, W.; YU, Y.; GUO, J.; LUO, Y.; NIU, D.; JIANG, C. Plant growth-promoting rhizobacterium *Bacillus cereus* AR156 induced systemic resistance against multiple pathogens by priming of camalexin synthesis. **Plant, Cell & Environment**, 2023.

LI, C.; WANG, Z.; LIU, M.; LI, L.; WANG, W.; ZHANG, J.; YU, J.; ZHANG, H. Activation of the calcium signaling, mitogen-activated protein kinase cascade and phenylpropane metabolism contributes to the induction of disease resistance in pear fruit upon phenylalanine treatment. **Postharvest Biology and Technology**, v. 210, p. 112782, 2024.

LIU, Y.; DAI, C.; ZUO, Y.; QIAO, J.; SHEN, J.; YIN, X.; LIU, Y. Characterization of Siderophore Produced by *Bacillus velezensis* YL2021 and Its Application in Controlling Rice Sheath Blight and Rice Blast. **Phytopathology**, 2024.

LIMA, S. K. R.; DURAZZO, A.; LUCARINI, M.; DE OLIVEIRA, J. J. A.; DA SILVA, R. A.; ARCANJO, D. D. R. Valorization of fruit co-product flours for human nutrition: challenges, applications, and perspectives. **Sustainability**, v. 15, n. 18, p. 13665, 2023.

LÓPEZ-LÓPEZ, H.; RUIZ-LAU, N.; MEZA-GORDILLO, R.; RUIZ-VALDIVIEZO, V. M.; GALTHIER ROBLEDO-LUCHETTI, J.; LECONA-GUZMÁN, C.; VILLALOBOS-MALDONADO, J.; DENDOOVEN, L.; MONTES-MOLINA, J.. Antifungal potential of *Beauveria bassiana* on *Solanum lycopersicum* L. infected with *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*. **Phyton-International Journal of Experimental Botany**, v. 92, n. 4, 2023.

LV, S., LIN, Z., SHEN, J., LUO, L., XU, Q., LI, L., & GUI, J. OsTCP19 coordinates lignin suppression and cellulose biosynthesis activation to modify lodging resistance in rice. **Journal of Experimental Botany**, 74, 1-12, 2023.

MANES, N., BRAUER, E., HEPWORTH, S., & SUBRAMANIAM, R. MAMP and DAMP signalling contributes resistance to *Fusarium graminearum* in Arabidopsis. **Journal of Experimental Botany**, 72, 1-12, 2021.

MALIK, N., KUMAR, I., & NADARAJAH, K. Elicitor and Receptor Molecules: Orchestrators of Plant Defense and Immunity. **International Journal of Molecular Sciences**, 21, 1-11, 2020.

MASMOUDI, F.; TOUNSI, S.; DUNLAP, C.; TRIGUI, M. Halotolerant *Bacillus spizizenii* FMH45 promoting growth, physiological, and antioxidant parameters of tomato plants exposed to salt stress. **Plant Cell Reports**, v. 40, p. 1199-1213, 2021.

MA, X.; LIU, L.; YANG, H.; LI, Y.; ZHANG, L.; CHEN, Y.; LIU, Y.; ZHANG, Y.; WANG, L.; WANG, Y.; WANG, X.; LI, Z.; WANG, X. Comprehensive physiological, transcriptomic, and metabolomic analyses reveal the synergistic mechanism of *Bacillus pumilus* G5 combined with silicon alleviate oxidative stress in drought-stressed *Glycyrrhiza uralensis* Fisch. **Frontiers in Plant Science**, v. 13, 2022.

MACIEL, J. R. F. Investigação química e biológica das interações entre fitopatógenos cítricos e fungos endofíticos isolados de *Citrus sinensis*. 2024. **Dissertação de Mestrado** – Instituto de Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2024.

MANTZOUKAS, S.; LAGOIANNIS, I.; MPOUSIA, D. et al. *Beauveria bassiana* endophytic strain as plant growth promoter: The case of the grape vine *Vitis vinifera*. **Journal of Fungi**, v. 7, n. 2, p. 142, 2021.

MARTINS, C. S. Controle de fungos associados à linha de processamento de suco de laranja. 2022. **Dissertação de Mestrado** – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2022.

MÉREL, P.; QIN, Z.; SEXTON, R. J. Policy-induced expansion of organic farmland: implications for food prices and welfare. **European Review of Agricultural Economics**, v. 50, n. 4, p. 1583–1631, set. 2023.

MENEZES, D. A.; CRUZ, G. G. S.; DE SOUSA, L. C.; FONSECA, A. L.; BELFORT, M. G. S.; DE OLIVEIRA NASCIMENTO, I. Efeitos de rizobactérias no biocontrole de *Fusarium f. sp. coriandrii* em coentro verdão (*Coriandrum sativum* L.). **Cadernos de Agroecologia**, v. 19, n. 1, 2024.

MCGUIRE, A.; NORTHFIELD, T. Tropical occurrence and agricultural importance of *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae*. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, v. 4, 2020.

MILJAKOVIĆ, D.; MARINKOVIĆ, J.; BALEŠEVIĆ-TUBIĆ, S. The significance of *Bacillus* spp. in disease suppression and growth promotion of field and vegetable crops. **Microorganisms**, v. 8, 1037, 2020.

MONTEIRO, R. E. P.; MONTEIRO, G. B. F.; NUNES, M. S.; SILVA, H. F.; SILVA, E. C.; SILVA, J. F.; NASCIMENTO, A. I. O.; NETO, S. C.; ARAÚJO, M. H. C.; CRUZ, A. F. S.; ZÁRATE-SALAZAR, J. R.; NASCIMENTO, L. C. do. Extratos aquosos da fungicultura no manejo de doenças em pimentão: uma revisão. **Cadernos de Pedagogia**, v. 21, n. 7, 2024.

MOURA, V.; MORETTO, R.; MACHADO, B.; KUPPER, K.. Alternativas de controle de doenças pós-colheita em citros. **Citrus Research & Technology**, v. 40, e1044, 2019.

- MORALES-CEDENO, L.; OROZCO-MOSQUEDA, M.; LOEZA-LARA, P.; PARRA-COTA, F.; SANTOS-VILLALOBOS, S.; SANTOYO, G. Plant growth-promoting bacterial endophytes as biocontrol agents of pre- and post-harvest diseases: fundamentals, methods of application and future perspectives. **Microbiological Research**, v. 242, p. 126612, 2021.
- MOOSA, A.; FARZAND, A.; ASLAM, M.; SAHI, S.; ZUBAIR, M.. Salicylic acid and *Cinnamomum verum* confer resistance against *Penicillium* rot by modulating the expression of defense linked genes in *Citrus reticulata* Blanco. **Postharvest Biology and Technology**, v. 181, p. 111649, 2021.
- MOUSAVI, K.; RAJABPOUR, A.; YARAHMADI, F.; GHODOUM PARIZIPOUR, M. H. Biological and molecular characterization of *Cladosporium* sp. and *Acremonium zeylanicum* as biocontrol agents of *Aphis fabae* in a tri-trophic system. **Environmental Entomology and Applications**, 2022.
- NAWROCKA, J.; SZYMCAK, K.; MAĆKOWIAK, A.; SKWAREK-FADECKA, M.; MAŁOLEPSZA, U. Determination of reactive oxygen or nitrogen species and novel volatile organic compounds in the defense responses of tomato plants against *Botrytis cinerea* induced by *Trichoderma virens* TRS 106. **Cells**, v. 11, 2022.
- NEVES, T. T.; PASSAMANI, F. R. F.; CASTRO, C. R. de S.; SCHWAN, R. F.; BATISTA, L. R.; SILVA, C. F. *Saccharomyces cerevisiae* CCMA 0159 showed a high capacity to inhibit OTA-producing *Aspergillus* species. **Brazilian Journal of Microbiology**, 2024.
- NUTTER, F. W.; ESKER, P. D.; COELHO NETTO, R. A. Disease assessment concepts and the advancements made in improving the accuracy and precision of plant disease data. In: XU, X. M.; C. BERGER, R. D. (Eds.). **Plant disease epidemiology: facing challenges of the 21st Century**. Dordrecht: Springer Netherlands, 2006. p. 95–103.
- NAJAFI, M.; ESFAHANI, M. N.; VATANDOOST, J.; Antioxidant enzymes activity associated with resistance to *Phytophthora* melonis-pumpkin blight. **Physiological and Molecular Plant Pathology**, v. 129, p. 102192. 2024.
- PADRÓ, M. D. A.; CABONI, E.; SALAZAR MORIN, K. A.; MERAZ MERCADO, M. A.; OVALDE-PORTUGAL, V. Effect of *Bacillus subtilis* on antioxidant enzyme activities in tomato grafting. **PeerJ**, mar. 2021. DOI: 10.7717/peerj.10984.
- PAN, F.; YANG, N.; ZHU, X.; YU, C.; JIANG, M.; JIANG, Y.; LIU, S.; WU, W.; LIU, Y. Discovery of a natural hybrid polyketide produced by endophytic *Cladosporium sphaerospermum* for biocontrol of phytopathogenic fungus *Botrytis cinerea*. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 71, n. 32, p. 12190–12202, 2023. DOI: 10.1021/jf304411c.
- PANDA, Veda P.; TYAGI, Apoorvi; ALI, Shagoofa; YADAV, Kusum; YADAV, Anurag; SHASANY, Ajit K.; DWIVEDI, Upendra N. Recombinant expression and characterization of lemon (*Citrus limon*) peroxidase. **Protein and Peptide Letters, Bentham Science Publishers**, v. 28, n. 4, p. 469-479, 2021.

- PHILIP, B.; BEHIRY, S.I.; SALEM, M.Z.M.; AMER, M.A.; EL-SAMRA, I.A.; ABDELKHALEK, A.; HEFLISH, A. *Trichoderma afroharzianum* TRI07 metabolites inhibit *Alternaria alternata* growth and induce tomato defense-related enzymes. **Scientific Reports**, v. 14, p. 1874, 2024.
- PODGÓRSKA-KRYSZCZUK, I.; PANKIEWICZ, U.; SAS-PASZT, L. Biological control of *Aspergillus parasiticus* and *Aspergillus ochraceus* and reductions in the amount of ochratoxin A and aflatoxins in bread by selected non-conventional yeast. **Foods**, v. 12, p. 3871, 2023.
- POCURULL, M., FULLANA, A., FERRO, M., VALERO, P., ESCUDERO, N., SAUS, E., GABALDÓN, T., & SORRIBAS, F. Commercial Formulates of *Trichoderma* Induce Systemic Plant Resistance to *Meloidogyne incognita* in Tomato and the Effect Is Additive to That of the Mi-1.2 Resistance Gene. **Frontiers in Microbiology**, 10, 1-12, 2020.
- PRASANNATH, K.; SHIVAS, R. G.; GALEA, V. J.; AKINSANMI, O. A. Novel *Botrytis* and *Cladosporium* species associated with flower diseases of macadamia in Australia. **Journal of Fungi**, v. 7, p. 898, 2021.
- PRASANNA, S. U.; KRISHNA, V.; KUMAR, S. R.; KUMAR, N. M. V.; NAYAKA, S. S.; RAAGAVALLI, K.; AJITH, S. *Trichoderma* spp. intervened activation of defensive enzymes in *Musa paradisiaca* cv. Malnad Rasbale plantlets. **Journal of Biological Control**, v. 36, n. 2/3, p. 101–111, 2023.
- PRŠIĆ, J.; GILLIARD, G.; IBRAHIM, H.; ARGÜELLES-ARIAS, A.; RONDELLI, V.; CROWET, J.; GENVA, M.; LUZURIAGA-LOAIZA, W.; DEBOEVER, E.; NASIR, M.; LINS, L.; MATHELIÉ-GUINET, M.; BOUBSI, F.; ESCHRIG, S.; RANF, S.; DOREY, S.; CONINCK, B.; NÜRNBERGER, T.; MONGRAND, S.; HÖFTE, M.; ZIPFEL, C.; DUFRÊNE, Y.; KOUTSIOUBAS, A.; BROCCA, P.; DELEU, M.; ONGENA, M. Mechanosensing and sphingolipid-docking mediate lipopeptide-induced immunity in *Arabidopsis*. **bioRxiv**, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1101/2023.07.04.547613>.
- PRISMANTORO, D.; MIRANTI, M.; AKBARI, S. I.; MISPA, M. S.; PERMADI, N.; DONI, F. The multifaceted roles of *Trichoderma* in managing rice diseases for enhanced productivity and sustainability. **Journal of Agriculture and Food Research**, v. 18, art. 101324, 2024.
- PRUSKY, D.; ROMANAZZI, G. Induced resistance in fruit and vegetables: A host physiological response limiting postharvest disease development. **Annual Review of Phytopathology**, v. 61, n. 1, p. 279-300, 2023.
- QIN, X.; ZHAO, X.; HUANG, S. et al. Pest management via endophytic colonization of tobacco seedlings by the insect fungal pathogen *Beauveria bassiana*. **Pest Management Science**, v. 77, n. 4, p. 2007–2018, 2021.
- RAMÓN-CARBONELL, M.; SÁNCHEZ-TORRES, P. *Penicillium digitatum* MFS transporters can display different roles during pathogen-fruit interaction. **International Journal of Food Microbiology**, v. 334, art. 108918, 2020.

RAMACHANDRA, S. K.; KAUSHIK, S.; AUSTIN, H.; KUMAR, R.; PARTHIBAN, M. The role of melanin in plant pathogenic fungi: insights into structure, biosynthesis, and function. **Plant Biology and Crop Research**, v. 6, p. 1090, 2023.

RĂUT, I.; CĂLIN, M.; CAPRĂ, L.; GURBAN, A.; DONI, M.; RADU, N.; JECU, L. *Cladosporium* sp. isolate as a fungal plant growth promoting agent. **Agronomy**, v. 11, n. 2, p. 392, 2021.

REIS, M. S. M.; REZENDE, D. C.; MAFRA, N. M.; MACHADO, L. de F. C. Potassium phosphite in the management of green mold in citrus. **Revista OELV**, v. 22, n. 1, p. 024, 2024.

RODRIGUES, P; SILVA, J; ALFAIA, J; SOUZA, J; MACEDO, L. Potencial de biocontrole das leveduras em pós-colheita de citros pela produção da enzima β -1,3-glucanase e atividade killer: uma revisão. **Citrus Research & Technology**, v. 41, e1056, 2020.

ROCHA, Kamila. Controle in vitro de *Penicillium expansum* por produto biológico à base de *Bacillus* spp. 2023. 38 f. **Trabalho de Conclusão de Curso** (Licenciatura em Química) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2023.

RONCATO, M. C.; PASCHOLATI, S. F. Alterações na atividade e no perfil eletroforético da peroxidase em folhas de milho (*Zea mays*) e sorgo (*Sorghum bicolor*) tratadas com leveduras (*Saccharomyces cerevisiae*). **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.55, n.3, p.395-402, 1998.

ROSTAMI, M.; SHAHBAZI, S.; SOLEIMANI, R.; GHORBANI, A. Optimizing sustainable control of *Meloidogyne javanica* in tomato plants through gamma radiation-induced mutants of *Trichoderma harzianum* and *Bacillus velezensis*. **Scientific Reports**, v. 14, n. 1, p. 17774, 2024.

SIDO, K.; HASSAN, W. Induction of defensive enzymes in sunflower plants treated with agrochemicals against *Macrophomina phaseolina*. **Journal of Plant Protection Research**, 2023.

SAFRONOVA, L.; SKOROCHOD, I.; ILYASH, V. Antioxidant and antiradical properties of probiotic strains *Bacillus amyloliquefaciens* ssp. plantarum. **Probiotics and Antimicrobial Proteins**, 2021.

SAMANIEGO-GÁMEZ, B.; VALLE-GOUGH, R.; GARRUÑA-HERNÁNDEZ, R.; REYES-RAMÍREZ, A.; LATOURNERIE-MORENO, L.; TUN-SUÁREZ, J.; VILLANUEVA-ALONZO, H.; NÚÑEZ-RAMÍREZ, F.; DÍAZ, L.; SAMANIEGO-GÁMEZ, S.; MINERO-GARCÍA, Y.; HERNÁNDEZ-ZEPEDA, C.; MORENO-VALENZUELA, O. Induced systemic resistance in the *Bacillus* spp. - *Capsicum chinense* Jacq. - PepGMV interaction, elicited by defense-related gene expression. **Plants**, v. 12, 2023.

SANTOS-SÁNCHEZ, N., SALAS-CORONADO, R., HERNÁNDEZ-CARLOS, B., & VILLANUEVA-CÑONGO, C. Shikimic Acid Pathway in Biosynthesis of Phenolic Compounds. **Plant Physiological Aspects of Phenolic Compounds**, 1, 1-13, 2019.

SANTOS, L.; MOIOLI, M.; MANHANI, M.; SOARES, V. Eficiência e comparação de tratamentos contra o bolor verde em laranjas: uma revisão bibliográfica. **Interface Tecnológica**, v. 19, n. 1, 2022.

SANTOS, D. R. N.; RIBEIRO, L. F. C. Avaliação de extratos de pimentas no controle do bolor verde dos citros (*Penicillium digitatum*). **Unifunec Científica Multidisciplinar**, v. 12, n. 14, p. 1, 2023.

SANTOS, G.; SÁNCHEZ-YÁÑEZ, J. M.; SANTOS-VILLALOBOS, S. Methods for detecting biocontrol and plant growth-promoting traits in rhizobacteria. **Methods in Rhizosphere Biology Research**. Springer, Singapore, 2019. p. 133–149.

SELLITTO, V. M.; ZARA, S.; FRACCHETTI, F.; CAPOZZI, V.; NARDI, T. Microbial biocontrol as an alternative to synthetic fungicides: boundaries between pre- and postharvest applications on vegetables and fruits. **Fermentation**, v. 7, p. 60, 2021.

SERRATO-DIAZ, Luz M.; MARIÑO, Yobana A.; BAYMAN, Paul. Pathogens causing anthracnose and fruit rots of coffee associated with the coffee berry borer and the entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana* in Puerto Rico. **APS Publications**, 2020.

SINNO, M.; RANESI, M.; DI LELIO, I.; IACOMINO, G.; BECCHIMANZI, A.; BARRA, E.; MOLISSO, D.; PENNACCHIO, F.; DIGILIO, M. C.; VITALE, S. Selection of endophytic *Beauveria bassiana* as a dual biocontrol agent of tomato pathogens and pests. **Pathogens**, v. 10, p. 1242, 2021.

SILVA, Carina. Atividade antifúngica de óleos essenciais no controle da antracnose em cebolinha (*Allium fistulosum* L.). 2024.

SOOD, M.; KAPOOR, D.; KUMAR, V.; SHETIWIY, M. S.; RAMAKRISHNAN, M.; LANDI, M.; ARANITI, F.; SHARMA, A. *Trichoderma*: The “Secrets” of a Multitalented Biocontrol Agent. **Plants**, v. 9, n. 6, p. 762, 2020.

SUI, L.; LU, Y.; ZHU, H.; WAN, T.; LI, Q.; ZHANG, Z. Endophytic blastospores of *Beauveria bassiana* provide high resistance against plant disease caused by *Botrytis cinerea*. **Fungal Biology**, v. 126, p. 528-533, 2022.

SUI, L.; LU, Y.; YANG, H.; LIU, Z.; WANG, L.; ZOU, X.; LI, Q.; ZHANG, Z. Endophytic *Beauveria bassiana* promotes sunflower growth and confers resistance against *Sclerotinia* disease. **BioControl**, 2024.

SUN, T.; ZHANG, Y. Short and long-distance signaling in plant defense. **The Plant Journal: for Cell and Molecular Biology**, 2020.

TERAO, D. et al. Métodos de controle alternativo do bolor-verde em laranja. Jaguariúna, SP: **Embrapa Meio Ambiente**, 2020. (Série Documentos Embrapa). Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/216260/1/Terao-Metodos-controle-bolor-2020.pdf>.

TYAGI, A.; LAMA TAMANG, T.; KASHTOH, H.; AHMAD MIR, R.; AHMAD MIR, Z.; MANZOOR, S.; MANZAR, N.; GANI, G.; VISHWAKARMA, S.K.; ALMALKI, M.A.;

ALI, S. A Review on Biocontrol Agents as Sustainable Approach for Crop Disease Management: Applications, Production, and Future Perspectives. **Horticulturae**, v. 10, n. 8, p. 805, 2024.

TIENCHEUA, Bernard; NJIA, Desdemona Njabi; ACHIDIA, Aduni Ufuan; EGBEA, Agbor Claudia; TENYANG, Noel; NGONGANGA, Eurydice Flore Tiepma; DJIKENG, Fabrice Tonfack; FOSSI, Bertrand Tatsinkou. Nutritional, sensory, physico-chemical, phytochemical, microbiological and shelf-life studies of natural fruit juice formulated from orange (*Citrus sinensis*), lemon (*Citrus limon*), Honey and Ginger (*Zingiber officinale*). **Heliyon**, [S. l.], v. 7, n. 9, 2021.

THOMÉ, Renata. Avaliação de leveduras antagonistas para o controle biológico de *Botrytis cinerea* em morango e *Penicillium digitatum* em laranja. 2020. 88 f. **Dissertação** (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2020.

TO, K., & CHO, W. Flavonoids overcome drug resistance to cancer chemotherapy by epigenetically modulating multiple mechanisms. **Current Cancer Drug Targets**, 21, 1-8, 2021.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. Foreign Agricultural Service. *Citrus: World Markets and Trade 2024*. Washington, D.C.: USDA, 2024. Disponível em: <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/citrus.pdf>.

UMESHA, S. Phenylalanine ammonia lyase activity in tomato seedlings and its relationship to bacterial canker disease resistance. **Phytoparasitica**, Best Dagan, v.34,n.1, p.68-71, 2006.

URBAN, L., LAURI, F., HDECH, B., & AARROUF, J. Prospects for Increasing the Efficacy of Plant Resistance Inducers Stimulating Salicylic Acid. **Agronomy**, 12, 1-10, 2022.

WANG, Zhenshuo; SUI, Yuan; LI, Jishun; TIAN, Xiaoli; WANG, Qi. Biological control of postharvest fungal decays in citrus: a review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 62, n. 4, p. 861-870, 2022.

WANG, D., & SHANG, K. Isoborneol as a natural sporulation quenching agent to control *Aspergillus flavus*. **Natural Product Research**, 37, 2737-2741, 2022.

WANG, Haiyang; PENG, Hui; LI, Wenjuan; CHENG, Peng; GONG, Maoqing. The toxins of *Beauveria bassiana* and the strategies to improve their virulence to insects. **Frontiers in Microbiology**, v. 12, 2021.

WEI, T. I. A. N.; CHEN, C. H. E. N. Hui; SONGHUA, Y. U. "γ-Aminobutyric acid delays senescence of winter jujube fruit by regulation of reactive oxygen species metabolism and phenylpropanoid pathway." **China Food Additives**, v. 33, n. 12, 2022.

WISNIEWSKI, M.; DROBY, S. The postharvest microbiome: the other half of sustainability. **Biological Control**, v. 137, p. 104025, 2019.

VASQUES, N. C.; NOGUEIRA, M. A.; HUNGRIA, M. Increasing Application of Multifunctional *Bacillus* for Biocontrol of Pests and Diseases and Plant Growth Promotion: Lessons from Brazil. **Agronomy**, v. 14, n. 8, 2024.

VILLARROEL, C.; ALBORNOZ, K. Fisiología de la maduración y manejo en postcosecha de frutilla chilena (*Fragaria chiloensis*). **Chilean Journal of Agricultural & Animal Sciences**, v. 40, n. 1, 2024.

VITTORELLO, Julio Cesar. Fungicida biológico à base de *Saccharomyces cerevisiae* no controle de ferrugem asiática e rendimento da soja. 2022. 65 f. **Trabalho de conclusão de curso** (Graduação em Agronomia) – Universidade Federal da Fronteira Sul, Erechim, 2022.

VERO, S.; GARMENDIA, G.; ALLORI, E.; SANZ, J.; GONDA, M.; ALCONADA, T.; CAVELLO, I.; DIB, J.; DÍAZ, M.; NALLY, C.; PIMENTA, R.; DA SILVA, J.; VARGAS, M.; ZACCARI, F.; WISNIEWSKI, M. Microbial Biopesticides: Diversity, Scope, and Mechanisms Involved in Plant Disease Control. **Diversity**, 2023.

YU, Y.; GUI, Y.; LI, Z.; JIANG, C.; GUO, J.; NIU, D. Induced systemic resistance for improving plant immunity by beneficial microbes. **Plants**, v. 11, n. 3, p. 386, 2022.

YULIANTORO, I. D.; PRIHATININGRUM, A. E.; SUTARMAN. Exploration and inhibition test of *Penicillium* sp. in vitro by *Trichoderma*. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, v. 1242, p. 012012, 2023.

YILMAZ, T.; ATES, F.; TURAN, M.; HATTERMAN-VALENTI, H.; KAYA, O. Dynamics of sugars, organic acids, hormones, and antioxidants in grape varieties ‘Italia’ and ‘Bronx Seedless’ during berry development and ripening. **Horticulturae**, v. 10, n. 3, p. 229, 2024.

YANG, X., CHEN, L., YANG, Y., GUO, X., CHEN, G., XIONG, X., DONG, D., & LI, G. Transcriptome analysis reveals that exogenous ethylene activates immune and defense responses in a high late blight resistant potato genotype. **Scientific Reports**, 10, 1-13, 2020.

YANG, P.; ZHAO, Z.; FAN, J.; LIANG, Y.; BERNIER, M.; GAO, Y.; ZHAO, L.; OPIYO, S.; XIA, Y. *Bacillus proteolyticus* OSUB18 triggers induced systemic resistance against bacterial and fungal pathogens in *Arabidopsis*. **Frontiers in Plant Science**, v. 14, 2023.

YAO, S.; ZHOU, B.; DUAN, M.; CAO, T.; WEN, Z.; CHEN, X.; WANG, H.; WANG, M.; CHENG, W.; ZHU, H.; YANG, Q.; LI, Y. Combination of Biochar and *Trichoderma harzianum* Can Improve the Phytoremediation Efficiency of *Brassica juncea* and the Rhizosphere Micro-Ecology in Cadmium and Arsenic Contaminated Soil. **Plants**, v. 12, p. 2939, 2023.

ZIN, N. A.; BADALUDDIN, N. A. Biological functions of *Trichoderma* spp. for agriculture applications. **Annals of Agricultural Science**, v. 65, p. 168-178, 2020.

ZHANG, Xiong; DENG, Qian; WANG, Wenjun; ZHANG, Hongyan; CHEN, Ou; ZENG, Kaifang. Epsilon-poly-l-lysine increases disease resistance of citrus against postharvest green mold by activating amino acid metabolism and phenolic compounds biosynthesis. **Food Quality and Safety**, v. 7, n. 1, p. 1–12, 2023.

ZHANG, N.; WANG, Z.; SHAO, J.; XU, Z.; LIU, Y.; XUN, W.; MIAO, Y.; SHEN, Q.; ZHANG, R. Biocontrol mechanisms of *Bacillus*: Improving the efficiency of green agriculture. **Microbial Biotechnology**, v. 16, p. 2250-2263, 2023.

ZHANG, H.; AHIMA, J.; YANG, Q.; ZHAO, L.; ZHANG, X.; ZHENG, X. A review on citrinin: its occurrence, risk implications, analytical techniques, biosynthesis, physiochemical properties and control. **Food Research International**, v. 141, p. 110075, 2021.

ZHU, M.; ZHANG, W.; DUAN, X.; YAN, S.; CAI, Y.; GONG, S.; FAHAD, S.; QIU, Z. Biocontrol potential of *Cladosporium sphaerospermum* against the wheat powdery mildew fungus *Blumeria graminis* f. sp. tritici. **Plant Disease**, v. 108, p. 2983-2988, 2024.

ZEHRA, A.; RAYTEKAR, N. A.; MEENA, M.; SWAPNIL, P. Efficiency of microbial bio-agents as elicitors in plant defense mechanism under biotic stress: A review. **Current Research in Microbial Sciences**, v. 2, p. 100054, 2021.

ZHANG, M.; ZHANG, S. Mitogen-activated protein kinase cascades in plant signaling. **Journal of Integrative Plant Biology**, v. 64, n. 2, p. 301-341, 2022.