



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE ENGENHARIA AGRÔNOMICA



MARIA CLARA CHIGNOLLI

EFEITO DE ÓLEOS ESSENCIAIS NA INIBIÇÃO *in vitro* DE *Geotrichum citri-aurantii*

ARARAS – SP

2026



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE ENGENHARIA AGRÔNOMICA



MARIA CLARA CHIGNOLLI

EFEITO DE ÓLEOS ESSENCIAIS NA INIBIÇÃO *in vitro* DE *Geotrichum citri-aurantii*

Trabalho Final de Graduação apresentado
ao Departamento de Biotecnologia e de
Produção Vegetal e Animal do Centro de
Ciências Agrárias da Universidade Federal
de São Carlos, para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Agrônômica.

Orientador: Prof^o Dr^o Evandro Henrique
Schinor

ARARAS – SP

2026

Chignolli, Maria Clara

Efeito de óleos essenciais na inibição in vitro de
Geotrichum citri-aurantii / Maria Clara Chignolli -- 2026.
57f.

TCC (Graduação) - Universidade Federal de São Carlos,
campus Araras, Araras

Orientador (a): Evandro Henrique Schinor

Banca Examinadora: Andreza Bonetto Zunkeller, Ana
Carolina Costa Arantes

Bibliografia

1. Citricultura. 2. Óleos essenciais. 3. Controle
alternativo. I. Chignolli, Maria Clara. II. Título.

Ficha catalográfica desenvolvida pela Secretaria Geral de Informática
(SIn)

DADOS FORNECIDOS PELO AUTOR

Bibliotecário responsável: Maria Helena Sachi do Amaral - CRB/8
7083

*Dedico este trabalho aos meus pais,
pelo amor incondicional e por nunca terem
deixado de acreditar em mim.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Evandro Henrique Schinor e à minha coorientadora Me. Andreza Bonetto Zunkeller por todos os ensinamentos, pelo apoio constante e, sobretudo, pela paciência e dedicação com que me acompanharam ao longo desta jornada.

Ao Centro de Citricultura “Sylvio Moreira”, pelo suporte disponibilizado durante a realização deste trabalho.

À Dra. Carmen Lucia Queiroga e ao Centro Pluridisciplinar de Pesquisas Químicas, Biológicas e Agrícolas (CPQBA/UNICAMP), pelo auxílio na análise cromatográfica dos óleos essenciais.

À Universidade Federal de São Carlos e a todos os professores que, de alguma forma, contribuíram para a minha formação, expresso minha sincera gratidão.

Ao Laboratório de Nematologia e ao Grupo de Estudos FRUTINEMA, pela parceria, pelos ensinamentos e pela troca de experiências que enriqueceram cada etapa deste processo.

Às minhas colegas de laboratório, pela amizade e comprometimento de cada uma, mas principalmente pelos momentos de descontração que ficarão guardados com muito carinho.

Aos meus amigos Laura, José, Beatriz, Lucas, Isadora, Pedro e Maria Eduarda, obrigada por todo o apoio desde o início desta jornada, por acreditarem em mim mesmo nos momentos em que eu mesma duvidei, e por compreenderem, com tanto carinho, minhas ausências.

À minha dupla de graduação Pâmella Helenny Breviglieri, pelas incontáveis risadas, pelos ensinamentos trocados, pelo apoio em todos os momentos e, especialmente, por tornar todo esse processo mais leve e alegre.

Ao meu namorado, Lucas Rafael Nascimento, meu eterno agradecimento por ser meu porto seguro e por me mostrar, nos momentos mais difíceis, que eu era capaz. Obrigada por nunca ter soltado a minha mão e por ter me auxiliado em tantos momentos.

À minha família, Carlos Marcelo Chignolli, Graziela Edelaine Zampin Chignolli e Caio Eduardo Chignolli, que com tanto amor e dedicação estiveram ao meu lado em cada etapa desta jornada com paciência, apoio e o constante incentivo para que eu sempre buscasse a melhor versão de mim mesma.

*"Quando tentamos destacar qualquer coisa
por si mesma, descobrimos que ela está
ligada a todo o resto do universo"*

(John Muir, 1911)

RESUMO

A citricultura representa um segmento relevante do agronegócio brasileiro, com destaque para o cultivo da laranja. No entanto, apresenta elevada suscetibilidade a patógenos que comprometem a pós-colheita, como o fungo *Geotrichum citri-aurantii*, agente causal da podridão azeda, o que resulta em perdas significativas na qualidade e na comercialização dos frutos. No Brasil, ainda não há produtos registrados para o controle desse patógeno. Diante desse cenário, os produtos naturais têm sido investigados como uma alternativa para o controle da doença. Assim, o objetivo desta pesquisa foi avaliar a ação *in vitro* dos óleos essenciais de laranja Pêra, cravo-da-índia, canela e capim-limão no controle do fungo *G. citri-aurantii*. Testes *in vitro* foram realizados para avaliar o efeito antifúngico dos OEs extraídos de botões florais secos (cravo-da-índia), cascas de frutos maduros (laranja Pêra), casca de tronco seco (canela) e folhas frescas (capim-limão). As concentrações 0,25, 0,50, 1, 2, 4, 8 e 16 ($\mu\text{L mL}^{-1}$) incluindo uma testemunha negativa (sem adição de OE) foram incorporados ao meio de cultura Batata Dextrose Ágar, visando avaliar alterações morfológicas nas hifas, inibição do crescimento micelial, da esporulação e da germinação de conídios do fungo *G. citri-aurantii*. O experimento foi realizado em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial $4 \times 7 + 1$. Observou-se que, os OEs de cravo-da-índia, canela e capim-limão demonstraram potencial antifúngico satisfatório sobre o patógeno. O OE de canela destacou-se por apresentar elevada inibição do crescimento micelial (92,74%) mesmo na menor concentração testada ($0,25 \mu\text{L mL}^{-1}$), seguido pelo OE de cravo-da-índia (61,77%), enquanto o OE de capim-limão mostrou-se eficaz a partir de $1 \mu\text{L mL}^{-1}$ (70,52%). Em contrapartida, o OE de laranja Pêra não demonstrou capacidade antifúngica sobre o patógeno, induzindo seu desenvolvimento nas concentrações 8 e $16 \mu\text{L mL}^{-1}$ (-21,22% e -36,18%, respectivamente). Ademais, em relação a morfologia das hifas, os tratamentos com canela, capim-limão e laranja Pêra demonstraram alterações similares a vacuolização, desorganização citoplasmática, extravasamento de conteúdo celular e rompimento das hifas, reafirmando seu potencial antifúngico.

Palavras-chaves: Citricultura; Controle alternativo; *Citrus × sinensis*; *Cymbopogon citratus*; *Syzygium aromaticum*; *Cinnamomum verum*.

ABSTRACT

Citrus production represents an important sector of Brazilian agribusiness, with particular emphasis on orange cultivation. However, it is highly susceptible to pathogens that compromise postharvest quality, such as the fungus *Geotrichum citri-aurantii*, the causal agent of sour rot in citrus fruits, resulting in significant losses in fruit quality and marketability. In Brazil, there are currently no registered products for the control of this pathogen. Given this scenario, natural products have been investigated as an alternative for disease management. Therefore, the objective of this study was to evaluate the *in vitro* activity of the essential oils of Pêra orange, clove, cinnamon, and lemongrass against *G. citri-aurantii*. *In vitro* assays were conducted to evaluate the antifungal effect of essential oils extracted from dried flower buds (clove), mature fruit peels (Pêra orange), dried trunk bark (cinnamon), and fresh leaves (lemongrass). Concentrations of 0.25, 0.50, 1, 2, 4, 8, and 16 $\mu\text{L mL}^{-1}$, along with a negative control (without essential oil), were incorporated into Potato Dextrose Agar medium to evaluate changes in hyphal morphology, inhibition of mycelial growth, sporulation, and conidial germination of *G. citri-aurantii*. The experiment was conducted in a completely randomized design using a $4 \times 7+1$ factorial arrangement. The essential oils of clove, cinnamon, and lemongrass exhibited satisfactory antifungal activity against the pathogen. Cinnamon essential oil stood out by providing high inhibition of mycelial growth (92.74%) even at the lowest concentrations tested (0.25 $\mu\text{L mL}^{-1}$), followed by clove essential oil (61.77%), whereas lemongrass essential oil was effective from 1 $\mu\text{L mL}^{-1}$ onward (70.52%). In contrast, Pêra orange essential oil showed no antifungal activity against the pathogen, promoting its development at concentrations of 8 and 16 $\mu\text{L mL}^{-1}$ (−21.22% and −36.18%, respectively). Furthermore, regarding hyphal morphology, treatments with cinnamon, lemongrass, and Pêra orange essential oils induced alterations such as vacuolization, cytoplasmic disorganization, leakage of cellular contents, and hyphal rupture, reinforcing their antifungal potential.

Keywords: Citrus production; Alternative control; *Citrus × sinensis*; *Cymbopogon citratus*; *Syzygium aromaticum*; *Cinnamomum verum*.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Crescimento micelial e conídios de *Geotrichum citri-aurantii* em meio batata dextrose ágar após sete dias de cultivo. (A) Frente da placa de Petri. (B) Conídios observados em lente objetiva de 40x. Escala = 20µm..... 31
- Figura 2.** Porcentagem de inibição do crescimento micelial (PICM) de *Geotrichum citri-aurantii*, em diferentes doses (0,25, 0,50, 1, 2, 4, 8 e 16 µL mL⁻¹) de OEs de canela (CA), capim-limão (CL), cravo-da-índia (CR) e laranja Pêra (LP). Médias seguidas da mesma letra minúscula (dentro da mesma dose) e maiúscula (dentro do mesmo óleo essencial) não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade..... 35
- Figura 3.** Representação visual do crescimento micelial, *in vitro*, de *Geotrichum citri-aurantii* sob diferentes doses (0,25, 0,50, 1, 2, 4, 8, 16 µL mL⁻¹) de OEs de canela, capim-limão, cravo-da-índia, laranja Pêra e testemunha. Fonte: autor, 2025. 36
- Figura 4.** Índice de velocidade do crescimento micelial de *Geotrichum citri-aurantii*, em diferentes doses (0,25, 0,50, 1, 2, 4, 8 e 16 µL mL⁻¹) de OEs de canela, capim-limão, cravo-da-índia e laranja Pêra..... 38
- Figura 5.** Número de esporos/ mL e porcentagem de germinação de *Geotrichum citri-aurantii*, *in vitro*, sob diferentes concentrações (0,25, 0,50, 1, 2, 4, 8 e 16 µL mL⁻¹) dos OEs de canela, capim-limão, cravo-da-índia e laranja Pêra..... 40
- Figura 6.** Análise morfológica das hifas de *Geotrichum citri-aurantii* observados em lente objetiva de 40x. (A) Testemunha. (B) Vacúolos e desorganização celular encontrado no OE de laranja Pêra. (C) Extravasamento citoplasmático encontrado no OE de cravo-da-índia. (D) Rompimento da hifa observada no OE de cravo-da-índia. Escala = 20µm. 44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Composição química de óleos essenciais de canela, capim-limão, cravo-da-índia e laranja Pêra, extraídos por hidrodestilação.....	32
Tabela 2. Índice de velocidade do crescimento micelial de <i>Geotrichum citri-aurantii</i> , <i>in vitro</i> , sob diferentes doses (0,25, 0,50, 1, 2, 4, 8 e 16 $\mu\text{L mL}^{-1}$) de OEs de quatro espécies vegetais, junto com a testemunha (0 $\mu\text{L mL}^{-1}$).	38
Tabela 3. Número de esporos/mL e germinação de <i>Geotrichum citri-aurantii</i> , <i>in vitro</i> , sob diferentes concentrações (0,25, 0,50, 1, 2, 4, 8 e 16 $\mu\text{L mL}^{-1}$) dos OEs de canela, capim-limão, cravo-da índia e laranja Pêra, junto com a testemunha.	41

Sumário

1. INTRODUÇÃO.....	12
2. OBJETIVOS.....	14
2.1. OBJETIVO GERAL.....	14
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	14
3. REVISÃO DE LITERATURA	15
3.1. PODRIDÃO AZEDA	15
3.2. ÓLEOS ESSENCIAIS E SUA ATIVIDADE ANTIMICROBIANA.....	17
3.2.1 Óleo Essencial de Canela	19
3.2.2 Óleo Essencial de Capim-Limão.....	21
3.2.3 Óleo Essencial de Cravo-da-Índia	23
3.2.4 Óleo Essencial de Laranja Pêra	25
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	27
4.1. LOCAL DO EXPERIMENTO.....	27
4.2. ORIGEM E CULTIVO DE FUNGO <i>Geotrichum citri-aurantii</i>	27
4.3. ANÁLISE MORFOLÓGICA DO <i>Geotrichum citri-aurantii</i>	27
4.4. EXTRAÇÃO DOS ÓLEOS ESSENCIAIS	28
4.5. ANÁLISE CROMATOGRÁFICA DOS ÓLEOS ESSENCIAIS	28
4.6. AÇÃO DOS OEs NO CONTROLE <i>in vitro</i> DE <i>Geotrichum citri-aurantii</i>	29
4.7. ANÁLISE DOS DADOS.....	30
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	31
5.1. ANÁLISE MORFOLÓGICA DO <i>Geotrichum citri-aurantii</i>	31
5.2. ANÁLISE CROMATOGRÁFICA DOS ÓLEOS ESSENCIAIS	31
5.3. AÇÃO DOS OEs NO CONTROLE <i>in vitro</i> DE <i>Geotrichum citri-aurantii</i>	34
6. CONCLUSÃO.....	44
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	45

1. INTRODUÇÃO

A citricultura brasileira desempenha papel fundamental na economia nacional, sendo responsável tanto pelo abastecimento do mercado interno quanto pela expressiva participação no mercado externo. Segundo a FAO (2025), em 2024 o Brasil se destacou como o segundo maior produtor mundial de citros com uma produção em torno de 18,5 milhões de toneladas, sendo referência mundial na produção de laranjas com aproximadamente 15,7 milhões de toneladas. O cinturão citrícola de São Paulo e do Triângulo Mineiro produziram aproximadamente 231 milhões de caixas com 40,8 quilos de laranja no ano de 2025. Ademais, o estado de São Paulo é o maior responsável pela produção e exportação de suco de laranja, no qual durante a safra 2024/25 cerca de 703,2 mil toneladas de FCOJ (*Frozen Concentrated Orange Juice*) foram produzidas (Fundecitrus, 2026; CitrusBR, 2025). No cenário internacional, em 2024, a produção de citros foi liderada por três principais países, sendo eles a China, Brasil e Índia. A produção anual global gira em torno de 155 milhões de toneladas, das quais aproximadamente 45% correspondem a laranjas, 30% a tangerinas e clementinas, 15% a limas e limões e 6% a pomelos e toranjas (FAO, 2025).

Nesse contexto, esses frutos pertencem ao gênero *Citrus* e família Rutaceae, sendo o maior grupo hortícola comercializado mundialmente. As principais espécies com importância econômica são laranjas, limões, limas, tangerinas, toranjas e pomelos. Os citros são muito apreciados pelo seu sabor e perfil nutritivo, sendo conhecidas por cores que variam entre verde, amarela e laranja para expressar seu grau de maturidade, podem ser doces a ácidos e exalam um aroma característico. Além disso, apresentam substâncias biologicamente ativas que podem auxiliar em processos metabólicos no organismo, incluindo ação antimicrobiana, antioxidante e inseticida (Girardi *et al.*, 2021; Hussain *et al.*, 2021; Haro-González *et al.*, 2021).

Os citros possuem elevada suscetibilidade a diversas pragas e doenças, que causam prejuízos significativos tanto na produção quanto na pós-colheita. Desse modo, observa-se um aumento contínuo na busca por técnicas de manejo capazes de mitigar esses problemas fitossanitários, visando garantir maior produtividade e qualidade dos frutos destinados à comercialização. Dentre as doenças na pós-colheita, a podridão azeda destaca-se pela sua elevada importância para a citricultura, sendo relatada em praticamente todas as regiões produtoras de citros no mundo. Essa doença ocasiona perdas expressivas de frutos, que variam de 25% a 50% da produção total, impactos econômicos relevantes e, no caso das exportações, pode comprometer a competitividade, levando importadores a buscar outros fornecedores (Zacarias *et al.*, 2020; Moura *et al.*, 2024).

A podridão azeda dos citros é causada pelo fungo *Geotrichum citri-aurantii*, um patógeno de solo que pode ser disseminado pela água, animais, maquinários, equipamentos contaminados e partículas de solo transportadas pelo vento. A infecção ocorre principalmente por meio de ferimentos nos frutos durante a colheita e o transporte, favorecendo o rápido desenvolvimento da doença em condições ideais de temperatura (28 a 30°C) e umidade (80%) (Oliveira *et al.*, 2016; Paes, 2016; Silva, 2022). Por ocasionar o rápido apodrecimento dos frutos, a podridão azeda representa um importante problema, especialmente para aqueles destinados ao armazenamento prolongado e à exportação. Atualmente, no Brasil não há nenhum fungicida registrado para essa doença pós-colheita. Assim, diante da ausência de produtos eficazes e da relevância econômica da doença, torna-se essencial a busca por métodos alternativos para o manejo da podridão azeda (Oliveira *et al.*, 2016; Silva, 2022; Klein e Kupper, 2018; Cruz *et al.*, 2025).

Diante disso, os óleos essenciais (OEs) são produtos naturais que vêm sendo estudados como alternativas sustentáveis devido as suas características eficazes e de baixo risco de contaminação (OuYang *et al.*, 2019; Souza *et al.*, 2019). Em sua composição, estão presentes misturas complexas de metabólitos secundários que apresentam propriedades antimicrobianas, alelopáticas, antioxidantes e biorreguladoras. Essa capacidade antimicrobiana pode estar relacionada com a hidrofobicidade dos OEs, permitindo que o óleo atue com os lipídeos da membrana celular fúngica, afetando sua permeabilidade e estrutura (Antunes e Cavaco, 2010). Sendo assim, os OEs podem ser considerados agentes fungicidas e fungistáticos dependendo da forma como são utilizados (Maia *et al.*, 2015; Costa *et al.*, 2011). A característica antifúngica, decorrente da composição química e dos compostos voláteis aromáticos, é provocada por ações diretas e indiretas, tais como a inibição do crescimento micelial, germinação dos esporos e indução de mecanismos de defesa na planta (Morais, 2009; Zunkeller *et al.*, 2026).

Os óleos essenciais podem ser extraídos de plantas medicinais, condimentares e aromáticas através das folhas, flores, frutos, sementes e cascas. Essa extração é realizada através da hidrodestilação, na qual a planta aromática fica em contato com água fervente e o óleo essencial é levado pelo vapor de água a um compartimento onde será separado. Algumas espécies de plantas como *Citrus × sinensis* (laranja Pêra), *Cymbopogon citratus* (capim limão), *Syzygium aromaticum* (cravo-da-índia) e *Cinnamomum verum* (canela) podem apresentar características fungitóxicas e antifúngicas, inibindo o desenvolvimento de fungos. Dessa forma, Santos *et al.* (2021) ao avaliarem o efeito dos OEs de capim-limão e cravo, observaram que em todas as concentrações testadas (0,25%, 0,5%, 0,75% e 1,0%) os óleos inibiram completamente

o crescimento fúngico e a esporulação do fungo *P. sojae*. Sharma e Tripathi (2006), em seu estudo concluíram que o OE extraído de *Citrus × sinensis* foi capaz de apresentar características fungitóxicas contra dez patógenos fúngicos pós-colheita, interferindo na germinação dos esporos e causando alterações morfológicas significativas nas hifas. Kamsu *et al.* (2019), ao testarem o OE de canela contra fungos associados à podridão da coroa da bananeira, observaram inibição total da germinação dos conídios, evidenciando seu potencial como um potente fungicida natural (Busato *et al.*, 2014; Santos *et al.*, 2021; Moraes, 2009; Sharma e Tripathi, 2006; Costa *et al.*, 2011; Ascensão e Filho, 2013; Kamsu *et al.*, 2019).

Ademais, estudos *in vitro* permitem avaliar, em condições controladas, o comportamento dos fungos e a atividade antifúngica dos OEs, fornecendo informações importantes para a identificação dos óleos mais promissores e para a compreensão de seus mecanismos de ação. Com base nos benefícios dos OEs, surgiu o objetivo deste trabalho, que visa estudar o efeito dos OEs de canela, capim-limão, cravo-da-índia e laranja Pêra, sobre o desenvolvimento *in vitro* do fungo *Geotrichum citri-aurantii*, assegurando o controle da podridão azeda.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

O objetivo deste trabalho foi estudar a atividade inibitória, *in vitro*, dos óleos essenciais de canela, capim-limão, cravo-da-índia e laranja Pêra, contra o fungo *Geotrichum citri-aurantii*.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar os efeitos das diferentes concentrações dos OEs na inibição *in vitro* do *Geotrichum citri-aurantii*.
- Avaliar a ação dos óleos essenciais na redução do crescimento micelial, esporulação, germinação dos esporos e morfologia das hifas do fungo *Geotrichum citri-aurantii*.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. PODRIDÃO AZEDA

Os citros são severamente afetados por doenças de pós-colheita, o que ocasiona declínio na quantidade e na qualidade dos frutos durante o armazenamento. A incidência e a severidade dessas doenças são influenciadas por diversos fatores, incluindo características do fruto, do patógeno, das condições climáticas e do manejo adotado na pós-colheita. Dessa forma, a podridão azeda também conhecida como podridão ácida dos citros, está entre as doenças mais devastadoras da pós-colheita, prejudicando a comercialização dos produtos *in natura* (Cruz *et al.*, 2025; François *et al.*, 2022). Juntamente com os bolores azul (*Penicillium italicum*) e verde (*P. digitatum*), as podridões pedunculares (*Lasiodiplodia theobromae* e *Phomopsis citri*) e a antracnose (*Colletotrichum gloeosporioides*), configuram-se como as principais doenças que afetam frutos armazenados (Fischer, Lourenço e Amorim, 2008; Moura *et al.*, 2024).

Essa doença é causada por um fungo leveduriforme, pertencente ao filo Ascomycota, classe Saccharomycetes, ordem Saccharomycetales e família Dipodascaceae. Sua reprodução é classificada como mista, na qual em seu estado assexual (anamórfico) é denominado de *Geotrichum citri-aurantii* (Ferraris) Cif. & F. Cif., enquanto para seu estado sexual (teleomórfico), recebe a denominação de *Galactomyces citri-aurantii* E. E. Butler (Brown e Eckert, 2000). Porém, a forma mais comumente encontrada é a assexual (Oliveira *et al.*, 2016). Este patógeno apresenta um micélio hialino, com hifas septadas que se ramificam de maneira dicotômica e com largura que varia de 7 a 11 µm. Os conídios são formados através da segmentação das hifas e apresentam tamanhos variados, sendo os mais comuns de 3 a 6 µm por 6 a 12 µm. Já a forma dos conídios é descrita como uma variação de cilíndrica a elipsoide. Ademais, a presença dos ascósporos é incomum, os quais podem apresentar cor palha e formato subgloboso a elíptico, tamanho de 6 a 9 µm por 7 a 10 µm. Além disso, o fungo se desenvolve de maneira satisfatória em meio de cultura batata-dextrose-ágar (BDA), evidenciando colônias branco-acinzentadas e membranosas, com cheiro pútrido (Hoog *et al.*, 1986; Oliveira *et al.*, 2016).

O *G. citri-aurantii* pode ser encontrado em todas as regiões citrícolas do mundo, ocorrendo tanto no solo quanto nos frutos. Em plantas cítricas, concentra-se predominantemente até um metro de altura, estando mais presente nas regiões próximas ao solo e de resíduos vegetais. O fungo caracteriza-se por ser polífago e saprófita, sendo seus conídios disseminados principalmente por partículas de água, as quais podem ser transportadas pela

chuva, vento e sistemas de irrigação (Oliveira *et al.*, 2016; Silva, 2022). O patógeno coloniza o hospedeiro por meio de ferimentos na superfície dos frutos, e a partir disso, secreta enzimas extracelulares, como poligalacturonase (PG), polimetilgalacturonase (PMG), celulase (Cx), transeliminase de ácido poligalacturônico (PGTE) e pectinmetiltranseliminase (PMTE), que promovem a degradação da parede celular e a acidificação do pH do tecido hospedeiro, tornando-o mais suscetível à ação do fungo. A disseminação pode ser de forma direta durante o transporte ou armazenamento, através do contato entre frutos sadios e infectados, ou de maneira indireta, pela reutilização de sacolas, implementos agrícolas, caixas e containers contaminados (Zhao *et al.*, 2020; Silva, 2022; Oliveira *et al.*, 2016).

A faixa de temperatura de desenvolvimento do fungo é entre 10°C a 40°C, porém entre 28 a 30°C e com umidade relativa acima de 80%, o crescimento do patógeno é estimulado. No cultivo *in vitro*, a temperatura ideal para o crescimento e germinação fúngica é de 25°C. Após a colonização no hospedeiro, conforme a doença se agrava, observa-se que há o desenvolvimento de uma lesão mole de coloração marrom-clara no tecido afetado, com a desintegração da epiderme, formação de micélio branco na superfície do fruto e forte odor pútrido em decorrência da secreção das enzimas extracelulares. O apodrecimento completo da fruta pode levar de quatro a cinco dias sob as condições favoráveis do patógeno (Silva, 2022; Oliveira *et al.*, 2016; Thomidis *et al.*, 2021).

Atualmente, o controle da podridão azeda baseia-se principalmente em práticas de manejo cultural e medidas preventivas, com o objetivo de reduzir as fontes de inóculo e a incidência da doença. No entanto, essas estratégias nem sempre são suficientes, especialmente quando os frutos já se encontram contaminados durante a fase de armazenamento. Nesse contexto, o tratamento com fungicidas destaca-se como o método mais utilizado e eficaz para o controle de infecções de campo na pós-colheita, sendo comumente empregados compostos como imazalil, tiabendazol, pirimetanil e fludioxonil (Klein e Kupper, 2018; Moura *et al.*, 2024).

Além disso, compostos como guazatina, propiconazol e O-fenilfenato de sódio (SOPP) também apresentam eficácia no controle da podridão azeda. Entretanto, em diversos países, muitos desses fungicidas não possuem registro para uso, como ocorre no Brasil. Desse modo, a limitação e, por vezes, a indisponibilidade de produtos eficazes no mercado configuram um desafio ao longo da cadeia de comercialização dos citros. Assim, evidencia-se a necessidade do desenvolvimento de estratégias alternativas para o controle da podridão azeda. (Machado, 2018; Cruz *et al.*, 2025; Martins, Bicas e Moreira, 2021).

3.2. ÓLEOS ESSENCIAIS E SUA ATIVIDADE ANTIMICROBIANA

Os óleos essenciais (OEs) são metabólitos secundários provenientes de materiais vegetais, tais como cascas, folhas, flores, frutos, sementes, ramos e raízes, os quais são extraídos a partir da destilação ou prensagem, resultando em um composto volátil aromático. Eles atuam na defesa das plantas contra ataques de predadores, na atração de polinizadores e na proteção contra variações nas condições climáticas. Podem apresentar mudanças qualitativas e quantitativas em decorrência de fatores endógenos, como estágio fenológico da planta, e exógenos (bióticos e abióticos), como localização, nutrição, colheita, alterações climáticas e método de extração (Zunkeller *et al.*, 2026; Ji *et al.*, 2024).

De acordo com Steffens (2010), os OEs são provenientes de misturas complexas de hidrocarbonetos, contendo compostos orgânicos que são divididos em terpenos, aromáticos, alifáticos, além de álcoois, ácidos, cetonas, aldeídos, compostos nitrogenados e sulfurados (Ji *et al.*, 2024). São produzidos e armazenados em estruturas especializadas nas plantas, uma vez que são considerados compostos tóxicos para as células vegetais. Sendo assim, as plantas apresentam estruturas especializadas na secreção dos OEs, como tricomas glandulares, cavidades secretoras e idioblastos. Essas estruturas são essencialmente encontradas nas folhas, nas raízes, caules, pericarpo e casca. Além disso, essas misturas complexas apresentam diversas atividades biológicas, incluindo ação inseticida, herbicida, antifúngica, antibacteriana, antioxidante, anticancerígena, entre outras. Dessa forma, também se destacam como potenciais matérias-primas para aplicação nas indústrias farmacêutica e cosmética (Prince, Vieira e Freitas, 2010).

No cenário internacional, em 2021, o mercado de OE lucrou em torno de US\$ 8 bilhões, com estimativa crescente para a produção de 2026. Entre os principais países envolvidos, estão os Estados Unidos, França, China, Índia e Brasil. Nesse contexto, em 2024, o Brasil cresceu em 22% nas exportações de OEs, atingindo cerca de 583.394 mil dólares. Ademais, em relação ao valor exportado, o país ficou em terceiro lugar no ranking mundial, correspondendo a 2,9% do total de exportações ocorridas no ano de 2024, perdendo apenas para Índia e Estados Unidos (ITC, 2025). As quantidades de OEs exportadas pelo Brasil ficaram em uma faixa de 25 a 31 mil toneladas, na qual, durante o ano de 2020, esse valor chegou a 36,6 mil toneladas. Os principais OEs comercializados pelo país são os de laranja, limão siciliano, lima ácida Tahiti, eucalipto, menta e citronela. Além disso, vale ressaltar que a balança comercial para os OEs é superavitária, ou seja, os valores das exportações superam os das importações, proporcionando um saldo positivo e evidenciando o potencial do país neste comércio (Bizzo e Rezende, 2022).

Como mencionado anteriormente, além das atividades biológicas resultantes do sinergismo entre os compostos que constituem os OEs, esses também apresentam caráter hidrofóbico. Essa propriedade permite sua difusão nos lipídios das membranas celulares dos microrganismos, comprometendo sua integridade estrutural e levando à desorganização e, conseqüentemente, à morte celular (Antunes e Cavaco, 2010). Diante disso, as propriedades antimicrobianas dos OEs estão diretamente relacionadas à sua composição química, às condições ambientais e às características do microrganismo alvo. Esses fatores influenciam sua eficácia, podendo resultar na redução do crescimento, na interrupção do metabolismo celular e, conseqüentemente, na morte do organismo (Moraes, 2009; Zunkeller *et al.*, 2026; Moura *et al.*, 2024). Ademais, os OEs são capazes de induzir mecanismos de resistência nas plantas por meio da ativação de enzimas como peroxidase, polifenoloxidase e fenilalanina amônia-liase. Esse processo contribui para o fortalecimento das defesas vegetais, reduzindo a necessidade de aplicação de agrotóxicos (Stangarlin *et al.*, 2011). Estudos recentes demonstraram que OEs de canela, cravo e cardamomo apresentaram efeito supressor na severidade e incidência da podridão dos frutos causada pelo fungo *Alternaria alternata* (Hanif *et al.*, 2025). Segundo Chen *et al.* (2019), o OE de cravo também foi eficaz contra o mofo azul, provocado pelo fungo pós-colheita *Penicillium italicum*, o qual reduziu significativamente o diâmetro das lesões e a severidade da doença em frutos de citros. Ademais, Pemural *et al.* (2017), observaram que o vapor do OE de tomilho inibiu o crescimento micelial de *Colletotrichum gloeosporioides* e *Lasiodiplodia theobromae*, além de promover o aumento da atividade de enzimas de defesa. Dessa forma, nota-se as propriedades antifúngicas dos OEs, que podem ser consideradas alternativas promissoras no controle de patógenos agrícolas.

Os OEs são constituídos por diversos compostos com atividade antifúngica, como limoneno, timol, linalol, citral, carvacrol, cinamaldeído, eugenol, vanilina e alicina, entre outros. Essas substâncias podem atuar na redução do crescimento fúngico, na ativação de enzimas de defesa, na diminuição da deterioração dos frutos e na prevenção de infecções (Ji *et al.*, 2024; Kara, 2024). Kara (2024), em seu estudo, constatou que os OEs de manjerona e alecrim apresentaram ação fungicida sobre o fungo *Geotrichum candidum*, inibindo completamente seu desenvolvimento por meio da deformação das hifas, coagulação citoplasmática e vacuolização. Segundo Pemural *et al.* (2017), o modo de ação dos OEs também pode estar relacionado à inibição da germinação dos esporos, impedindo o avanço da doença. Zhou, Tao e Jia (2014), observaram que o citral inibiu completamente o crescimento micelial de *Geotrichum citri-aurantii*, demonstrando ação fungicida conforme aumentava a

concentração das doses. Barraqui *et al.* (2026), durante testes em frutos de mamão com nanoemulsão do OE de aroeira-vermelha contra *Colletotrichum plurivorum*, identificaram que mesmo em concentrações inferiores o OE promoveu inibição completa do crescimento fúngico. De acordo com Regnier *et al.* (2014), o OE de orégano foi o único, entre os 59 OEs testados, capaz de inibir totalmente o crescimento micelial e germinação dos esporos de *G. citri-aurantii*, o que pode ser explicado pela presença dos terpenos carvacrol e timol. Na mesma pesquisa, os autores evidenciaram que o limoneno, principal constituinte dos OEs de citros, foi capaz de inibir o crescimento de *Geotrichum citri-aurantii* em apenas 30%, apresentando eficácia significativamente inferior em comparação aos demais compostos avaliados. Ademais, o OE de capim-limão também apresentou inibição completa da germinação dos esporos de *G. citri-aurantii* (Regnier *et al.*, 2014).

Com base nesses resultados, evidencia-se a capacidade e a eficiência dos OEs como importantes agentes fungicidas. Esses compostos apresentam efeitos promissores no controle de fitopatógenos pós-colheita, especialmente contra *Geotrichum citri-aurantii*, para o qual ainda há limitações quanto aos métodos de controle plenamente eficazes. Frutos submetidos ao tratamento com OEs tendem a apresentar maior vida de prateleira e melhor qualidade, uma vez que esses compostos podem atuar sobre suas propriedades físico-químicas. Além disso, sua aplicação em escala comercial mostra-se viável, sobretudo devido à baixa toxicidade ambiental e ao potencial de contribuir para sistemas agrícolas mais sustentáveis (Zhao, Wang e Li, 2023; Hanif *et al.*, 2025).

3.2.1 Óleo Essencial de Canela

A canela (*Cinnamomum verum* L.) é uma especiaria pertencente à família Lauraceae, proveniente de uma árvore tropical amplamente conhecida e utilizada como tempero no mundo todo. Além dessa finalidade, o OE oriundo de sua casca pode ser empregado para fins medicinais, atuando em resfriados, dores musculares, controle da diabetes e no antienvelhecimento (Wu *et al.*, 2020; Mordor Intelligence, 2026). Em 2024, o maior produtor mundial foi a China, com uma produção em torno de 94 mil toneladas, seguida pelo Vietnã e Indonésia (FAO, 2025). O mercado da canela atingiu USD 1,1 bilhão em 2025, o qual vem sendo impulsionado pelo uso doméstico, industrial, cosmético e terapêutico. Em relação a América do Sul, em 2025, o aprimoramento de rotas comerciais mais eficientes otimizou a importação desse produto, evitando perdas de qualidade e elevando a expansão desse mercado (Mordor Intelligence, 2026).

Os componentes químicos descritos para o OE de canela incluem 43 monoterpenos, 83 sesquiterpenoides e 55 diterpenos, sendo os principais constituintes o cinamaldeído, o acetato de cinamila, o ácido cinâmico, o eugenol e o linalol. Essa composição confere ao OE propriedades antimicrobiana, antioxidante, anticancerígena, anti-biofilme, inseticida e citotóxica (Phu *et al.*, 2022; Beniaich *et al.*, 2023). Nesse contexto, a atividade antimicrobiana do OE de canela pode estar associada à ação do cinamaldeído, seu principal composto. Esse componente atua na perturbação da membrana celular, na inibição da ATPase e de enzimas relacionadas a citocinas, além de interferir na biossíntese da parede celular. Dessa forma, esse composto promove alterações morfológicas e estruturais que se mostram irreversíveis e deletérias (OuYang *et al.*, 2019). De acordo com OuYang *et al.* (2019), a aplicação de cinamaldeído sobre o fungo *Geotrichum citri-aurantii* resultou em alterações morfológicas significativas nas hifas, que passaram a apresentar superfícies rasgadas e micélio achatado, distorcido e encolhido. Além disso, as hifas possuíam danos na parede e membrana celular, chegando a romper em algumas regiões. Alterações citoplasmáticas também foram identificadas, incluindo citoplasma denso e estruturas desorganizadas.

Xing *et al.* (2014), analisaram o efeito do OE de canela sobre *Fusarium verticillioides* em diferentes dosagens, constatando aumento proporcional da atividade inibitória à medida que as concentrações eram elevadas. Dessa forma, doses mais baixas apresentaram efeito fungistático, enquanto concentrações mais elevadas demonstraram ação fungicida. Neste mesmo estudo, os autores afirmaram que o aumento das doses do OE de canela também proporcionou um atraso na germinação dos conídios. Ademais, o cinamaldeído foi avaliado quanto aos possíveis danos na morfologia do *F. verticillioides*, onde demonstrou hifas delgadas, enroladas, com depressões na superfície, além de crateras e rupturas na parede celular. A característica inibitória dos OEs pode estar relacionada não apenas aos seus compostos majoritários, mas também ao sinergismo entre todos os componentes presentes, incluindo os minoritários (Kamsu *et al.*, 2019).

Durante pesquisa sobre patógenos fúngicos na pós-colheita, Allagui, Moumni e Romanazzi (2024), identificaram que o OE de canela demonstrou elevada atividade inibitória contra *A. alternata*, *B. cinerea* e *P. italicum*, reduzindo satisfatoriamente o crescimento micelial dos patógenos. Segundo Zulu *et al.* (2023), o OE de canela reduziu completamente a esporulação do fungo *P. digitatum*, provocando deformação severa e colapso dos esporos. Colín-Álvarez *et al.* (2025) em estudos conduzidos com *Rizhopus stolonifer*, avaliaram a aplicação de um revestimento comestível contendo OE de canela em morangos. Durante o

armazenamento a 8 °C, observou-se redução significativa da infecção fúngica, mesmo após períodos prolongados. Desse modo, os autores concluíram que o sinergismo entre a temperatura de armazenamento e a concentração do OE constitui uma estratégia importante para o controle de infecções por *R. stolonifer*, configurando-se como uma alternativa promissora para a conservação de frutas na pós-colheita.

Wang *et al.* (2021), buscaram identificar os possíveis mecanismos de ação do cinamaldeído contra *Phytophthora capsici*. A pesquisa sugeriu que o tratamento com cinamaldeído promoveu a desregulação do metabolismo de ácidos graxos, polissacarídeos e leucina no patógeno. Dessa forma, esse composto comprometeu a homeostase metabólica, resultando na morte celular. Pan *et al.* (2025), explica que esse produto natural interfere na função mitocondrial, induz o acúmulo de espécies reativas de oxigênio e reduz as taxas de glicose intracelulares, levando a apoptose celular.

3.2.2 Óleo Essencial de Capim-Limão

O capim-limão (*Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf) é uma gramínea nativa do sudoeste asiático pertencente à família Poaceae. É classificado como uma erva perene de regiões tropicais, formando touceiras conforme se desenvolve. Entre suas atribuições, é usado para fins medicinais e seu chá atua no tratamento de problemas gastrointestinais, gripes e pneumonia, apresentando propriedades anticépticas, analgésicas, inseticidas, antimicrobianas, anticancerígenas e anti-inflamatórias. O OE, extraído das folhas, é muito utilizado nas indústrias alimentícias, perfumarias e cosméticos (Negrelle e Gomes, 2007; Lawal *et al.*, 2017). Essa planta é cultivada em diversos países ao redor do mundo, como Brasil, Equador, China, França, Cuba, Guatemala, Argentina, entre outros. No mercado global, em 2025, o OE de capim-limão foi avaliado em US\$ 60,57 milhões, no qual a Europa teve uma participação de 41,31%. Em relação a América do Sul, o mercado apresenta crescimento moderado em decorrência da procura pelo setor de cosméticos. No Brasil, a produção concentra-se nas regiões Sul e Sudeste, com destaque para o estado do Paraná que produz produtos especiais de alto valor agregado (Gomes e Negrelle, 2015; Fortune Business Insights, 2026; Jesus, 2024).

O OE é composto majoritariamente por citral, cerca de 70% a 80%, além de uma mistura isomérica de neral, geranial, geraniol e limoneno (Gomes, 2015; Martins *et al.*, 2003). A atividade antimicrobiana do OE é atribuída principalmente ao citral, um terpenoide oxigenado que apresenta propriedades antifúngicas e antibacterianas (Gomes, 2015; Batt *et al.*, 1983). Dessa forma, os possíveis mecanismos da atividade antimicrobiana estão relacionados à

penetração e à perturbação da membrana celular, bem como à interferência no metabolismo celular. Além disso, a ação antifúngica do citral está associada a alterações morfológicas nas hifas, nas quais o comprometimento da membrana provoca extravasamento de conteúdos celulares, desequilíbrio osmótico e ruptura do citoplasma, resultando em danos severos e irreversíveis, seguidos pela morte do micélio (Zhou, Tao e Jia, 2014). Lou *et al.* (2024), constataram que, após a aplicação de citral, as hifas de *Alternaria alternata* passaram a apresentar superfícies contorcidas, murchas e ásperas, evidenciando alterações morfológicas significativas. Ademais, esse composto reduz o teor de lipídios, o que compromete ainda mais a integridade da membrana celular (Zhou, Tao e Jia, 2014).

Pesquisas têm demonstrado que o OE de capim-limão apresenta potencial inibitório contra *Colletotrichum gloeosporioides*, isolado de maracujazeiros e mamoeiros, além de *Botrytis cinerea*, importante patógeno do morangueiro (Carnelossi *et al.*, 2009; Anaruma *et al.*, 2010; Lorenzetti *et al.*, 2011). Isso evidencia a ação antifúngica do OE, atuando na redução do crescimento micelial, da esporulação e da germinação de esporos. Aquino *et al.* (2014) determinaram que o OE de *C. citratus* promoveu elevada inibição do crescimento micelial e da produção de conídios de *C. gloeosporioides*. Além disso, concentrações mais elevadas foram capazes de reduzir completamente a produção de esporos e a germinação do fungo. A redução da germinação de esporos constitui um mecanismo essencial no controle de doenças fúngicas, uma vez que corresponde à etapa inicial do processo de infecção. Dessa forma, para que um OE seja efetivamente eficiente, é fundamental que atue nas diferentes fases do desenvolvimento desses microrganismos (Aquino *et al.*, 2014).

De acordo com Gutiérrez-Pacheco *et al.* (2023), entre os mecanismos de ação do citral, pode-se afirmar seu comportamento se assemelha ao de outros aldeídos. Mesmo em baixas doses, os aldeídos podem realizar ligação cruzada de grupos amino na parede celular e no citoplasma, além de reduzir as enzimas encontradas na membrana citoplasmática. Além disso, em concentrações mais elevadas, é possível danificar o citoplasma, provocando coagulação e precipitação de seus componentes. Os autores também constataram que esse composto alterou os níveis de enzimas relacionadas à respiração, provocando a paralisação do metabolismo energético. Na análise contra *B. dothidea*, o citral se demonstrou eficaz na alteração morfológica das hifas, resultando em micélios distorcidos e perda de conteúdo celular (Gutiérrez-Pacheco *et al.*, 2023). Em outro estudo, o citral provocou danos as mitocôndrias de *P. digitatum*, levando a redução da matriz e aumento de mitocôndrias irregulares (Zheng *et al.*, 2015). Ademais, a combinação de compostos presentes no OE de capim-limão favorece a

ocorrência da peroxidação lipídica da membrana, levando ao vazamento e morte celular (Ju *et al.*, 2020).

Segundo Hu *et al.* (2025), o citral apresenta atividade antifúngica contra patógenos de pós-colheita, como *P. digitatum*, *P. italicum* e *G. citri-aurantii*. Nesse contexto, de forma dose-dependente, esse componente dos OE reduz o crescimento e o desenvolvimento dos fungos, além de controlar a incidência e a severidade das doenças, contribuindo para a manutenção da qualidade dos frutos. Pesquisas com *A. flavus*, indicam que o citral é capaz de interromper a síntese de micotoxinas produzidas por esse microrganismo, corroborando para o controle da ocorrência de contaminações (Li e Li, 2024; Tang *et al.*, 2018). Wuryatmo *et al.* (2014) utilizaram o citral em sua forma volátil como potencial agente no controle de doenças pós-colheita em laranja Bahia. Em testes *in vitro*, o composto foi capaz de inibir o desenvolvimento de *P. digitatum*, *P. italicum* e *G. citri-aurantii*.

3.2.3 Óleo Essencial de Cravo-da-Índia

Syzygium aromaticum (L) Merr. & L.M. Perry, conhecido como cravo-da-índia, é uma planta aromática de porte arbóreo da família Myrtaceae. É originário da Indonésia, mas seu cultivo também se concentra em países tropicais e subtropicais. O OE é obtido através dos botões florais e é comumente utilizado para fins medicinais, cosméticos, aromatizantes, alimentícios e perfumarias. Possui propriedades antissépticas, antioxidantes, bactericidas, fungicidas, parasitocidas e antimicóticas, além de ser considerado uma especiaria potente na conservação de alimentos (Affonso *et al.*, 2012; Haro-González *et al.*, 2021; Batiha *et al.*, 2020). O mercado mundial de cravo-da-índia foi estimado em USD 5,7 bilhões em 2025, impulsionado pela crescente preferência por conservantes e produtos naturais em diversos setores. A região da Ásia-Pacífico lidera esse mercado, com a Indonésia sendo a maior exportadora e responsável por 70% de toda receita produzida, seguida por países como Sri Lanka e China (Mordor Intelligence, 2025). No Brasil, seu cultivo limita-se ao estado da Bahia, produzindo cerca de 1.476 toneladas e gerando R\$ 23.157,00 (IBGE, 2017).

O OE de cravo-da-índia é fonte de diversas moléculas fenólicas, como ácidos hidroxibenzóicos, flavonóides, hidroxifenilpropenos, ácidos hidroxicinâmicos e eugenol, sendo este último o principal constituinte e responsável pela eficácia da atividade antimicrobiana (Batiha *et al.*, 2020). O eugenol, em relação a sua característica antifúngica, é capaz de deteriorar morfológicamente estruturas de células, interagir com a membrana citoplasmática, permear a membrana celular e reduzir sua integridade, resultando em extravasamento celular,

alteração no funcionamento das bombas de prótons e morte microbiana (Batiha *et al.*, 2020; Haro-González *et al.*, 2021). A ação fungitóxica pode estar correlacionada com a diminuição do diâmetro da hifa e de sua parede, a desorganização da estrutura mitocondrial e da parede celular (Santos *et al.*, 2007). Santos *et al.* (2007), mostra o efeito *in vitro* do OE de cravo contra *Fusarium oxysporum* e *Rhizoctonia solani*, evidenciando a completa capacidade inibitória contra os patógenos. Kara (2024), explica que as alterações estruturais provocadas pela ação dos OEs, estão diretamente relacionadas com o impacto dos principais componentes nas reações enzimáticas que regulam a síntese da parede celular dos patógenos, provocando os efeitos irreversíveis comentados anteriormente.

Regnier *et al.* (2014), ao testar diversos OEs e seus componentes, concluiu que o eugenol puro está entre os melhores antifúngicos analisados, controlando totalmente o fungo *Geotrichum citri-aurantii*. Silva *et al.* (2025), determinou que o OE de cravo-da-índia foi capaz de atrasar o desenvolvimento *in vitro* de *G. citri-aurantii* e o efeito antifúngico demonstrou-se relacionado com a dosagem utilizada, onde a porcentagem de inibição cresceu conforme o aumento da concentração do OE. Nesse contexto, Maní-Lopez, Cortés-Zavaleta e López-Malo (2021), explicam que os OEs atuam na inibição dos fungos por meio da redução da esporulação e danos celulares, o que causa coagulação e desnaturação de células. Com isso, impactam diretamente nas paredes e membranas celulares dos patógenos, resultando na modificação da fluidez da membrana plasmática, em vazamento de eletrólitos, alterações no metabolismo de proteínas e na concentração de íons de cálcio. Ademais, o mecanismo de ação do eugenol provoca desequilíbrios nas condições osmóticas da membrana e inativação de proteínas, reduzindo o desenvolvimento fúngico e levando à morte ou lise celular (Silva *et al.*, 2025).

Gull-e-laala, Irshad, Naz *et al.* (2024), conduziram avaliações *in vitro* e *in vivo* utilizando comprimidos de OEs encapsulados em sachês de polipropileno spunbond, visando a liberação controlada dos ativos antifúngicos. Os resultados evidenciaram que esse método promoveu redução significativa na germinação dos esporos do fungo, no diâmetro das lesões e na severidade da doença, além de aumentar a vida útil dos frutos durante o armazenamento. Os autores concluíram que essa forma de aplicação do OE configura-se como uma técnica segura e economicamente viável para o controle de fungos na pós-colheita.

Perumal *et al.* (2017) avaliou o efeito de vapores de OEs no controle de doenças pós-colheita em manga. Dentre os resultados obtidos, os autores concluíram que o OE de cravo é capaz de induzir atividade de enzimas de defesa nos frutos. Ademais, em experimento *in vitro*, o OE de cravo teve seu efeito antifúngico avaliado contra *Alternaria alternata*, *Fusarium*

chlamydosporum, *Helminthosporum oryzae* e *Rhizoctonia bataticola*, o qual através do método de difusão em ágar, demonstrou-se capaz de induzir a formação de halos de inibição nas culturas com os quatro fungos. Com base nos dados obtidos, evidenciou-se que a toxicidade do OE é dependente não apenas da concentração, mas também do tempo de exposição, uma vez que concentrações mais elevadas promovem a lise dos conídios de maneira mais rápida (Beg e Ahmad, 2002).

3.2.4 Óleo Essencial de Laranja Pêra

A laranja (*Citrus × sinensis* (L.) Osbeck) compõe à família Rutaceae e reúne o grupo das laranjas doces. A variedade “Pêra” é uma das principais cultivares produzidas, principalmente pelo elevado rendimento e qualidade do suco. É nativa da Ásia, com origem na China, mas atualmente é distribuída pelo pacífico e cultivada nas regiões quentes do globo. A laranjeira produz frutos carnosos do tipo baga denominados de hesperídios, os quais apresentam glândulas de OE em suas cascas (Favela-Hernández *et al.*, 2016; Coelho *et al.*, 2019). Os usos mais comuns desse fruto são voltados para o consumo *in natura* e produção de suco. Apresenta propriedades aromáticas, anticancerígenas, antivirais, anti-inflamatórias e antioxidantes, empregadas na medicina, indústrias químicas, de limpeza, cosméticos e perfumarias. Seu OE é muito utilizado no setor alimentício como antimicrobiano, atuando na conservação de alimentos, principalmente durante a colheita e transporte (Dongre *et al.*, 2023).

Em relação a produção mundial de laranjas doces, em 2024, os maiores produtores de laranjas foram o Brasil, China, México, Egito e Índia. O Brasil se destacou como o principal produtor, com cerca de 15 milhões de toneladas produzidas. Nesse contexto, os estados responsáveis por essa produção são São Paulo, Minas Gerais, Paraná, Bahia e Sergipe. Além disso, a laranja Pêra é a cultivar mais produzida no país, seguida pela Valência e Hamlin (FAO, 2025; IBGE, 2024; Fundecitrus, 2026).

O OE de laranja Pêra é constituído por diversos compostos voláteis, como terpineno, neral, geranial, linalol, octanal, mirceno, pineno e limoneno, sendo este último o principal constituinte, entre outros (Dongre *et al.*, 2023; Devite *et al.*, 2025). Entre seus efeitos antimicrobianos, investigações quanto à fungitoxidade desse OE ganharam força nos últimos anos. Sharma e Tripathi (2008), descobriram que o óleo provoca bifurcações nas hifas apicais e brotamento profuso em hifas vegetativas, danos que levam a perda do citoplasma das hifas. Além desses efeitos, os pesquisadores apontaram a ocorrência de hifas esmagadas, colapsadas, achatadas e mortas, as quais não possuíam citoplasma. Dessa forma, os danos provocados pelo

OE evidenciam que seu mecanismo de ação está relacionado ao comprometimento da parede celular e à retração do citoplasma nas hifas. Esses efeitos são decorrentes da interferência do óleo nas reações enzimáticas envolvidas na síntese da parede celular, culminando em alterações morfológicas e na morte do microrganismo (Sharma e Tripathi, 2008). Ademais, esse potencial antifúngico está diretamente relacionado com o efeito sinérgico do limoneno com os outros constituintes do OE de laranja Pêra, os quais rompem a membrana fúngica e interferem em processos metabólicos importantes (Devite *et al.*, 2025).

Devite *et al.* (2025), identificou que os compostos minoritários pineno, terpineno e linalol também possuem atividade antifúngica, sendo capazes de inibir a germinação de conídios, desestabilizar as membranas celulares e provocar morte celular. Estudos mostram que o tratamento com limoneno provoca alterações na homogeneidade citoplasmática e espessura da parede fúngica. Observa-se também, elevação da permeabilidade da membrana celular, mudanças no potencial da membrana, extravasamento de conteúdo intracelular, lise celular e solubilização de lipídios da membrana plasmática. Além disso, o limoneno afeta o ergosterol presente nos fungos, responsável por manter a função e integridade celular, podendo ocasionar a morte do microrganismo caso ocorra uma redução em seu nível dentro da célula (Lin *et al.*, 2024; Monk e Goffeau, 2008).

Resultados semelhantes foram obtidos por Xia e Dong (2025), ao avaliarem a ação do limoneno contra *Fusarium oxysporum*. Os autores observaram que esse composto foi capaz de inibir o crescimento do fungo, com aumento da taxa de inibição à medida que se elevava a concentração aplicada. Ainda durante esse trabalho, os autores notaram que as hifas tratadas com o limoneno apresentavam aspecto fino, enrugado, com padrões de crescimento desordenado, emaranhados e torções. A taxa de germinação também reduziu mediante a aplicação do limoneno, assim como a esporulação do fungo, onde os esporos se mostraram inviáveis. Além disso, o tratamento com o componente do OE provocou uma diminuição na patogenicidade do patógeno, demonstrando redução significativa na área da doença em tubérculos de batatas inoculados. Ademais, descobriu-se que a interrupção da integridade e a estabilidade da membrana celular de *F. oxysporum*, é provocada pela paralização da biossíntese de ergosterol, importante esterol responsável pelas funções estruturais de fungos. Ainda, constatou-se que o limoneno induz anormalidades em processos bioquímicos, afetando a transcrição celular fúngica, tradução, interações fungo-planta, síntese de toxinas e homeostase iônica. Em relação a síntese de toxinas, os pesquisadores afirmaram que esse composto inibe a

produção de DON (Desoxinivalenol), uma micotoxina produzida pelo fungo durante a infecção e colonização no hospedeiro, enfraquecendo sua virulência.

Rezende *et al.* (2020) identificaram que OEs de *Citrus × sinensis* são capazes de inibir o desenvolvimento de *Rhizopus stolonifer* de forma dose-dependente. Nesse contexto, o efeito antifúngico observado também pode estar relacionado ao sinergismo entre o principal composto, o limoneno, e os demais constituintes do óleo. Em experimento com OEs cítricos diluídos nos meios de cultura, Viuda-Martos *et al* (2008) constatou que o OE de *Citrus × sinensis* apresentou boa atividade antifúngica contra *A. niger*, *A. flavus*, *P. chrysogenum* e *P. verrucosum*, o qual demonstrou elevada capacidade inibitória no desenvolvimento dos fungos, principalmente no controle de *A. niger*.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. LOCAL DO EXPERIMENTO

O experimento foi realizado no Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de São Carlos, campus localizado na cidade de Araras – SP (22° 21' 25" S 47° 23' 02" O) utilizando-se o Laboratório de Nematologia (LANEM) para pesquisa e obtenção dos resultados.

4.2. ORIGEM E CULTIVO DE FUNGO *Geotrichum citri-aurantii*

O fungo *Geotrichum citri-aurantii* foi isolado indiretamente a partir de frutos de laranja Hamlin contaminados, armazenando-o em placas de Petri contendo meio BDA (Batata Dextrose Ágar) em uma incubadora BOD à 25°C em fotoperíodo de 12 horas (Machado, 2018; Carollo e Filho, 2016).

4.3. ANÁLISE MORFOLÓGICA DO *Geotrichum citri-aurantii*

Foi realizada a repicagem do fungo a partir de um isolado inicial com sete dias para placas de Petri com meio BDA, mantidas a 25°C, com fotoperíodo de 12 horas. Em seguida, após sete dias da repicagem, as placas foram utilizadas para formar uma suspensão de conídios através da raspagem com alça de Drigalski com 10 mL de água destilada, seguida pela filtragem em gaze dupla. A partir dessa suspensão, uma alíquota de 1 mL foi espalhada com uma alça de Drigalski para montar placas de Petri com a cultura monospórica pura para a visualização dos conídios em lâminas. Posteriormente, observou-se a forma e tamanho de 100 conídios e as características morfológicas e de crescimento da colônia do fungo. Para isso, os conídios foram

medidos indiretamente através de um sistema de videocâmera acoplado a um microscópio óptico, tendo a imagem transmitida para um computador e analisada através do programa BELCapture calibrado com a utilização de lâmina micrométrica.

4.4. EXTRAÇÃO DOS ÓLEOS ESSENCIAIS

Os OEs utilizados foram extraídos da casca de frutos maduros (laranja Pêra), casca do tronco (canela), folhas (capim limão) e botões florais secos (cravo-da-índia), por meio de um destilador do tipo Clevenger da marca SOLAB Modelo 8 SL-76/2000, com base aquecedora construída em aço inoxidável AISI 304 polida. A extração do OE da variedade cítrica foi realizada com aproximadamente 400 g de casca cortadas com 1 cm² por cerca de quatro horas, a partir da queda da primeira gota condensada. Na extração do OE de capim-limão, utilizou-se 200 g de folhas frescas cortadas com 1 cm², submetidas à hidrodestilação por 40 minutos. Já para o OE de cravo, foram utilizados 150 g de botões florais secos, submetidos à hidrodestilação por quatro horas. Por fim, para a obtenção do OE de canela utilizou-se 80 g de cascas com 1 cm² do tronco seco por cinco horas na hidrodestilação.

Após essa etapa, os OEs foram armazenados em frascos de vidro âmbar e mantidos em temperatura de -18°C até a realização dos experimentos *in vitro*.

4.5. ANÁLISE CROMATOGRÁFICA DOS ÓLEOS ESSENCIAIS

As amostras foram diluídas em acetato de etila. A análise da composição química das amostras de OE foi realizada por cromatografia gasosa acoplada a espectrômetro de massas (CG-EM) em um cromatógrafo gasoso da marca AGILENT 6890N com um detector de massas modelo MSD 5975. O CG foi equipado com uma coluna capilar HP5-MS (30 m × 0,25 mm × 0,25 µm), programa de aquecimento do forno: 60 °C a 240 °C com aquecimento de 3 °C min⁻¹. Os compostos foram identificados a partir dos seus índices de retenção (IR) calculados usando uma série homóloga de n-alcanos (C8–C24) e pelos seus espectros de massas (EM) comparados aos EM do banco de dados da biblioteca NIST 11 e dos padrões da literatura (Adams, 2007). Essa análise foi realizada em parceria com a pesquisadora Dra. Carmen Lucia Queiroga do Centro Pluridisciplinar de Pesquisas Químicas, Biológicas e Agrícolas, pertencente à Universidade Estadual de Campinas (CPQBA/UNICAMP), localizado em Paulínia, SP.

4.6. AÇÃO DOS OEs NO CONTROLE *in vitro* DE *Geotrichum citri-aurantii*

Para a determinação do efeito *in vitro* sobre o fungo *G. citri-aurantii*, os OEs de canela, capim-limão, cravo-da-índia e laranja Pêra foram testados em diferentes concentrações (0,25, 0,50, 1, 2, 4, 8 e 16 $\mu\text{L mL}^{-1}$), além de uma testemunha (sem adição de OE). Os tratamentos foram acrescentados em 20 mL de meio BDA em placas de Petri, associadamente com o tensoativo hidrofílico Tween® 80 (0,5%). Após essa etapa, foram dispostos ao centro da placa de Petri discos miceliais do patógeno, com sete dias de cultivo, de 0,6 cm de diâmetro, removidos de um cultivo anterior. Essas placas de Petri foram fechadas com parafilme e incubadas em incubadora BOD a 25°C com fotoperíodo de 12 horas, por sete dias (Machado, 2018).

O experimento foi realizado em duplicata, em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 4x7, sendo quatro OEs e sete dosagens, e uma testemunha sem aplicação do óleo, com cinco repetições para cada tratamento.

As variáveis analisadas foram o crescimento micelial, a esporulação, a germinação dos conídios e a morfologia das hifas. Para o crescimento micelial, utilizou-se a média entre duas aferições perpendiculares do diâmetro da colônia, medindo a cada dois dias com paquímetro digital até que a primeira placa estivesse completamente tomada pelo fungo. A partir destas medidas, foram determinadas as seguintes variáveis: índice de velocidade de crescimento micelial (IVCM) (Oliveira, 1991) e percentual de inibição do crescimento micelial (PICM) (Bastos, 1997), utilizando-se as equações abaixo:

$$IVCM = \sum \frac{\text{Diâmetro médio atual} - \text{Diâmetro médio anterior}}{\text{Número de dias após a inoculação}}$$

$$PICM = \frac{(\text{Crescimento da testemunha} - \text{Crescimento do tratamento}) \times 100}{\text{crescimento da testemunha}}$$

A partir das placas utilizadas no experimento anterior, a esporulação do fungo foi avaliada através da raspagem da colônia com 10 mL de água destilada autoclavada e uma alça de Drigalski, gerando uma suspensão de esporos que foi filtrada com auxílio de uma gaze. Em seguida, foi retirada uma alíquota de 10 μL da suspensão de esporos servindo para a contagem de esporos em uma câmara de Neubauer em microscópio óptico. Para as suspensões mais concentradas, a contagem foi realizada em cinco subcompartimentos "c", localizados em posições opostas do quadrante "C". Já para as suspensões menos concentradas, as leituras foram

realizadas em dois subquadrantes "a", situados nos cantos diagonalmente opostos de cada quadrante "A", totalizando oito leituras (Alfenas, Zauza e Mafia, 2007). Com base nessas contagens, calculou-se a concentração média de esporos, expressa em 10^5 esporos mL^{-1} .

Também foi realizado, em duplicata, o teste de germinação dos conídios de *G. citri-aurantii* para cada tratamento, utilizando placas do patógeno com sete dias. Nessa etapa, foram acrescentados 10 mL de água destilada autoclavada por placa, para realizar a abrasão das colônias com o auxílio de uma alça de Drigalski e adquirir uma suspensão de esporos a 1×10^5 esporos/mL. Em tubos autoclavados, preparou-se 10 mL de meio de cultura BDA, ao qual incorporou-se 10 μL do antibiótico Pentakel, o Tween® 80 (0,1%) e as concentrações dos OEs, vertendo, posteriormente, em placas de Petri esterilizadas. Após a solidificação do meio, com o auxílio de um perfurador de metal com 2 cm de diâmetro demarcou-se quatro locais, aos quais foram depositadas alíquotas de 10 μL da suspensão de esporos do fungo. As placas foram incubadas em BOD sob luz constante a 25°C. Por fim, após cinco horas de incubação, adicionou-se uma gota do corante azul de algodão de lactofenol sobre cada local perfurado para paralisar a germinação dos esporos em todos os tratamentos de maneira simultânea (Talibi *et al.*, 2012). O conídio foi considerado germinado se o tamanho do tubo germinativo fosse igual ou superior ao diâmetro do esporo (Dhingra e Sinclair 1985; Dantigny *et al.* 2006).

Para a análise da morfologia das hifas, a metodologia foi adaptada de Carmichael (1956). Foram utilizadas placas de Petri contendo 10 mL de meio BDA, às quais foram adicionadas as concentrações dos OEs e o tensoativo hidrofílico Tween® 80 (0,1%). Após a solidificação do meio, discos miceliais de 0,6 cm de diâmetro, obtidos de colônias com sete dias de cultivo, foram posicionados no centro das placas. Em seguida, três fragmentos de 1 cm^2 de papel celofane foram dispostos ao redor dos discos miceliais, de modo a permitir o crescimento das hifas sobre esse material e facilitar sua posterior observação morfológica. As placas foram incubadas em câmara BOD a 25 °C, sob fotoperíodo de 12 horas, durante quatro dias. Ao final do período de incubação, os fragmentos de celofane contendo as hifas foram analisados em microscópio óptico acoplado a uma videocâmera, sendo as imagens capturadas por meio do software BELCapture.

4.7. ANÁLISE DOS DADOS

Os dados obtidos nos experimentos *in vitro* foram submetidos à análise de variância, as médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade e as

dosagens sujeitas à regressão, ambas utilizando-se o software R. Os dados da variável esporulação foram transformados para raiz quadrada.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. ANÁLISE MORFOLÓGICA DO *Geotrichum citri-aurantii*

As colônias desenvolvidas em meio BDA apresentaram coloração branco-opaca, por vezes, com aspecto leveduriforme e ramificações dicotômicas do micélio nas margens da colônia. Observou-se que os conídios apresentam formato inicialmente cilíndrico, tornando-se posteriormente em forma de barril, elipsoidal ou subgloboso, com dimensões variando entre 8,0 e 12,0 μm de comprimento (Figura 1). As características observadas no presente estudo estão de acordo com as descrições realizadas por Khamsaw *et al.* (2022) e Lin *et al.* (2021).



Figura 1. Crescimento micelial e conídios de *Geotrichum citri-aurantii* em meio batata dextrose-água após sete dias de cultivo. (A) Frente da placa de Petri. (B) Conídios observados em lente objetiva de 40x. Escala = 20 μm .

5.2. ANÁLISE CROMATOGRÁFICA DOS ÓLEOS ESSENCIAIS

A análise cromatográfica dos óleos essenciais identificou 46 componentes químicos em suas composições, sendo dez no óleo de canela, 18 no de capim-limão, cinco no de cravo-da-índia e 13 no de laranja Pêra. Entre os compostos presentes no óleo de canela, o cis-cinamaldeído destacou-se com 91,30%, valor semelhante ao reportado por Silva *et al.* (2025), que identificou o cinamaldeído como componente majoritário com 91,5%. Para o capim-limão, os principais componentes identificados foram o α -citral e β -citral com 45,61% e 33,27, respectivamente, valores consistentes com os reportados por Camargo *et al.* (2019), que

observaram teores de 34,41% de α -cital e 28,34% de β -cital. Para o OE de cravo-da-índia, a análise indicou o eugenol como componente majoritário, com 87,72%, valor coerente com o relatado por Affonso *et al.* (2012), que observaram concentração de aproximadamente 88,38%. Já para a laranja Pêra, o limoneno foi identificado como composto predominante, com 89,89%, resultado semelhante ao encontrado por Assunção (2013), que reportou teor de 89,55%.

Os compostos presentes nos OE apresentam diversos efeitos biológicos que devem ser cuidadosamente determinados. No entanto, sua composição pode ser facilmente influenciada por condições edafoclimáticas às quais as plantas estão submetidas, bem como pelos métodos de extração empregados (Camargo *et al.*, 2019). Além disso, as variações na composição química e no rendimento dos OEs podem ser atribuídas a fatores intrínsecos e extrínsecos, como o patrimônio genético, a idade e a parte da planta utilizada, bem como às práticas agrícolas adotadas (Kamsu *et al.*, 2019). Ademais, compostos como cinamaldeído, citral, eugenol e limoneno são amplamente utilizados nas indústrias farmacêutica, alimentícia e cosmética, além de apresentarem atividades antifúngica, antibacteriana e antioxidante (Lin *et al.*, 2024; Duarte, 2014; Pacheco *et al.*, 2023).

Tabela 1. Composição química de óleos essenciais de canela, capim-limão, cravo-da-índia e laranja Pêra, extraídos por hidrodestilação.

Componentes	TR (min)	IR calc.	Porcentagem Relativa (%)
Canela			
Benzaldeído	5,96	959	0,18
Benzenopropanal	12,87	1162	0,63
Trans-Cinamaldeído	15,19	1219	0,76
Cis-Cinamaldeído	17,70	1279	91,30
Eugenol	21,00	1358	0,37
α -Copaeno	21,69	1375	0,21
Cumarina	24,09	1434	0,92
Acetato de cinamila (trans)	24,57	1445	4,30
Delta Cadineno	27,62	1522	0,20
O-Metoxi-Cinamaldeído	27,88	1529	1,13
Cravo-da-Índia			
Eugenol	21,31	1366	87,72
Cariofileno	23,47	1418	2,71
α -Humuleno	24,83	1452	0,36
Acetileugenol	27,90	1529	8,99

Continuação...

Oxido de cariofileno	29,87	1581	0,24
----------------------	-------	------	------

Capim-Limão

6-metil-5-heptene-2-one	6,64	986	0,31
Mirceno	6,78	992	10,43
β --cis-Ocimene	8,23	1036	0,27
β -trans-Ocimene	8,58	1046	0,15
Epoxi-mirceno	10,18	1093	0,26
Linalol	10,46	1101	1,04
Exo-isocitral	12,18	1144	0,33
Trans-Crisantemal	12,35	1149	0,31
Cis-isocitral	12,97	1164	1,21
Trans-isocitral	13,71	1183	1,67
β -Citronelol	15,69	1231	0,68
Neral = β -citral	16,26	1244	33,27
Geraniol	16,80	1257	3,06
Geranial = α -citral	17,57	1276	45,61
2-undecanone	18,36	1294	0,40
ni	20,18	1338	0,33
ni	21,70	1375	0,45
Acetato de geranila	22,09	1384	0,22

Laranja Pêra

α -pineno	5,30	933	0,59
Sabineno	6,31	973	0,46
β -pineno	6,41	977	0,35
β -mirceno	6,76	991	3,00
Octanal	7,11	1003	0,53
Delta-3-careno	7,37	1011	0,26
Limoneno	8,08	1032	89,89
Gama-terpineno	8,96	1058	0,93
1-octanol	9,38	1070	0,39
Linalol	10,46	1101	2,34
α -terpineol	14,04	1191	0,30
Decanal	14,64	1206	0,53
ni	17,45	1273	0,44

TR = Tempo de retenção; IR = Índice de retenção; % (em área relativa).

5.3. AÇÃO DOS OEs NO CONTROLE *in vitro* DE *Geotrichum citri-aurantii*

Por meio dos resultados obtidos através da análise do crescimento micelial, estimou-se a ação dos OEs na inibição do fungo. Verificou-se que o OE de canela reduziu o crescimento micelial desde a menor concentração ($0,25 \mu\text{L mL}^{-1}$). Para o OE de cravo-da-índia, o mesmo cenário pode ser constatado, onde a partir da dosagem $1 \mu\text{L mL}^{-1}$ igualou-se ao OE de canela. Na concentração de $0,25 \mu\text{L mL}^{-1}$, as taxas de inibição registradas foram de 61,77% e 92,74%, para cravo e canela, respectivamente, em comparação à testemunha, onde ambos os OEs diferiram estatisticamente entre si. Por outro lado, os OEs de capim-limão e laranja Pêra apresentaram baixas porcentagens de inibição a $0,25 \mu\text{L mL}^{-1}$, em torno de 5,12% e 3,65%, respectivamente. Na maior dosagem avaliada ($16 \mu\text{L mL}^{-1}$), os óleos cravo-da-índia, canela e capim-limão demonstraram efeitos satisfatórios, alcançando 90,40% de inibição. Em contrapartida, o OE de laranja Pêra diferiu significativamente dos demais, promovendo estímulo dose-dependente ao crescimento micelial de *G. citri-aurantii*, especialmente nas concentrações 1, 2, 4, 8 e $16 \mu\text{L mL}^{-1}$, com percentuais negativos de inibição de 3,32%, 2,87%, 7,67%, 21,22% e 36,18%, respectivamente (Figura 2). Nesse sentido, constatou-se que os OEs de cravo-da-índia e canela demonstraram elevada capacidade de inibição do crescimento fúngico mesmo nas menores concentrações, enquanto que o efeito inibitório do capim-limão mostrou-se eficaz a partir da concentração de $1 \mu\text{L mL}^{-1}$ (70,52%) (Figura 3).

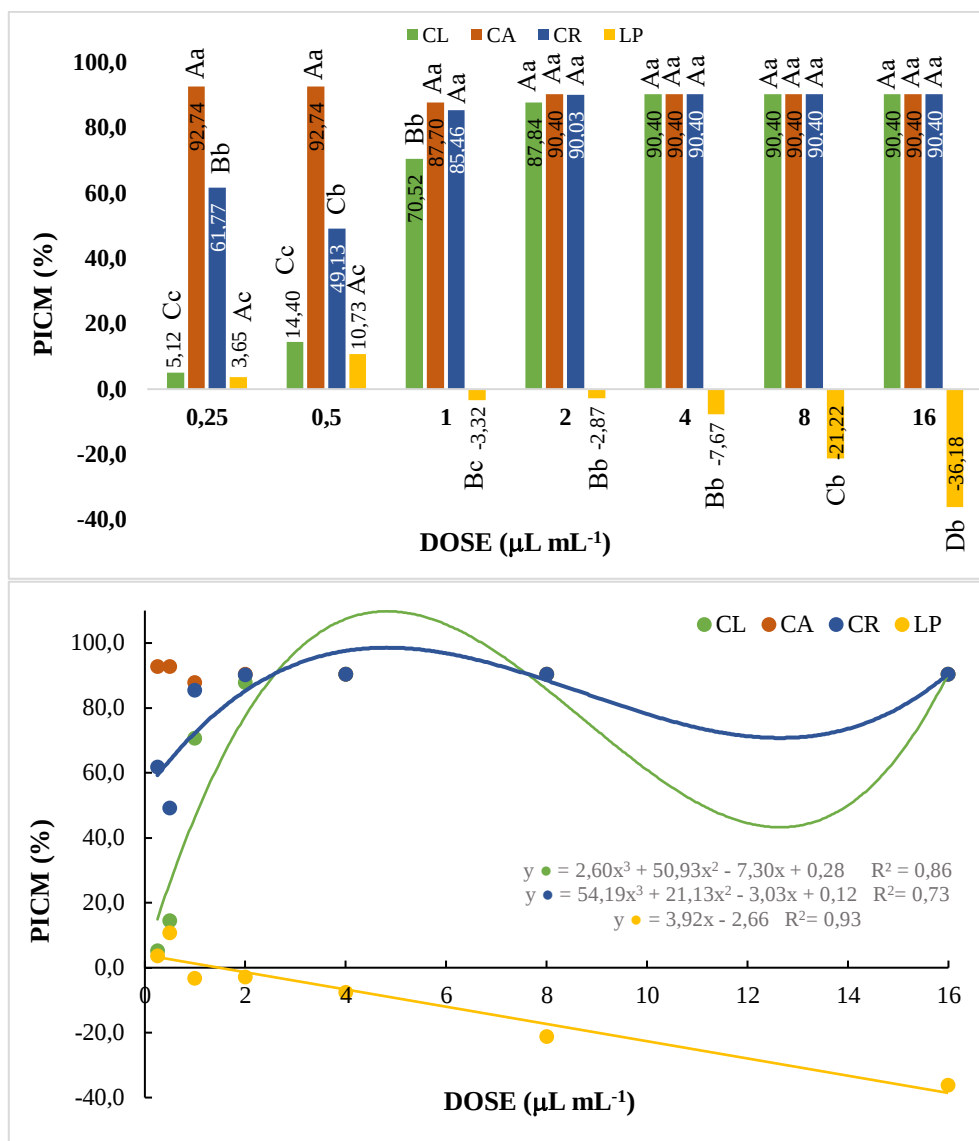


Figura 2. Porcentagem de inibição do crescimento micelial (PICM) de *Geotrichum citri-aurantii*, em diferentes doses (0,25, 0,50, 1, 2, 4, 8 e 16 $\mu\text{L mL}^{-1}$) de OEs de canela (CA), capim-limão (CL), cravo-da-índia (CR) e laranja Pêra (LP). Médias seguidas da mesma letra minúscula (dentro da mesma dose) e maiúscula (dentro do mesmo óleo essencial) não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

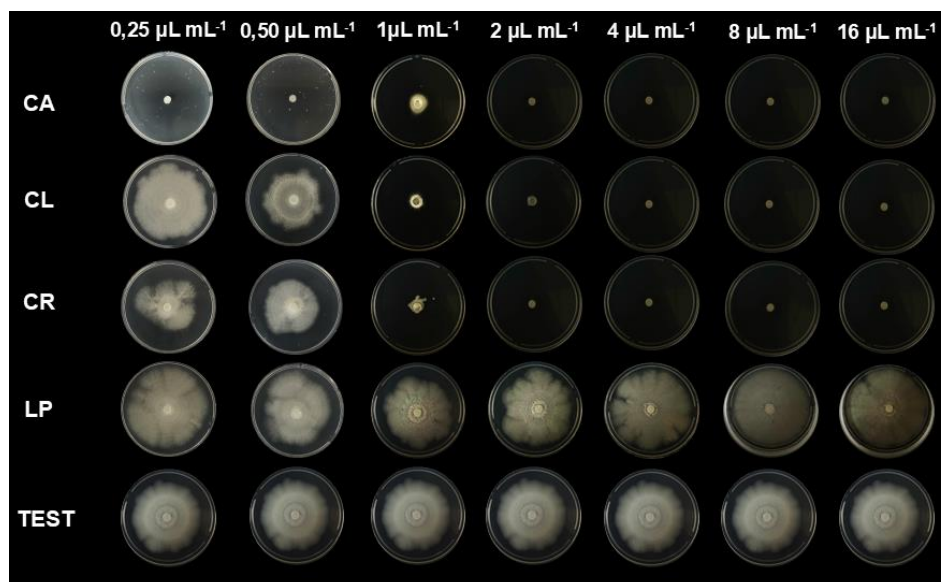


Figura 3. Representação visual do crescimento micelial, *in vitro*, de *Geotrichum citri-aurantii* sob diferentes doses (0,25, 0,50, 1, 2, 4, 8, 16 $\mu\text{L mL}^{-1}$) de OEs de canela, capim-limão, cravo-da-índia, laranja Pêra e testemunha. Fonte: autor, 2025.

Os OEs e seus componentes constituem potenciais agentes antifúngicos, uma vez que são capazes de danificar a parede celular e a membrana plasmática fúngicas, comprometendo o crescimento micelial e levando a lise dos conídios (Silva *et al.*, 2025; Beg e Ahmad, 2002). Tzortzakakis e Economakis (2007) relataram que a 500 ppm o OE de capim-limão foi capaz de inibir 100% o desenvolvimento de colônias fúngicas de *Colletotrichum coccodes*, *Botrytis cinerea*, *Cladosporium herbarum*, *Rhizopus stolonifer* e *Aspergillus niger*. Em seu experimento, Silva *et al.* (2025) observaram que os OEs de orégano, alecrim, pimenta, cravo-da-índia entre 1,00 e 3,0 $\mu\text{L mL}^{-1}$ e canela a 0,25 $\mu\text{L mL}^{-1}$ demonstraram elevada ação inibitória sobre o crescimento micelial de *G. citri-aurantii*. O OE de cravo-da-índia inibiu 77% do desenvolvimento do fungo, enquanto os demais OEs testados atingiram 100% de inibição, resultados convergentes com os observados no presente trabalho. Wu *et al.* (2017), obtiveram resultados semelhantes com a aplicação de cinamaldeído, principal componente do OE de canela, no qual nenhum crescimento micelial do fungo foi observado a partir da concentração de 0,50 mL L^{-1} , reafirmando que a ação do OE de canela está diretamente relacionada com presença desse composto químico majoritário. Nesse contexto, Allagui, Moumni e Romanazzi (2024), concluíram que a aplicação de OEs de canela e cravo a 0,50 mg mL^{-1} promovem elevada inibição no crescimento micelial dos patógenos pós-colheita *Alternaria alternata*, *Botrytis cinerea* e *Penicillium italicum*, podendo ser estudados como potenciais desinfetantes biológicos em revestimentos de frutas. Contudo, Kishore *et al.* (2007), apontam que o limoneno,

constituente primário do OE de laranja Pêra, apresentou baixo espectro de atividade antifúngica, não sendo recomendado como um agente eficaz no controle do desenvolvimento de *Alternaria alternata*, *Aspergillus flavus*, *Curvularia lunata*, *Fusarium moniliforme*, *F. pallidoroseum* e *Phoma sorghina*, corroborando com os resultados obtidos neste trabalho.

Quanto ao índice de velocidade de crescimento micelial (IVCM), observou-se que os OEs de canela e cravo-da-índia se mostraram eficazes em todas as concentrações utilizadas, os quais a partir da dose 0,50 $\mu\text{L mL}^{-1}$ se equipararam estatisticamente (Tabela 2). Para o OE de capim-limão, verificou-se que nas concentrações 0,25 e 0,50 $\mu\text{L mL}^{-1}$ os índices foram elevados, sendo que na dose de 0,25 $\mu\text{L mL}^{-1}$ estimulou o crescimento micelial em relação à testemunha, porém, observou-se um efeito inibitório a partir de 1,0 $\mu\text{L mL}^{-1}$, momento em que não diferiu estatisticamente dos OEs de cravo-da-índia e canela, apresentando efeito dose-dependente, com redução do IVCM à medida que a concentração aumentava. Em contrapartida, o OE de laranja Pêra igualou-se à testemunha nas concentrações de 0,25 a 4,0 $\mu\text{L mL}^{-1}$, além de apresentar IVCM mais elevado nas concentrações 8,0 e 16,0 $\mu\text{L mL}^{-1}$, evidenciando um estímulo na velocidade de crescimento micelial do fungo (Tabela 2). Segundo Aquino *et al.* (2014), em seu estudo, identificaram redução do IVCM de *C. gloeosporioides* mediante a aplicação do OE de capim-limão, com decréscimo progressivo em todas as concentrações testadas (1,0, 3,0, 5,0 e 7,0 $\mu\text{L mL}^{-1}$). Ainda, Wuryatmo *et al.* (2014), identificaram que o citral, em sua fase volátil, é um promissor agente *in vitro* contra os patógenos pós-colheita *Penicillium digitatum*, *P. italicum* e *G. citri-aurantii*, em frutos de *Citrus × sinensis*. Foltinová *et al.* (2019) obtiveram resultado satisfatório no controle de *G. candidum*, no qual nenhum crescimento micelial foi registrado no tratamento com o OE de cravo-da-índia. Além disso, de acordo com Silva *et al.* (2025), os OEs de canela e cravo-da-índia são capazes de controlar o desenvolvimento fúngico, sendo que o OE de canela apresenta elevada atividade antifúngica enquanto o OE de cravo-da-índia promove retardo no crescimento micelial.

Esses resultados podem ser explicados pelos componentes químicos presentes nos OEs, que possuem ação antimicrobiana e influenciam diretamente a eficiência desses produtos naturais. Dessa forma, Silva *et al.* (2025) explica que o eugenol, principal componente encontrado no OE de cravo-da-índia (Tabela 1), eleva a permeabilidade, fluidez e altera as condições osmóticas das membranas celulares, promovendo redução do crescimento microbiano e, posteriormente, morte celular. Além disso, há a possibilidade do eugenol interferir nas enzimas da parede celular, como a quitina sintase e as α - e β -glucanases, suprimindo patógenos fúngicos (Laala *et al.*, 2023). Já o cinamaldeído, composto majoritário

do OE de canela (Tabela 1), é capaz de reduzir o crescimento fúngico de *G. citri-aurantii* por meio de alterações morfológicas e comprometimento da parede celular do fungo (Silva *et al.*, 2025; Ma *et al.*, 2019). Ademais, o citral, composto majoritário do OE de capim-limão (Tabela 1), demonstra elevados efeitos fungistático, fungicida e antibacteriano, promovendo extravasamento de conteúdos celulares, desequilíbrio osmótico e ruptura do citoplasma, o que resulta em danos severos e mortais ao microrganismo (Aquino *et al.*, 2014; Gomes, 2015; Zhou, Tao e Jia, 2014).

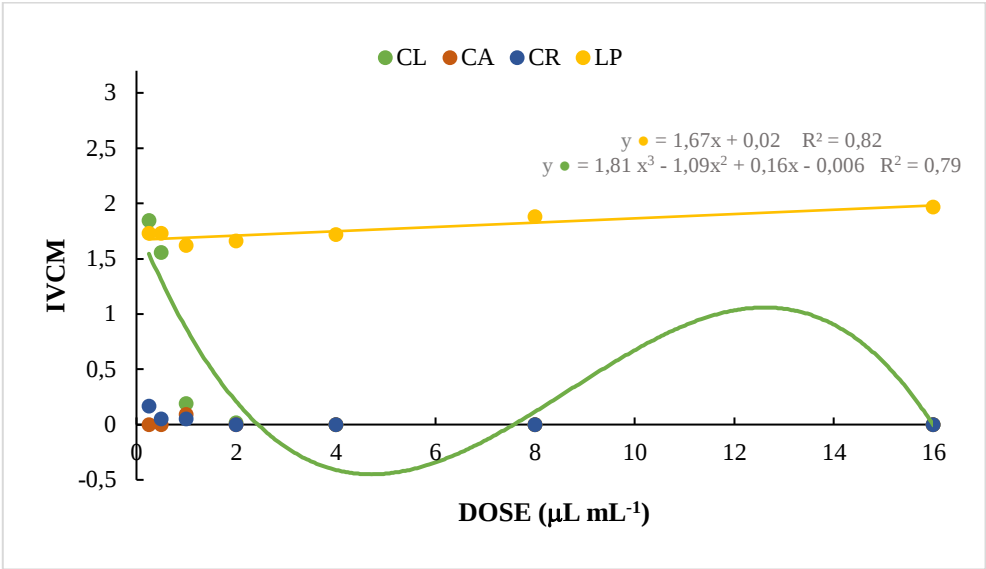


Figura 4. Índice de velocidade do crescimento micelial de *Geotrichum citri-aurantii*, em diferentes doses (0,25, 0,50, 1, 2, 4, 8, 16 $\mu\text{L mL}^{-1}$) de OEs de canela, capim-limão, cravo-da-índia e laranja Pêra.

Tabela 2. Índice de velocidade do crescimento micelial de *Geotrichum citri-aurantii*, *in vitro*, sob diferentes doses (0,25, 0,50, 1, 2, 4, 8 e 16 $\mu\text{L mL}^{-1}$) de OEs de quatro espécies vegetais, junto com a testemunha (0 $\mu\text{L mL}^{-1}$).

Doses ($\mu\text{L mL}^{-1}$)	Óleos Essenciais			
	Canela	Capim-limão	Cravo-da-índia	Laranja Pêra
0,25	0,00 Ac*	1,85 Aa*	0,17 Ab*	1,73 Ba ^{ns}
0,50	0,00 Ac*	1,56 Bb ^{ns}	0,05 Ac*	1,73 Ba ^{ns}
1	0,09 Ab*	0,19 Cb*	0,05 Ab*	1,62 Ba ^{ns}
2	0,00 Ab*	0,02 Db*	0,00 Ab*	1,66 Ba ^{ns}
4	0,00 Ab*	0,00 Db*	0,00 Ab*	1,72 Ba ^{ns}
8	0,00 Ab*	0,00 Db*	0,00 Ab*	1,87 Aa*
16	0,00 Ab*	0,00 Db*	0,00 Ab*	1,97 Aa*
Testemunha	1,60			

Médias seguidas da mesma letra minúscula na horizontal e da mesma letra maiúscula na vertical não diferem significativamente entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. CV = 28,18%. “*” diferem da testemunha. “ns” não diferem da testemunha.

Em relação ao número de esporos do *G. citri-aurantii*, os OEs canela e cravo-da-índia reduziram satisfatoriamente a esporulação do fungo em todas as doses testadas. Quanto ao OE de laranja Pêra, nas concentrações de 0,25 a 4,0 $\mu\text{L mL}^{-1}$ a produção de esporos igualou-se à testemunha (0 $\mu\text{L mL}^{-1}$), ao passo que nas concentrações de 8,0 e 16,0 $\mu\text{L mL}^{-1}$ houve estímulo na esporulação, mostrando a incapacidade desse óleo em controlar o desenvolvimento do fungo. Por outro lado, o OE de capim-limão apresentou valores elevados de esporulação nas concentrações de 0,25 e 0,50 $\mu\text{L mL}^{-1}$, momento em que não diferiu da testemunha e se mostrou similar ao OE de laranja Pêra. No entanto, a partir de 1,0 $\mu\text{L mL}^{-1}$, observou-se a inversão desse padrão, com o OE igualando-se estatisticamente aos OE de canela e cravo, passando a controlar efetivamente a esporulação do fungo. Os tratamentos com os OEs de canela e cravo-da-índia diferiram da testemunha e foram estatisticamente idênticos em todas as concentrações avaliadas (Figura 5 e Tabela 3).

Ademais, com base nos resultados de germinação de esporos, observa-se que os OEs de capim-limão, canela e cravo-da-índia também atuam de forma dose-dependente nesse parâmetro, de modo que a porcentagem de conídios germinados diminui à medida que a concentração do óleo aumenta. Assim, na concentração de 0,25 $\mu\text{L mL}^{-1}$, os OEs de capim-limão, canela e cravo-da-índia apresentaram 21,38%, 9,88% e 19,38% de germinação de esporos, respectivamente. Já na concentração de 16 $\mu\text{L mL}^{-1}$, as porcentagens foram de 0,50%, 0,75% e 0,25%. Contudo, o OE de laranja Pêra igualou-se à testemunha (98%) em todas as concentrações testadas, mantendo elevada porcentagem de esporos germinados (acima de 97%). Os tratamentos com os OEs de capim-limão, canela e cravo-da-índia diferiram entre si nas concentrações inferiores (0,25 e 0,50 $\mu\text{L mL}^{-1}$), no entanto, a partir de 1,0 $\mu\text{L mL}^{-1}$ igualaram-se estatisticamente, evidenciando potencial satisfatório no controle da germinação de esporos (Figura 5 e Tabela 3).

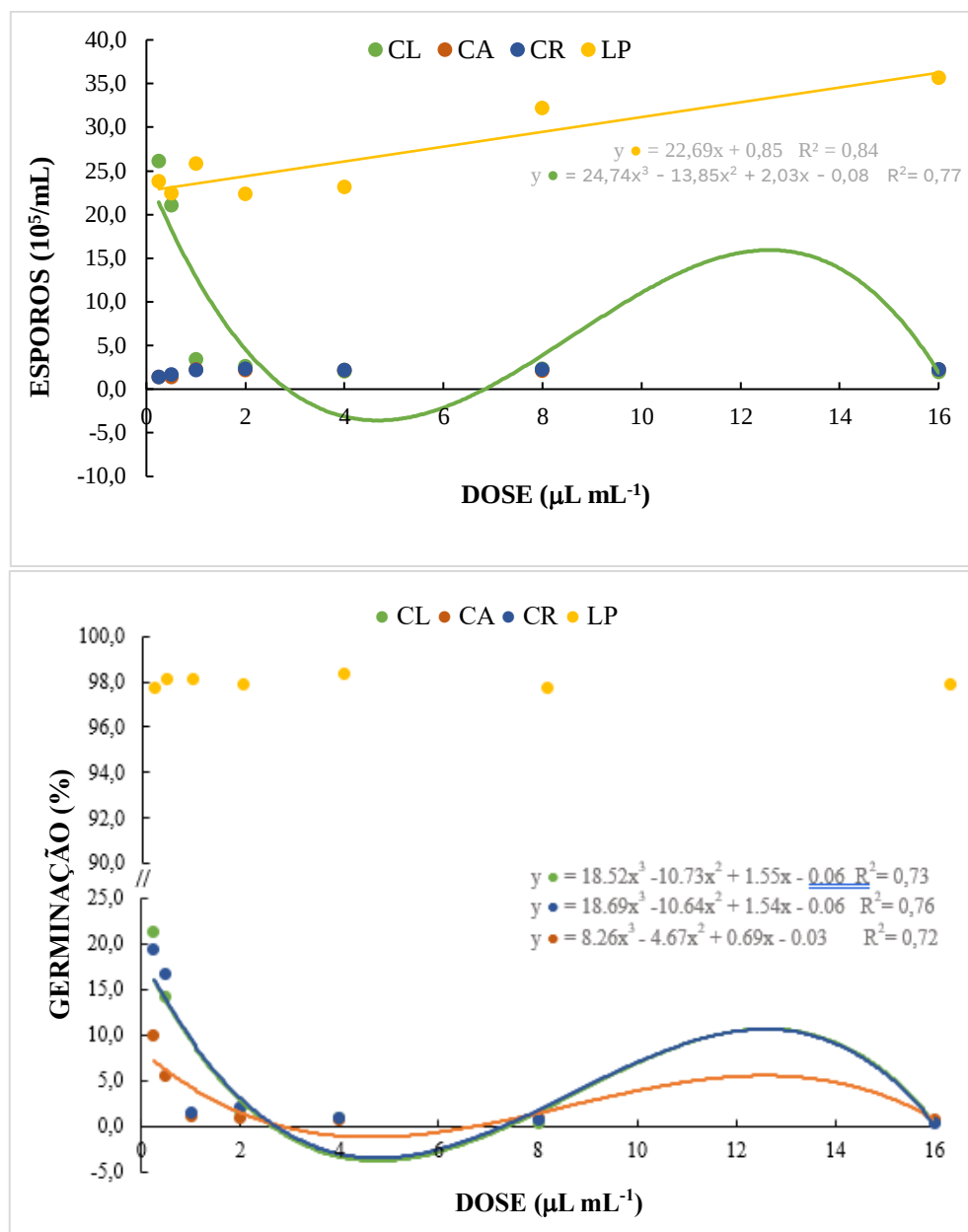


Figura 5. Número de esporos/mL e porcentagem de germinação de *Geotrichum citri-aurantii*, *in vitro*, sob diferentes concentrações (0,25, 0,50, 1, 2, 4, 8 e 16 μL mL⁻¹) dos OEs de canela, capim-limão, cravo-da-índia e laranja Pêra.

Tabela 3. Número de esporos/mL e germinação de *Geotrichum citri-aurantii*, *in vitro*, sob diferentes concentrações (0,25, 0,50, 1, 2, 4, 8 e 16 $\mu\text{L mL}^{-1}$) dos OEs de canela, capim-limão, cravo-da índia e laranja Pêra, junto com a testemunha.

Óleos Essenciais				
Doses (µL mL ⁻¹)	Canela	Capim-limão	Cravo-da-índia	Laranja Pêra
Nº DE ESPOROS (10 ⁵) ¹				
0,25	1,40 Ab*	26,13 Aa ^{ns}	1,43 Ab*	23,84 Ca ^{ns}
0,50	1,41 Ab*	21,08 Ba ^{ns}	1,75 Ab*	22,45 Ca ^{ns}
1	2,32 Ab*	3,45 Cb*	2,24 Ab*	25,90 Ca ^{ns}
2	2,24 Ab*	2,63 Cb*	2,40 Ab*	22,44 Ca ^{ns}
4	2,21 Ab*	2,10 Cb*	2,20 Ab*	23,20 Ca ^{ns}
8	2,13 Ab*	2,37 Cb*	2,33 Ab*	32,24 Ba*
16	2,33 Ab*	2,04 Cb*	2,28 Ab*	35,67 Aa*
Testemunha	23,41			
GERMINAÇÃO (%) ²				
0,25	9,88 Ad*	21,38 Ab*	19,38 Ac*	97,75 Aa ^{ns}
0,50	5,63 Bd*	14,13 Bc*	16,75 Bb*	98,13 Aa ^{ns}
1	1,12 Cb*	1,25 Cb*	1,50 Cb*	98,13 Aa ^{ns}
2	1,00 Cb*	1,63 Cb*	2,00 Cb*	97,88 Aa ^{ns}
4	0,75 Cb*	1,00 Cb*	0,88 Cb*	98,38 Aa ^{ns}
8	0,88 Cb*	0,25 Cb*	0,63 Cb*	97,75 Aa ^{ns}
16	0,75 Cb*	0,50 Cb*	0,25 Cb*	97,88 Aa ^{ns}
Testemunha	98,00			

Médias seguidas da mesma letra minúscula na horizontal e da mesma letra maiúscula na vertical não diferem significativamente entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. ¹CV= 34,80, ²CV= 5,82%. “*” diferem da testemunha. “ns” não diferem da testemunha.

Resultados semelhantes foram registrados por Aquino *et al.* (2014), no qual o OE de capim-limão, a partir da concentração de 3,0 $\mu\text{L mL}^{-1}$, reduziu a produção de conídios de *C. gloeosporioides*, bem como sua germinação, de forma decrescente com o aumento das concentrações. Regnier *et al.* (2014) em experimento com capim-limão, também constataram que esse OE é capaz de suprimir a esporulação e a germinação de *G. citri-aurantii*, apresentando inibição total nas concentrações de 600 e 1000 mL L^{-1} , respectivamente. Yang *et al.* (2023) relata que ao utilizar o cinamaldeído, observou-se uma crescente inibição da esporulação e germinação dos esporos de *B. cinerea* conforme se elevavam as doses testadas. Kamsu *et al.* (2019), durante testes com OE de canela e capim-limão contra patógenos da podridão da coroa da bananeira, identificou que ambos os óleos apresentavam um aumento na inibição da germinação dependendo da concentração do OE. No caso da canela, a inibição total ocorreu nas concentrações de 1.025, 950 e 1.088 $\mu\text{L L}^{-1}$, respectivamente, contra *C. musae*, *F.*

incarnatum e *F. verticillioides*. Já com o capim-limão, essas concentrações foram de 200, 185 e 275 $\mu\text{L L}^{-1}$. De acordo com Davy *et al.* (2020), o OE de cravo-da-índia promove expressiva inibição na germinação dos conídios de *C. gloeosporioides*, a qual também se intensifica de maneira dose-dependente. Além disso, nesse mesmo estudo, o OE apresentou atividade fungicida, uma vez que o disco fúngico não voltou a se desenvolver em novo meio de cultura. Esses resultados antifúngicos podem ser atribuídos a atividade dos terpenos presentes nos OE, os quais atuam diretamente nos conídios produzidos pelos fungos, inibindo sua germinação (Kamsu *et al.*, 2019).

Diante desses resultados fornecidos pela ação dos OEs de canela, capim-limão e cravo-da-índia, fica claro a capacidade e importância desses OEs no controle fúngico. A inibição da germinação dos esporos é uma ação fundamental no manejo das doenças fúngicas, pois é através desse processo que se inicia a infecção primária. Dessa forma, para que os OE sejam realmente eficientes, eles precisam não apenas conter o crescimento micelial, mas principalmente controlar a germinação dos conídios do patógeno. Essa atividade fungitóxica está diretamente relacionada com a composição química dos óleos, a qual apresenta ação antimicrobiana (Aquino *et al.*, 2014). Por outro lado, a ineficácia do OE de laranja Pêra pode estar relacionada à sua origem cítrica. É possível que alguns de seus compostos atuem como fonte de nutrientes ou desencadeiem respostas fisiológicas que favoreçam o desenvolvimento de *Geotrichum citri-aurantii*, em vez de exercerem efeito antifúngico.

Nesse contexto, a atividade inibitória do OE de cravo-da-índia pode estar diretamente ligada à ação fungicida do eugenol, composto fenólico responsável pela ruptura da membrana celular ou pela inativação enzimática. No caso da canela, o cinamaldeído também é um composto fenólico que altera a estrutura da membrana e parede celular de microrganismos, além de modificar perfis lipídicos e transcrição de proteínas, o que explica sua atividade antimicrobiana. Já para o capim-limão, o citral apresenta capacidade inibitória sobre fungos, característica relacionada à granulação do citoplasma, inativação de enzimas intracelulares e extracelulares, além de romper a membrana citoplasmática do fungo, proporcionando ação antibacterianas, antifúngicas e inseticidas (Silva *et al.*, 2025; Gomes, 2015; Garcia *et al.*, 2008). Ademais, vale ressaltar que esses três compostos majoritários foram identificados como componentes principais de cada OE utilizado no presente trabalho.

A análise morfológica das hifas de *G. citri-aurantii* demonstrou que, nos tratamentos com os OEs de capim-limão, laranja Pêra e cravo-da-índia que permitiram crescimento micelial, foi possível observar a formação de estruturas vesiculares, extravasamento de conteúdo celular

e o rompimento das hifas (Figura 6). Em contrapartida, o OE de canela inibiu completamente o desenvolvimento do fungo, inviabilizando a observação morfológica das hifas. Esses resultados corroboram os achados por Costa *et al.* (2011), que ao avaliarem a ação do OE de cravo (0,15%) sobre *Fusarium solani*, observaram alterações morfológicas semelhantes, possivelmente relacionadas à vacuolização celular e à desorganização citoplasmática. Masoud *et al.* (2022), durante a identificação das alterações morfológicas provocadas pelo cravo em *F. oxysporum*, *F. solani* e *A. solani*, constataram que o óleo provocou a lise do citoplasma da hifa, resultando no extravasamento celular. Resultados também observados neste trabalho. Ademais, diversos estudos têm demonstrado que os OEs podem provocar diferentes alterações estruturais nas hifas fúngicas, comprometendo o crescimento e a viabilidade do fungo. Nesse sentido, Wei *et al.* (2021) avaliaram que o efeito do citral aplicado a $0,20 \mu\text{L mL}^{-1}$ em *B. dothidea*, provoca hifas enrugadas e com depressões na superfície. Já durante o tratamento com citral a $0,4 \mu\text{L mL}^{-1}$, as hifas encolheram e demonstraram deformações severas. Gutiérrez-Pacheco *et al.* (2023), ao testar o mesmo fungo, explicam que a aplicação do citral resultou em perda de conteúdo celular e distorção do micélio. Observações em relação a ação do limoneno a $8,32 \mu\text{L mL}^{-1}$ contra *Fusarium oxysporum*, revelaram que as hifas tratadas com esse componente apresentaram aspecto fino, enrugado, sem padrões de crescimento, torções e emaranhados, evidenciando alterações micro e macroscópicas (Xia e Dong, 2025). OuYang *et al.*, (2019), ao testarem o cinamaldeído a uma concentração de $0,25 \mu\text{L mL}^{-1}$ em *G. citri-aurantii*, observaram manifestação de superfícies rasgadas, achatadas, distorcidas e encolhidas nas hifas. As alterações morfológicas das hifas podem estar relacionadas à reação enzimática entre os compostos bioativos dos OEs e a estrutura da parede celular, impactando diretamente a morfogênese e o crescimento dos fungos (Zulu *et al.*, 2023). Dessa forma, evidencia-se a capacidade dos OEs em alterar a morfologia das hifas, corroborando para a redução do crescimento e do desenvolvimento desses microrganismos.

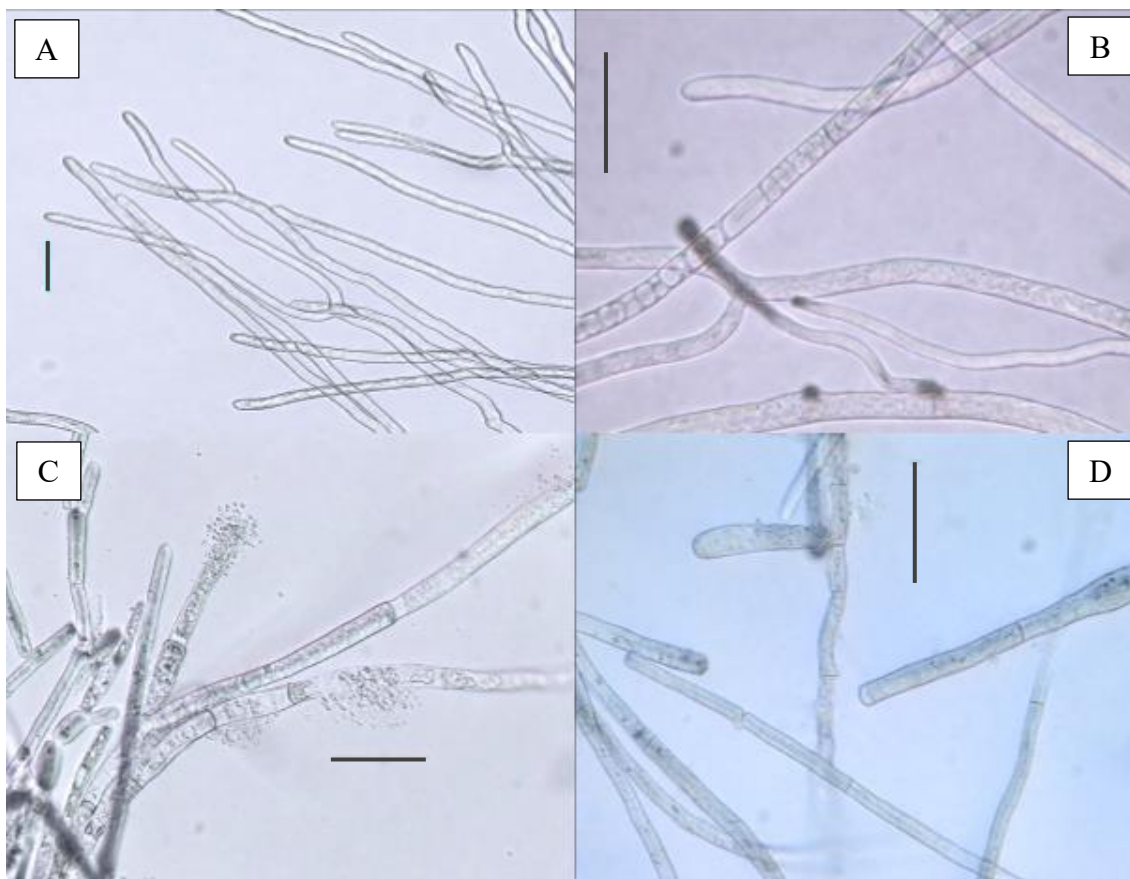


Figura 6. Análise morfológica das hifas de *Geotrichum citri-aurantii* observados em lente objetiva de 40x. (A) Testemunha. (B) Vacúolos e desorganização celular encontrado no OE de laranja Pêra. (C) Extravasamento citoplasmático encontrado no OE de cravo-da-índia. (D) Rompimento da hifa observada no OE de cravo-da-índia. Escala = 20μm.

6. CONCLUSÃO

- Os óleos essenciais de canela e cravo-da-índia apresentaram atividade antifúngica contra *Geotrichum citri-aurantii* desde a menor concentração (0,25 $\mu\text{L mL}^{-1}$).
- O óleo essencial de capim-limão apresentou ação antifúngica a partir de 1,0 $\mu\text{L mL}^{-1}$, equiparando-se aos demais nas concentrações mais elevadas.
- O óleo essencial de laranja Pêra não apresentou atividade antifúngica, induzindo o desenvolvimento do patógeno nas concentrações mais elevadas (8,0 e 16,0 $\mu\text{L mL}^{-1}$).
- Os tratamentos com cravo-da-índia, capim-limão e laranja Pêra promoveram alterações morfológicas nas hifas, como vacuolização (laranja Pêra, capim-limão e cravo-da-índia), desorganização citoplasmática (laranja Pêra, capim-limão e cravo-da-índia), extravasamento do conteúdo celular (cravo-da-índia) e rompimento das hifas (cravo-da-índia).

- Os resultados evidenciam o potencial dos óleos essenciais de canela, cravo-da-índia e capim-limão como alternativas promissoras no controle da podridão azeda.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAMS, Robert P. Identification of essential oil components by gas chromatography/mass spectrometry. Carol Stream, IL, USA: Allured publishing corporation, 2007.

AFFONSO, R. S. *et al.* Aspectos Químicos e Biológicos do Óleo Essencial de Cravo da Índia. **Revista de Química**, 2012. Disponível em: <https://rvq-sub.sbq.org.br/index.php/rvq/article/view/254/234>. Acesso em: 10 abr. 2026.

ALFENAS, A. C., ZAUZA, E. A. V. e MAFIA, R.G. Métodos em Fitopatologia. Capítulo 4 – Produção, Determinação e Calibração da Concentração de Inóculo em Suspensão. Universidade Federal de Viçosa. Pág. 103, Ed. UFV, ISBN: 978-85-7269-302-8, 2007.

ALLAGUI, M. B; MOUMNI, M; ROMANAZZI, G. Antifungal Activity of Thirty Essential Oils to Control Pathogenic Fungi of Postharvest Decay. **Antibiotics**, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/antibiotics13010028>.

ANARUMA, N.D. *et al.* Control of *Colletotrichum gloeosporioides* (Penz.) Sacc. in yellow passion fruit using *Cymbopogon citratus* essential oil. **Brazilian Journal of Microbiology**, v.41, n.1, p.66-73, 2010.

ANTUNES, M.D.C e CAVACO, A.M. The use of essential oils for postharvest decay control. A review. **Flavour and Fragrance Journal**, p.351-366, 2010.

AQUINO, C. F. *et al.* Composição química e atividade in vitro de três óleos essenciais sobre *Colletotrichum gloeosporioides* do maracujazeiro. **Rev. Bras. Pl. Med.**, Campinas, v.16, n.2, supl. I, p.329-336, 2014.

ASCENÇÃO, V.L; FILHO, V.E.M. Extração, Caracterização Química e Atividade Antifúngica de Óleo Essencial *Syzygium aromaticum* (cravo da índia). *Cad. Pesq.*, São Luís, v. 20, n. especial, julho 2013.

ASSUNÇÃO, G. V. Caracterização Química e Avaliação da Atividade Larvicida Frente ao *Aedes aegypti* do Óleo Essencial da Espécie *Citrus Sinensis* L. Osbeck (Laranja Doce). Universidade Federal do Maranhão, 2013. Disponível em:

<http://www.tedebc.ufma.br:8080/jspui/bitstream/tede/954/1/Dissertacao%20Gilson%20Vitorino.pdf>. Acesso em: 10 abr. 2026.

BARRAQUI, N. S. G. *et al.* Control of *Colletotrichum plurivorum* on Papaya Using a Nanoemulsion of *Schinus terebinthifolia* (Pink Pepper) Essential Oil. **Journal of Phytopathology**, 2026. DOI: <https://doi.org/10.1111/jph.70308>.

BASTOS, C.N. Efeito do óleo de *Piper aduncum* sobre *Crinipelis* e outros fungos fitopatogênicos. **Fitopatologia Brasileira**, v.22, n.3, p.441-3, 1997.

BATIHA, G. E. S. *et al.* *Syzygium aromaticum* L. (Myrtaceae): Traditional Uses, Bioactive Chemical Constituents, Pharmacological and Toxicological Activities. **Biomolecules**, 2020, 10, 202. DOI: <https://doi.org/10.3390/biom10020202>.

BATT, C., *et al.* Effect of volatile components of carrot seed oil on growth and aflatoxin production by *Aspergillus parasiticus*. **Journal of Food Science**, v. 48, p. 762-768, 1983.

BEG, A.Z; AHMAD, I. *In vitro* fungitoxicity of the essential oil of *Syzygium aromaticum*. **World Journal of Microbiology and Biotechnology** 18, 317–319 (2002). <https://doi.org/10.1023/A:1015242901360>.

BENIAICH, G. *et al.* Chemical Characterization, Antioxidant, Insecticidal and Anti-Cholinesterase Activity of Essential Oils Extracted from *Cinnamomum verum* L. **Separation**, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/separations10060348>.

BIZZO, H. R. e REZENDE, C. M. O Mercado de Óleos Essenciais no Brasil e no Mundo na Última Década. **Quim. Nova**, Vol. 45, No. 8, 949-958, 2022. DOI: <http://dx.doi.org/10.21577/0100-4042.20170889>.

BROWN, G. E. e ECKERT, J. W. Sour rot. In: TIMMER, L. W.; GARNSEY, S. M.; GRAHAM, J. H. (Ed.). *Compendium of citrus diseases*. St. Paul: APS Press, 2000. p. 43-43.

BUSATO, N. V. *et al.* Estratégias de modelagem da extração de óleos essenciais por hidrodestilação e destilação a vapor. **Engenharia Rural • Cienc. Rural** 44, Set 2014. DOI: <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20121330>.

CAMARGO, T. M. *et al.* Composição Química e Atividade Antioxidante de Capim-Limão. **XXI de Pós-Graduação**, 2019. Disponível em: https://cti.ufpel.edu.br/siepe/arquivos/2019/CA_04657.pdf. Acesso em: 10 abr. 2026.

CARMICHAEL, J. W. The cellophane technique for studying morphology and hypha! fusions in fungi. 1956. *Mycologia* 48: 450-453.

CARNELOSSI, P.R. *et al.* Óleos essenciais no controle pós-colheita de *Colletotrichum gloeosporioides* em mamão. **Revista Brasileira de Plantas Medicinais**, v.11, n.4, p.399-406, 2009.

CAROLLO, E. M. e FILHO, H. P. S. Manual Básico de Técnicas Fitopatológicas. Embrapa Mandioca e Fruticultura BA, Cruz das Almas, 2016.

CHEN, C. *et al.* Clove Essential Oil as an Alternative Approach to Control Postharvest Blue Mold Caused by *Penicillium italicum* in Citrus Fruit. **Biomolecules** 2019, 9(5), 197. DOI: <https://doi.org/10.3390/biom9050197>.

CITRUSBR. Estoques auditados em 30 de junho de 2025. CitrusBR: Associação Nacional dos Exportadores de Sucos Cítrico. 2025. Disponível em: <https://citrusbr.com/noticias/estoques-auditados-em-30-de-junho-de-2025/>. Acesso em: 05 mar. 2026.

COELHO, B. E. S. *et al.* Atributos físico-químicos de frutos de laranja 'Pêra' produzidos sob sistemas de cultivo orgânico e convencional. **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, v.5, n.1. 128-137, 2019.

COLIN-ÁLVAREZ, M. L. *et al.* Antifungal effect of the edible coating added with cinnamon essential oil (*Cinnamomum verum*) on the shelf life of strawberries (*FragariaXananassa*). **AGRO PRODUCTIVIDAD**, 2025. <https://doi.org/10.32854/agrop.v18i1.2951>.

COSTA, A.R.T, *et al.* Ação do óleo essencial de *Syzygium aromaticum* (L.) Merr. & L.M.Perry sobre as hifas de alguns fungos fitopatogênicos. **Rev. Bras. Pl. Med.**, Botucatu, v.13, n.2, p.240-245, 2011.

CRUZ, A. B. *et al.* Ação de diferentes princípios ativos no controle da podridão azeda da laranja. **Revista Semiárido De Visu**, v. 13, n. 3, p. 1843-1861, dez. 2025. ISSN 2237-1966. DOI: 10.31416/rsdv.v13i3.1543.

DANTIGNY, P.; BENSOUSSAN, M., *et al.* Standardisation of methods for assessing mould germination: A workshop report. **International Journal of Food Microbiology**, Volume 108, Issue 2, 2006, Pages 286-291, ISSN 0168-1605, <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2005.12.005>.

- DAVY, M. *et al.* Antifungal effects of clove (*Syzygium aromaticum*) essential oil against *Colletotrichum gloeosporioides*, the fungus associated with papaya (*Carica papaya* L.) fruit anthracnose. *Int. J. Appl. Microbiol. Biotechnol. Res.*, 2020.
- DEVITE, F. T. *et al.* Lemon essential oil for controlling *Alternaria alternata* (Fr: Fr.) Keissler f. sp. Citri. **Fruit. Crop. Sci.**, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1590/3085-89092025307>.
- DHINGRA, O.D.; SINCLAIR, J.B., “Culture of Pathogens,” *Basic Plant Pathology Methods*, CRC Press, Boca Raton, 1985, pp. 11-47.
- DONGRE, P. *et al.* Botanical description, chemical composition, traditional uses and pharmacology of *Citrus sinensis*: An updated review. **Pharmacological Research - Modern Chinese Medicine**, Volume 8, September 2023, 100272. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.prmcm.2023.100272>.
- DUARTE, R. C. Estudo dos Compostos Bioativos em Especiarias (*Syzygium aromaticum* L, *Cinnamomum zeylanicum* Blume e *Myristica fragans* Houtt) Processadas por Radiação Ionizante. Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, 2014. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/85/85131/tde12022015142658/publico/2014DuarteEstudo.pdf>. Acesso em: 10 abr. 2026.
- FAO. FAOSTAT: Crops and livestock products. In: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2025. Disponível em: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>. Acesso em: 05 mar. 2026.
- FAVELA-HERNÁNDEZ, J. M. J. *et al.* Chemistry and Pharmacology of *Citrus sinensis*. **Molecules**, 2016, 21(2), 247. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules21020247>.
- FISCHER, I.H; LOURENÇO, S.A; AMORIM, L. Doenças pós-colheita em citros e caracterização da população fúngica ambiental no mercado atacadista de São Paulo. **Trop. plant pathol.** 33, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1982-56762008000300007>.
- FOLTINOVÁ, D. *et al.* Inhibitory Effect Of Essential Oils On The Growth Of *Geotrichum Candidum*. **Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences**, 2019. Disponível em: <https://office2.jmbfs.org/index.php/JMBFS/article/view/9007/3212>. Acesso em: 05 mar. 2026.

FORTUNE BUSINESS INSIGHTS. Lemongrass Oil Market Size, Share & Industrial Analysis. Disponível em: <https://www.fortunebusinessinsights.com/lemongrass-oil-market-106529>. Acesso em: 23 de mar. 2026.

FRANÇOIS, G. A. *et al.* Exploring the Citrus Sour Rot pathogen: biochemical aspects, virulence factors, and strategies for disease management - a review. *Fungal Biology Reviews*, Volume 41, September 2022, Pages 70-83. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fbr.2022.03.003>

FUNDECITRUS. Plataforma PES (Pesquisa de Estimativa de Safra). Araraquara: Fundecitrus, 2026. Disponível em: <https://www.fundecitrus.com.br/pes/#relatorios>. Acesso em: 05 mar. 2026.

GARCIA, R. *et al.* Antimicrobial activity and potential use of monoterpenes as tropical fruits preservatives. *Braz J Microbiol.* 2008;39:163-168.

GIRARDI, E.A, *et al.* Guia de reconhecimento dos citros em campo: Um guia prático para o reconhecimento em campo de variedades de laranja-doce e outras espécies de citros cultivadas no estado de São Paulo e Triângulo Mineiro. Fundecitrus, Araraquara, 2021.

GOMES, E. C. e NEGRELLE, R. R. B. Análise da cadeia produtiva do capim limão: estudo de caso. **Rev. Brás. Pl. Med.**, Campinas, v.17, n.2, p.201-209, 2015. DOI: 10.1590/1983-084X/10_077.

GOMES, M. F. M. Óleos essenciais: composição química, atividade antimicrobiana e desenvolvimento de um complexo de inclusão com ciclodextrina. Universidade Federal de Minas Gerais, 2015. Disponível em: https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/65479/1/Trabalho%20completo%20pdf_N%c3%83O%20DIVULGAR.pdf. Acesso em: 10 abr. 2026.

GULL-E-LAALA, IRSHAD, G., NAZ, F. *et al.* Suppression of *Fusarium sporotrichioides* initiating peach fruit rot with microencapsulated antifungal sachet of clove essential oil tablets. *Eur J Plant Pathol* 170, 851–865 (2024). DOI: <https://doi.org/10.1007/s10658-023-02771-3>.

GUTIÉRREZ-PACHECO, M. M. *et al.* Mechanisms and Applications of Citral's Antimicrobial Properties in Food Preservation and Pharmaceuticals Formulations. **Antibiotics**. 2023 Nov 9;12(11):1608. doi: 10.3390/antibiotics12111608.

HANIF, S. *et al.* Exogenic Application of Cinnamon Oil and Salicylic Acid Inhibits *Alternaria* Fruit Rot of Peach by Stimulating Defense-Related Enzymatic Activities. **J Plant Growth Regul** **44**, 5730–5745 (2025). Doi: <https://doi.org/10.1007/s00344-025-11793-6>.

HARO-GONZÁLEZ, *et al.* Clove Essential Oil (*Syzygium aromaticum* L. Myrtaceae): Extraction, Chemical Composition, Food Applications, and Essential Bioactivity for Human Health. **Molecules**, 2021, 26(21), 6387. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules26216387>.

HOOG, G. S.; SMITH, M. T.; GUÉHO, E. A revision of the genus *Geotrichum* and its teleomorphs. CBS: Baarn, 1986. 131 p. (Studies in mycology, n. 29).

HU, K. *et al.* Citral: A Plant-Derived Compound with Excellent Potential for Sustainable Crop Protection. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 2025. Disponível em: https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/acs.jafc.5c10997?ref=article_openPDF. Acesso em: 25 mar. 2026.

HUSSAIN, S. Z. *et al.* Citrus Fruits—Morphology, Taxonomy, Composition and Health Benefits. **Springer Nature**, Switzerland, 2021. DOI: 10.1007/978-3-030-75502-7_18.

IBGE. Produção de Cravo-da-Índia. SIDRA, 2017. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/cravo-da-india/br>. Acesso em: 27 mar. 2026.

IBGE. Produção de Laranja. SIDRA, 2024. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/laranja/br>. Acesso em: 30 mar. 2026.

IBGE. Tabela 5457 - Área plantada ou destinada a colheita, área colhida, quantidade produzida, rendimento médio e valor da Produção das lavouras temporárias e permanentes. SIDRA, 2025. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/5457>. Acesso em: 14 mar. 2026.

ITC. Trade Map. Trade statistics for international business development. Graf – Growth of Countries’ Exports. Disponível em: https://www.trademap.org/Country_SelProduct_Graph.aspx?nvpm=1%7c%7c%7c%7c%7c3301%7c%7c%7c4%7c1%7c1%7c2%7c1%7c1%7c2%7c1%7c1%7c2. Acesso em: 17 mar. 2026.

JESUS, P. R. R. Desempenho Horticultural de Cultivares de Bananeira em Cultivo Consorciado com Capim-Limão. Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Dissertação de Doutorado, Botucatu, 2024.

- Ji, Y, *et al.* Effects of Plant Essential Oil Treatment on the Growth of Pathogenic Fungi and the Activity of Defense-Related Enzymes of Fungi-Inoculated Blueberry. **Horticulturae**, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/horticulturae10040318>.
- JU, J. *et al.* Synergistic inhibition effect of citral and eugenol against *Aspergillus niger* and their application in bread preservation. **Food Chem.** 2020;310:125974. doi: 10.1016/j.foodchem.2019.125974.
- KAMSU, N.P. *et al.* Antifungal activities of essential oils of cinnamon (*Cinnamomum zeylanicum*) and lemongrass (*Cymbopogon citratus*) on crown rot pathogens of banana. **Indian Phytopathology** **72**, 131–137 (2019). <https://doi.org/10.1007/s42360-018-0104-1>.
- KARA, M. Determination of chemical compositions of rosemary and sweet marjoram essential oils and their blends and their antifungal potential against potato rubbery rot disease agent *Geotrichum candidum*. **J Plant Pathol** **106**, 1173–1186 (2024). <https://doi.org/10.1007/s42161-024-01640-0>.
- KHAMSAW, P. *et al.* Bio-Circular Perspective of Citrus Fruit Loss Caused by Pathogens: Occurrences, Active Ingredient Recovery and Applications. **Horticulturae**, 2022. Doi: <https://doi.org/10.3390/horticulturae8080748>.
- KISHORE, G. K. *et al.* S. Evaluation of essential oils and their components for broad-spectrum antifungal activity and control of late leaf spot and crown rot diseases in peanut. **Plant Dis.** **2007**, *91*, 375–379.
- KLEIN M. N. e KUPPER, K. C. Biofilm production by *Aureobasidium pullulans* improves biocontrol against sour rot in citrus. **Food Microbiology**, Volume 69, Pages 1-10, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fm.2017.07.008>.
- LAALA, G. E. *et al.* Suppression of *Fusarium sporotrichioides* initiating peach fruit rot with microencapsulated antifungal sachet of clove essential oil tablets. **European Journal of Plant Pathology**, Volume 170, pages 851–865, 2023.
- LAWAL, O. A. *et al.* Chapter 18 - *Cymbopogon citratus*. **Medicinal Spices and Vegetables from Africa**, 2017, Pages 397-423. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809286-6.00018-2>.
- LI, M. J.; LI, H. H. Research progress on inhibitors and inhibitory mechanisms of mycotoxin biosynthesis. **Mycotoxin Res.** **2024**, *40* (4), 483–494. DOI: 10.1007/s12550-024-00553-2.

LIN, H. *et al.* D-Limonene: Promising and Sustainable Natural Bioactive Compound. **Appl. Sci.** 2024, 14(11), 4605. DOI: <https://doi.org/10.3390/app14114605>.

LORENZETTI, E.R. *et al.* Bioatividade de óleos essenciais no controle de *Botrytis cinerea* isolado de morangueiro. **Revista Brasileira de Plantas Medicinais**, v.13, especial, p.619-627, 2011.

LOU, D. *et al.* Inhibitory effect and action mechanism of citral against black rot in pitaya fruit. **Physiological and Molecular Plant Pathology**, Volume 131, May 2024, 102275. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pmpp.2024.102275>.

MA, Y. *et al.* Atividade fungicida de óleos essenciais de *Cinnamomum Cassia* contra fungos patogênicos da doença Panax (2019). <https://doi.org/10.1002/cbdv.201900416>.

MACHADO, B.I. Controle da Podridão Azeda em Frutos Cítricos Através de Métodos Alternativos. Universidade Federal de São Carlos, Araras SP, 2018. Disponível em: https://repositorio.ufscar.br/bitstream/handle/ufscar/9608/MACHADO_Bianca_2018.pdf?sequence=4&isAllowed=y. Acesso em: 13 mar. 2026.

MAIA, T.F, *et al.* Review: Atividade Antifúngica de Óleos Essenciais de Plantas. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.17, n.1, p.105-116, 2015.

MANI-LÓPEZ, E.; CORTÉS-ZAVALA, O.; LÓPEZ-MALO, A. A review of the methods used to determine the target site or the mechanism of action of essential oils and their components against fungi. **SN Appl. Sci.** 3, 44 (2021). <https://doi.org/10.1007/s42452-020-04102-1>.

MARTINS, E.R.; CASTRO, E.M; CASTELLANI, D.C.; DIAS, J.E. Plantas medicinais. Viçosa, MG: UFV, 220p, 2003.

MARTINS, G. P; BICAS, J. L; MOREIRA, R. C. Controle da Podridão Azeda em Laranjas pela Aplicação de Nanoemulsão de α - Terpineol. XXIX Congresso de Iniciação Científica, UNICAMP, 2021. Disponível em: <https://prp.unicamp.br/inscricao-congresso/resumos/2021P18320A35980O4739.pdf>. Acesso em: 16 mar. 2026.

MASOUD, S. A. *et al.* STUDYING THE EFFICIENCY OF SOME NANOPARTICLES ON SOME PLANT PATHOGENIC FUNGI AND THEIR EFFECTS ON HYPHAL MORPHOLOGY. **Iraqi Journal of Agricultural Sciences**, 2022. DOI: <https://doi.org/10.36103/ijas.v53i6.1664>.

MONK, B.C.; GOFFEAU, A. Outwitting multidrug resistance to antifungals. **Science**, 2008, 321, 367–369.

MORAIS, L.A.S. Óleos essenciais no controle fitossanitário. 2009. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/580600/1/2009CL08.pdf>. Acesso em: 27 mar. 2026.

MORDOR INTELLIGENCE. Análise de Tamanho e Participação do Mercado do Cravo – Tendências de Crescimento e Previsões (2025-2030). Disponível em: <https://www.mordorintelligence.com/pt/industry-reports/global-clove-market>. Acesso em: 27 mar. 2026.

MORDOR INTELLIGENCE. *Cinnamon Market - Size, Share & Industry Analysis*. 2026. Disponível em: <https://www.mordorintelligence.com/pt/industry-reports/cinnamon-market>. Acesso em: 20 mar. 2026.

MOURA, V. A. *et al.* Antifungal Activity of Citrus Essential Oil in Controlling Sour Rot in Tahiti Acid Lime Fruits. **Plants**, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants13213075>.

NEGRELLE, R. R. B. e GOMES, E. C. *Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf: chemical composition and biological activities. **Rev. Bras. Pl. Med.**, Botucatu, v.9, n.1, p.80-92, 2007.

OLIVEIRA, J.A. Efeito do tratamento fungicida em sementes no controle de tombamento de plântulas de pepino (*Cucumis sativas* L.) e pimentão (*Capsicum annanum* L.). 1991.111 f. Dissertação (Mestrado em Fitossanidade) - Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras, 1991.

OLIVEIRA, R. P. *et al.* Podridão Azeda em Citros. Embrapa Clima Temperado, Documento 418, Pelotas, RS, 2016. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1070250/1/Documento418.pdf>. Acesso em: 13 mar. 2026.

OUYANG, Q. *et al.* Cinnamaldehyde Exerts Its Antifungal Activity by Disrupting the Cell Wall Integrity of *Geotrichum citri-aurantii*. **Front. Microbiol.**, vol. 10, 2019. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/journals/microbiology/articles/10.3389/fmicb.2019.00055/full>. Acesso em: 10 mar. 2026.

PACHECO, M. M. G. *et al.* Mecanismos e aplicações das propriedades antimicrobianas do Citral na preservação de alimentos e formulações farmacêuticas. **Antibiotics**, 2023. Doi:10.3390/antibiotics12111608.

PAES, S.A. Diversidade Genética de isolados de *Geotrichum* spp. Associados a Podridões Pós-Colheita Em Frutas e Hortaliças No Brasil. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa MG, 2016. Disponível em: <https://www.locus.ufv.br/bitstream/123456789/8461/5/texto%20completo.pdf>. Acesso em: 05 mar. 2026.

PAN, C. *et al.* Cinnamaldehyde triggers fungal apoptosis in *Fusarium solani* by impairing cell structures and antioxidant defense through restricting glucose availability. **Food Bioscience**, Volume 69, July 2025, 106889. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2025.106889>.

PERUMAL, A.B. *et al.* Effects of Essential Oil Vapour Treatment on the Postharvest Disease Control and Different Defence Responses in Two Mango (*Mangifera indica* L.) Cultivars. **Food Bioprocess Technol** 10, 1131–1141 (2017). <https://doi.org/10.1007/s11947-017-1891-6>.

PHU, H.H. *et al.* Extraction, Chemical Compositions and Biological Activities of Essential Oils of *Cinnamomum verum* Cultivated in Vietnam. **Processes**, 10, 1713, 2022. <https://doi.org/10.3390/pr10091713>.

PRINCE, C. L.; VIEIRA, I. J. C; FREITAS, S. P. Growth regulators and essential oil production. **Braz. J. Plant Physiol.** 22 (2), 2010. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1677-04202010000200003>.

REGNIER, T. *et al.* Application of essential oils as multi-target fungicides for the control of *Geotrichum citri-aurantii* and other postharvest pathogens of citrus. **Ind. Crops Prod.** 2014, 61, 151–159. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.05.052>.

REZENDE, J. L. *et al.* Antifungal potential of essential oils from two varieties of *Citrus sinensis* (lima orange and bahia navel orange) in postharvest control of *Rhizopus stolonifer* (Ehrenb.: Fr.) Vuill. **Food Science and Technology**, v. 40, p. 405-409, 2020.

SANTOS, L. G. M. *et al.* Avaliação do Potencial Fungitóxico do Óleo Essencial de *Syzygium aromaticum* (L.) Merr & Perry (Cravo-da-Índia). **Tecno-lógica**, Santa Cruz do Sul, v. 11, n. 1, p. 11-14, 2007.

SANTOS, P.L, *et al.* Efeito de óleos essenciais no desenvolvimento *in vitro* de *Phomopsis sojae*. Sociedade Brasileira de Plantas Medicinais, Revista Brasileira de Plantas Medicinais, 2021.

SHARMA, N; TRIPATHI, A. Effects of *Citrus sinensis* (L.) Osbeck epicarp essential oil on growth and morphogenesis of *Aspergillus niger* (L.) Van Tieghem. **Microbiological Research**, Volume 163, Issue 3, 1 May 2008, Pages 337-344. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.micres.2006.06.009>.

SHARMA, N; TRIPATHI, A. Fungitoxicity of the essential oil of *Citrus sinensis* on post-harvest pathogens. *World J Microbiol Biotechnol* **22**, 587–593 (2006). DOI: <https://doi.org/10.1007/s11274-005-9075-3>.

SILVA, A. M. Eficiência de Tecnologias Limpas no Controle da Podridão Azeda em Laranja ‘Lima’. Universidade Estadual de Campinas, Campinas-SP, 2022.

SILVA, A. M. *et al.* Efficiency of Essential Oils and Their Constituents in the Control of *Geotrichum citri-aurantii* and *Penicillium digitatum* of Oranges. **Arabian Journal for Science and Engineering**, 2025.

SOUZA, R. L. *et al.* Avaliação da atividade antifúngica dos óleos essenciais de andiroba e copaíba e suas diferentes combinações no controle do fungo *Sclerotium rolfsii*. **Scientia Naturalis**, v.1, n.1, 2019.

STANGARLIN, J. R. *et al.* A defesa vegetal contra fitopatógenos. **Scientia Agrária Paranaensis**, v. 10, n. 1, p. 18-46, 2011.

STEFFANS, A. H. Estudo da Composição Química dos Óleos Essenciais Obtidos por Destilação por Arraste a Vapor em Escala Laboratorial e Industrial. Pontífica Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Dissertação de Mestrado, 2010. Disponível em: <https://tede2.pucrs.br/tede2/bitstream/tede/3155/1/423851.pdf>. Acesso em: 16 mar. 2026.

TALIBI, I, *et al.* Antifungal activity of some Moroccan plants against *Geotrichum candidum*, the causal agent of postharvest citrus sour rot, *Crop Protection*, Volume 35, 2012, Pages 41 46, ISSN 0261-2194. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0261219411004078>. Acesso em: 13 mar. 2026.

TANG, X. *et al.* Antifungal activity of essential oil compounds (geraniol and citral) and inhibitory mechanisms on grain pathogens (*Aspergillus flavus* and *Aspergillus ochraceus*). **Molecules**, 2018, 23 (9), 2108. DOI: 10.3390/molecules23092108.

THOMIDIS, T. *et al.* Effect of temperature on the growth of *Geotrichum candidum* and chemical control of sour rot on tomatoes. *Tropical Plant Pathology*, v. 46, p. 545-552, agos. 2021.

TZORTZAKIS, N. G. e ECONOMAKIS, C. D. Antifungal activity of lemongrass (*Cymbopogon citratus* L.) essential oil against key postharvest pathogens. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 2007. Doi:10.1016/j.ifset.2007.01.002.

VIUDA-MARTOS, M. *et al.* Antifungal activity of lemon (*Citrus lemon* L.), mandarin (*Citrus reticulata* L.), grapefruit (*Citrus paradisi* L.) and orange (*Citrus sinensis* L.) essential oils. **Food control**, v. 19, n. 12, p. 1130-1138, 2008.

WANG, Y. *et al.* Cinnamaldehyde inhibits the growth of *Phytophthora capsici* through disturbing metabolic homeostasis. *PeerJ* 9:e11339 <https://doi.org/10.7717/peerj.11339>.

WEI, L. *et al.* Possible fungicidal effect of citral on kiwifruit pathogens and their mechanisms of actions. **Physiol. Mol. Plant Pathol.** 2021, 114, 101631.

WU, M. *et al.* Terpenoids and Their Biological Activities from *Cinnamomum*: A Review. **J. Chem.** 2020, 2020, 1–14.

WU, Y. *et al.* Cinnamaldehyde inhibits the mycelial growth of *Geotrichum citri-aurantii* and induces defense responses against sour rot in citrus fruit. **Postharvest Biology and Technology**, Volume 129, July 2017, Pages 23-28. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2017.03.004>.

WURYATMO, E. *et al.* Effect of volatile citral on the development of blue mould, green mould and sour rot on navel orange. *Australasian Plant Pathol.* **43**, 403–411 (2014). <https://doi.org/10.1007/s13313-014-0281-z> XIA, Q; DONG, P. Antifungal activity and mechanism of limonene against *Fusarium oxysporum*, a pathogen of potato dry rot. *BioRxiv*, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1101/2025.10.06.675995>.

XING, F. *et al.* Growth inhibition and morphological alterations of *Fusarium verticillioides* by cinnamon oil and cinnamaldehyde. **Food Control**, Volume 46, December 2014, Pages 343-350. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2014.04.037>.

YANG, L. *et al.* Cinnamaldehyde Inhibits Postharvest Gray Mold on Pepper Fruits via Inhibiting Fungal Growth and Triggering Fruit Defense. *Foods*, 2023. Doi: <https://doi.org/10.3390/foods12183458>.

ZACARIAS, L. *et al.* Chapter 21 - Postharvest technology of citrus fruits. The Genus Citrus, p. 421-446, 2020.

ZHAO, J. *et al.* Genome sequencing and transcriptome analysis of *Geotrichum citri-aurantii* on citrus reveal the potential pathogenic- and guazatine-resistance related genes. Genomics, v. 112, nov. 2020.

ZHENG, S. *et al.* Citral exerts its antifungal activity against *Penicillium digitatum* by affecting the mitochondrial morphology and function. **Food Chem.** 2015;178:76–81. doi: 10.1016/j.foodchem.2015.01.077.

ZHOU, H; TAO, N; JIA, L. Antifungal activity of citral, octanal and α -terpineol against *Geotrichum citri-aurantii*. **Food Control**, Volume 37, March 2014, Pages 277-283. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2013.09.057>.

ZULU, L. *et al.* Antifungal effects of seven plant essential oils against *Penicillium digitatum*. **Chem. Biol. Technol. Agric.** 10, 82 (2023). DOI: <https://doi.org/10.1186/s40538-023-00434-3>.

ZUNKELLER, B. A. *et al.* Chemical composition and antifungal activity of mandarin essential oils on the in vitro control of *Colletotrichum abscissum*. Pesqui. Agropecu. Trop., Goiânia, v. 56, e85180, ISSN 1983-4063, 2026.