



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



ANA CAROLINA VIDOTTE BEDO

**ATIVIDADE ANTIFÚNGICA DE ÓLEOS ESSENCIAIS DE CITROS NO
CONTROLE DO BOLOR VERDE (*Penicillium digitatum* Sacc.) E BOLOR
AZUL (*Penicillium italicum* Wehmer)**

ARARAS - SP

2025



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



ANA CAROLINA VIDOTTE BEDO

**ATIVIDADE ANTIFÚNGICA DE ÓLEOS ESSENCIAIS DE CITROS NO
CONTROLE DO BOLOR VERDE (*Penicillium digitatum* Sacc.) E BOLOR
AZUL (*Penicillium italicum* Wehmer)**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Agrônoma – CCA – UFSCar para a obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.

Orientadora: Prof^ª Dr^ª Patrícia Marluci da Conceição

Coorientadora: Dr^ª Vanessa Santos Moura

ARARAS - SP

2025

**Dedico este trabalho aos meus avós
Ardelino, Elci, Neide e em memória ao meu
avô Mario. Aos meus pais Flávia e Marcelo e
ao meu namorado Vinícius.**

AGRADECIMENTOS

A conclusão deste trabalho representa não apenas o encerramento de uma etapa acadêmica, mas também a soma de esforços, incentivos e aprendizados que recebi ao longo dessa caminhada. Agradeço primeiramente a Deus, pela saúde, força e sabedoria concedidas durante toda a trajetória. Agradeço aos meus pais Flávia e Marcelo, pelo amor e incentivo constante e por acreditarem em mim mesmo nos momentos mais difíceis. Agradeço ao meu namorado Vinicius por me ajudar e me acompanhar em todos os momentos difíceis sem que eu deixasse de acreditar em mim mesma e na minha capacidade.

Agradeço à Universidade Federal de São Carlos, pela excelência em ensino e pelas oportunidades proporcionadas ao longo dos anos. Agradeço aos meus professores e orientadores, em especial a Dr^a. Patrícia Marluci da Conceição pela dedicação, paciência e valiosas contribuições para o desenvolvimento deste trabalho e minha coorientadora Dr^a. Vanessa Santos Moura pela paciência, orientação, sabedoria e incentivo, que foram essenciais para minha evolução como profissional e como pessoa.

Um agradecimento especial ao Dr. Fernando Alves de Azevedo, que proporcionou minha entrada no grupo GD Citros no Instituto Agronômico de Campinas – Centro de Citricultura Sylvio Moreira (IAC/CCSM), onde tive a oportunidade de ingressar como estagiária e contribuir com pesquisas através de iniciações científicas, onde adquiri inúmeros conhecimentos e partilhei bons momentos com os colegas de grupo. Agradeço ao CNPq pelas bolsas de iniciação científica, além de que devo também agradecer-los por todo recuso para que esse trabalho fosse realizado.

Agradeço às minhas amigas Isadora, Lara e Julia por tornarem a vida universitária leve e descontraída. A todos que, de alguma forma, fizeram parte dessa jornada, deixo minha sincera gratidão.

**“Diga o que você pensa com esperança.
Pense no que você faz com fé.
Faça o que você deve fazer com amor!”**

**Ana Carolina
Cantora/Compositora**

RESUMO

Os bolores verde e azul, causados respectivamente pelos fungos *Penicillium digitatum* e *Penicillium italicum*, representam importantes problemas na citricultura por provocarem perdas significativas e comprometerem a qualidade comercial dos frutos na pós-colheita. Objetivou-se com este trabalho avaliar a atividade antifúngica de óleos essenciais (OEs) extraídos de diferentes genótipos cítricos no controle desses fitopatógenos. Foram utilizados óleos de limão Amber, Eureka, Harvey, Siciliano, laranja Pêra Rio IAC e mexerica Late IAC 585, também foram utilizados os OEs comerciais de laranja e limão, ambos da empresa Cisol. No experimento *in vitro*, a técnica de difusão em disco foi empregada para medir a inibição do crescimento micelial de *P. digitatum* e *P. italicum*. proporcionada pelos OEs. Os ensaios foram instalados em delineamento inteiramente casualizado (DIC), com cinco repetições, separadamente para cada fitopatógeno, em esquema fatorial 8x6, sendo oito tipos de OEs e concentrações de OE (0; 2,5; 7,5; 12,5; 17,5 e 100% (v/v)). No experimento *in vivo*, foi avaliada a eficácia dos OEs no controle do *P. italicum* em frutos de lima ácida Tahiti. Os frutos foram inoculados 24h antes (método de controle preventivo) e 24h após (método de controle curativo) a realização do tratamento com os OEs. O experimento foi instalado em DIC, em esquema fatorial 2x3x2+2, com três repetições, sendo dois métodos de controle (preventivo e curativo), três tipos de OE (extraído de laranja Pêra Rio e limão Harvey e o OE comercial de limão), três concentrações (12,5 e 17,5% (v/v)) e dois adicionais, controle positivo (concentração comercial do Imazalil) e controle negativo (água). Os resultados demonstraram que os OEs, nas concentrações avaliadas, não foram eficazes no controle do *P. digitatum*, sendo os halos de inibição semelhantes ao controle negativo (tratadas somente com água). Contudo, no controle de *P. italicum*, os óleos puros de Eureka, Late IAC 585 e limão comercial apresentaram halos de inibição superiores ao controle químico. No experimento com tratamento dos frutos de lima ácida Tahiti observou-se que o controle curativo foi mais eficiente, na concentração de 17,5%, com redução da incidência e severidade da doença. De forma geral, os resultados indicam que a eficiência dos OEs depende da variedade, da concentração e da estratégia de aplicação, sendo a abordagem curativa a mais promissora para o controle de *P. italicum* em pós-colheita.

Palavras-chave: Pós-colheita, lima ácida Tahiti, controle alternativo.

ABSTRACT

Green and blue molds, caused respectively by the fungi *Penicillium digitatum* and *Penicillium italicum*, represent significant issues in citrus farming due to their ability to cause considerable postharvest losses and compromise the commercial quality of fruits. This study aimed to evaluate the antifungal activity of essential oils (EOs) extracted from different citrus genotypes in the control of these phytopathogens. EOs from Amber, Eureka, Harvey, and Siciliano lemons, Pêra Rio IAC sweet orange, and Late IAC 585 mandarin were used, as well as commercial EOs from orange and lemon, both provided by Cisol. In the *in vitro* experiment, the disc diffusion method was applied to assess the inhibition of mycelial growth of *P. digitatum* and *P. italicum* by the EOs. The experiment followed a completely randomized design (CRD), with five replicates, in an 8×6 factorial scheme, consisting of eight types of EOs and five concentrations (0; 2,5; 7,5; 12,5; 17,5 and 100%). In the *in vivo* test, the effectiveness of EOs in controlling *P. italicum* was evaluated in Tahiti acid lime fruits. The fruits were inoculated 24 hours before (preventive method) and 24 hours after (curative method) EO treatment. The experiment was carried out in a CRD, in a $2 \times 2 \times 3 + 2$ factorial scheme, with three replicates, including two control methods (preventive and curative), three EO types (from Pêra Rio orange, Harvey lemon, and commercial lemon), three concentrations (0; 12,5 and 17,5%), and a positive control (Imazalil) and negative control (water). The results showed that the EOs were not effective against *P. digitatum*, as the inhibition zones were similar to those of the negative control (water only). However, for *P. italicum*, the pure EOs from Eureka, Late IAC 585, and commercial lemon exhibited higher inhibition than the chemical control. In Tahiti lime fruit treatment, the curative approach at 17,5% was more efficient, reducing disease incidence and severity. The results indicate that EO effectiveness depends on the genotype, concentration, and application strategy, with the curative method being the most promising for the postharvest control of *P. italicum*.

Keywords: Post-harvest, Tahiti acid lime, alternative control.

ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 1.** Cascas de limão Eureka congeladas para a extração de óleo essencial. 16
- Figura 2.** Equipamento de Destilação por Arraste a Vapor. 17
- Figura 3.** A) Placa com meio BDA. B) Distribuição uniforme dos inóculos com o auxílio da alça em L. C) Discos de papel estéreis no centro da placa. 18
- Figura 4.** A) Aplicação da suspensão de *Penicillium italicum*. B) Solução de óleo essencial. C) Frutos em imersão no fungicida Imazicure. D) Frutos armazenados em caixas de propileno. 19
- Figura 5.** A) Halos de inibição do crescimento micelial de *Penicillium digitatum* utilizando os óleos essenciais de Limão Comercial, Laranja Comercial, Mexerica Late e Laranja Pêra Rio, na técnica de difusão em disco de papel. B) Halos de inibição do crescimento micelial do *Penicillium digitatum* utilizando os óleos essenciais de Limão Eureka, Siciliano, Amber e Harvey, a técnica de difusão em disco de papel.
- Figura 6.** A) Halos de inibição do crescimento micelial de *Penicillium italicum* utilizando os óleos essenciais de Limão Comercial, Laranja Comercial, Mexerica Late e Laranja Pêra Rio, na técnica de difusão em disco de papel. B) Halos de inibição do crescimento micelial do *Penicillium italicum* utilizando os óleos essenciais de Limão Eureka, Siciliano, Amber e Harvey, a técnica de difusão em disco de papel.
- Figura 7.** Frutos de lima ácida Tahiti tratados curativamente com diferentes óleos essenciais (OEs) na concentração 17,5%. A) OE de limão Harvey. B) OE de laranja Pêra Rio IAC. C) OE de limão comercial. D) Tratamento com fungicida comercial (controle positivo). E) Controle negativo (somente água). 29

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1.** Halos de inibição do crescimento micelial (cm) do *Penicillium digitatum*. 21
- Tabela 2.** Halos de inibição do crescimento micelial (cm) do *Penicillium italicum*. 25
- Tabela 3.** Incidência e Área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) do bolor azul, causada por *Penicillium italicum*, em frutos de lima ácida Tahiti, tratados com os óleos essenciais extraídos de limão Harvey, laranja Pêra Rio IAC e limão comercial. 28
- Tabela 4.** Incidência de bolor azul, causado por *Penicillium italicum*, em frutos de lima ácida Tahiti submetidos ao controle preventivo e curativo com óleos essenciais nas concentrações de 12,5 e 17,5%. 28
- Tabela 5.** Área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) do bolor azul, causado por *Penicillium italicum*, em frutos de lima ácida Tahiti submetidos ao controle preventivo e curativo com óleos essenciais nas concentrações de 12,5 e 17,5%. 29
- Tabela 6.** Incidência e área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) do bolor azul, causado por *Penicillium italicum*, em frutos de lima ácida 'Tahiti' tratados com água (controle negativo) e químico (controle positivo). 31

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
2. REVISÃO DE LITERATURA	12
2.1. Citricultura	12
2.2. Fungos de pós-colheita	13
2.2.1. <i>Penicillium digitatum</i>	14
2.2.2. <i>Penicillium italicum</i>	14
2.3. Óleos essenciais	15
3. OBJETIVOS	16
4. MATERIAL E MÉTODOS	16
4.1. Rendimento dos óleos essenciais	16
4.2. Experimento 1. Inibição <i>in vitro</i> do fungo <i>Penicillium digitatum</i> e <i>Penicillium italicum</i> .	17
4.3. Experimento 2. Eficácia dos óleos essenciais no controle do <i>P. italicum</i> , causador do bolor azul, em frutos de lima ácida Tahiti na pós-colheita	18
4.4. Análise dos dados	20
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	20
5.1. Rendimento dos óleos essenciais	20
5.2. Experimento 1. Inibição <i>in vitro</i> dos fitopatógenos <i>P. digitatum</i> e <i>P. italicum</i> .	20
5.3. Experimento 2. Eficácia dos óleos essenciais no controle do <i>P. italicum</i> , causador do bolor azul, em frutos de lima ácida Tahiti na pós-colheita	28
6. CONCLUSÃO	31
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	32

1. INTRODUÇÃO

Na citricultura, as doenças de pós-colheita de frutos são responsáveis por perdas significativas. Os fungos, responsáveis pelos bolores, são os principais causadores de perdas. Dentre os principais agentes etiológicos destacam-se o *Penicillium digitatum* Sacc, causador do bolor verde e *Penicillium italicum* Wehner, causador do bolor azul (SPADARO; DROBY, 2016). As principais práticas de controle desses patógenos incluem tratamento químico, irradiação e termoterapia. Porém, a dependência de fungicidas químicos como tiabendazol e imazalil levanta preocupações ambientais e de saúde, além do risco da seleção de fungos resistentes (BOUBAKER *et al.*, 2009). Diante disso, algumas alternativas vêm sendo pesquisadas para substituir total ou parcialmente o uso de fungicidas químicos, uma dessas medidas é a utilização dos óleos essenciais (OEs).

Estudos demonstram que os OEs extraídos de plantas atuam como fungicidas naturais, inibindo a atividade de fungos sem deixar resíduos tóxicos. Eles podem atuar tanto pela ação fungitóxica direta, inibindo o crescimento micelial e a germinação de esporos, quanto pela indução de fitoalexinas nas plantas (BIGATON *et al.*, 2013).

Para a produção dos OEs são utilizados flores, folhas, cascas, rizomas e frutos como matérias-primas, tendo como exemplo os OEs de rosas, eucalipto, canela, gengibre e laranja, respectivamente. Os OEs são amplamente utilizados nas indústrias de perfumaria, cosméticos, alimentos e como coadjuvantes em medicamentos. São empregados principalmente como aromas, fragrâncias, fixadores de fragrâncias, em composições farmacêuticas orais e comercializados na sua forma bruta ou beneficiada, fornecendo substâncias purificadas como o limoneno, citral, citronelal, eugenol, mentol e safrol (BIZZO *et al.*, 2009). A extração dos OEs ocorre através da técnica de arraste a vapor, na grande maioria das vezes (BIZZO *et al.*, 2009). Na citricultura os OEs são geralmente obtidos por prensagem a frio, como subproduto do processo de fabricação de suco (BIASI; DESCHAMPS, 2009).

A utilização de OEs como alternativa ao tratamento químico tradicional pode proporcionar uma série de benefícios, incluindo a redução da dependência de fungicidas sintéticos; minimização do risco da seleção de fungos patogênicos resistentes; sustentabilidade ambiental com a diminuição do impacto ambiental associado ao uso de fungicidas químicos; segurança alimentar com a redução dos resíduos tóxicos nos alimentos, melhorando a segurança para os consumidores. Além disso, o aproveitamento de subprodutos, utilizando resíduos da indústria de sucos para a extração de OEs, promove uma economia circular (SILVA *et al.*, 2008).

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Citricultura

A citricultura é uma das principais atividades agrícolas do mundo, especialmente no Brasil, que ocupa uma posição de liderança na produção mundial de laranja e na exportação de suco concentrado dessa fruta (CARVALHO *et al.*, 2019). Segundo dados da FAOSTAT (2025), o Brasil lidera o ranking mundial da produção de laranja, com 17,6 milhões de toneladas, em 2023, enquanto a produção de limas e limões, corresponde ao sexto lugar, com uma produção de 1,7 milhões de toneladas. Na produção de tangerina, o Brasil ocupa o sétimo lugar, com uma produção de quase 1,1 milhões de toneladas.

As primeiras plantas cítricas foram introduzidas no Brasil pelos portugueses, que trouxeram as mudas da Espanha, logo no início da colonização. A citricultura subdividia-se basicamente nos seguintes produtos: a fruta *in natura* ou o suco da fruta (ZULIAN, 2013). Mas há outros produtos derivados das frutas que estão se destacando no setor, como é o caso dos OEs.

A cadeia produtiva de citros exerce um papel essencial na estrutura agroindustrial do Brasil, sendo fundamental para a economia do país devido à demanda econômica gerada pela comercialização das frutas. Além de favorecer o aumento da arrecadação de receitas, esse segmento influencia significativamente na geração de empregos (ZULIAN, 2013),

Na família Rutaceae o gênero *Citrus* é o mais importante, do ponto de vista econômico, em que se destacam as espécies do grupo das laranjas doces (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck); tangerinas (*Citrus reticulata* Blanco e *Citrus clementina* hort. ex Tanaka); mexericas (*Citrus deliciosa* Ten.); limões verdadeiros (*Citrus limon* (L.) Brum. F. e *Citrus aurantiifolia* (Christm.), Swingle); limas ácidas (*Citrus latifolia* (Yu.Tanaka) Tanaka); limas doces (*Citrus limettioides* Tanaka); pomelos (*Citrus paradisi* Macfad.), e cidras (*Citrus medica* L.) (BASTOS *et al.*, 2014).

As principais cultivares de laranjas doces utilizadas na citricultura brasileira são a Pêra, Valência, Natal e Folha Murcha, sendo as mais plantadas e comercializadas no Brasil, destinadas, principalmente, ao processamento para suco. As mexericas são conhecidas pelos seus frutos pequenos e levemente ácidos, e, principalmente, por exalar um intenso aroma característico, enquanto são descascadas. As principais variantes de mexericas são a Rio, Ponkan e a ‘Montenegrina’, provável híbrido de Rio com Murcott (BASTOS *et al.*, 2014).

O tangor Murcott (*Citrus reticulata* Blanco × *Citrus sinensis* (L.) Osbeck) e a tangerina Ponkan (*Citrus reticulata* Blanco) são importantes variedades cultivadas no estado de São

Paulo, representando boa parte da produção de tangerinas e híbridos (CHIARINI *et al.*, 2017). As limas e limões destacam-se por ter o sistema de cultivo mais simples e possuir menor custo de produção. São frutas cítricas que apresentam maior teor de acidez, isso inclui tanto os limões verdadeiros, como o limão Siciliano (*Citrus limon* L) e as limas ácidas, como as cultivares Tahiti (*Citrus latifolia* Yu. Tanaka Tanaka) e Galego (*Citrus aurantifolia* Christm. Swingl). Ainda, podem ser encontrados limões híbridos, como é o caso do limão cravo (*Citrus × limonia* Osbeck), que consiste em um híbrido natural formado a partir da tangerineira (*C. reticulata* sensu Swingle) e o limoeiro verdadeiro (*C. limon* L. Burm. f.) (MARMITT *et al.*, 2016).

2.2. Fungos de pós-colheita

A qualidade dos frutos depende de fatores intrínsecos e manipulações durante a colheita e pós-colheita. A qualidade no momento da colheita pode ser preservada ou deteriorada com tratamentos subsequentes. Processos como coleta, transporte e processamento impactam a vida útil dos frutos, mesmo com tecnologias avançadas (POZZAN, 2004).

O setor citrícola vem enfrentando vários problemas fitossanitários com a ocorrência de pragas e doenças que limitam a sua produção. Bactérias, fungos e vírus acarretam danos econômicos bastante expressivos. Com isso, a aplicação de produtos químicos nos pomares, ou durante o beneficiamento dos frutos, ainda é o método mais utilizado para o controle da maioria das doenças de citros (MOURA *et al.*, 2019).

Com relação às doenças que ocorrem na fase de pós-colheita dos citros, os bolores verde e azul, causados por *Penicillium digitatum* e *Penicillium italicum*, respectivamente, e a podridão azeda, causada por *Geotrichum citri-aurantii* (Ferraris), que são doenças fúngicas, são as mais importantes, em termos econômicos, pois afetam não só a quantidade como a qualidade dos frutos cítricos, depreciando-os para o comércio *in natura* (MOURA *et al.*, 2019).

Para que haja uma minimização dos danos pós-colheita causados pelos fungos é necessário um armazenamento em condições adequadas de temperatura e umidade, estratégia eficaz para preservar a qualidade e prolongar o tempo de prateleira. Além disso, a higienização apropriada e a desinfestação dos locais de armazenamento dos frutos são essenciais, para reduzir os riscos associados aos inóculos de patógenos presentes na superfície da fruta proveniente do campo. Esses processos ajudam na retardação dos processos metabólicos e na diminuição da desidratação dos frutos e na ocorrência de podridões (BRACKMANN *et al.* 2008).

2.2.1. Bolor Verde

Esse fungo causa uma podridão macia de coloração verde, fazendo com que o fruto perca sua forma rapidamente. No começo da infecção, a área afetada mostra uma coloração mais escura que o normal e os tecidos perdem sua consistência firme, tornando-se mais macios. O fungo é favorecido pela alta umidade e excesso de chuvas, coincidindo, portanto, com a fase da maturação das variedades tardias, nas condições da citricultura brasileira. Ataca principalmente o grupo das laranjas e tangerinas (POZZAN, 2004).

A infecção ocorre através de ferimentos que atuam como porta de entrada para o patógeno. À medida que a deterioração avança, a totalidade da fruta é envolvida por uma quantidade considerável de esporos, os quais se dispersam facilmente pelo ar (FISCHER *et al.*, 2008).

2.2.2. Bolor Azul

Dentre os sintomas do bolor azul estão podridões moles nos frutos, recobrando-os com micélio branco e grande número de esporos com a coloração azul, com o passar do tempo, o local do sintoma torna-se esverdeado, se assemelhando com o bolor verde. Em frutas armazenadas a podridão azul pode se propagar de um fruto para outro por meio do contato, já que enzimas produzidas pelo fungo dissolvem a cutícula do fruto adjacente. A progressão da doença atinge seu ponto ideal em temperaturas de 22 a 24 °C; no entanto, é mais prevalente em frutas armazenadas em condições refrigeradas (PLAZA *et al.* 2003).

2.3. Óleos essenciais

Os OEs são líquidos aromáticos extraídos de plantas, podendo ser utilizado desde as sementes até as raízes, por diversos métodos, porém o mais comum é a destilação a vapor. Os OEs consistem em misturas complexas de terpenos, sesquiterpenos, e outros compostos (SIMÕES *et al.*, 2007). Embora todos os órgãos de uma planta possam acumular OE, sua composição pode variar segundo a localização na planta (ANDRADE, 2010). Dessa maneira, os OEs obtidos de diferentes órgãos de uma mesma planta podem apresentar composição química, características físico-químicas e odores bem distintos (MARINHO, 2010).

Os OEs se originam de dois compostos distintos: o acetil-CoA e o ácido chiquímico. O acetil-CoA é o precursor dos terpenóides, que representam a maior parte da composição química dos OEs. Por outro lado, o ácido chiquímico serve como precursor dos fenilpropanóides, que são compostos aromáticos (GOMES, 2011).

Devido ao uso constante de fungicidas sintéticos com o mesmo princípio ativo, os fungos fitopatogênicos vem se adaptando a eles, selecionando fungos resistentes, fazendo com que os fungicidas não tenham mais uma eficiência satisfatória. Além disso, existe grande pressão de órgãos e instituições governamentais, para que haja a redução da utilização de fungicidas sintéticos (SPADARO e DROBY, 2016). Diante disso, tem-se observado registro da eficiência dos OEs de inúmeras espécies botânicas em promover a inibição do desenvolvimento de vários fitopatógenos através da sua capacidade antifúngica (GOMES, 2011), contribuindo para um controle mais sustentável.

Os OEs têm o potencial de agir diretamente nos patógenos, através dos compostos presentes em sua composição, apresentando capacidade de modificar o potencial transmembrana, diminuindo a síntese de ATP e causando danos significativos no DNA e nas mitocôndrias, além de ativar mecanismos de defesa nas plantas, proporcionando resistência contra patógenos (BAKKALI et al., 2008; MAZARO et al., 2008; PIATI et al., 2017). Essas ações são importantes para o controle dos fitopatógenos, reduzindo o crescimento micelial, a esporulação e a germinação dos esporos. Conforme indicado por Lopes et al. (2001), onde a presença de terpenos, encontrados na composição dos óleos essenciais, apresentaram a capacidade de tornar a membrana celular do fungo permeável, resultando no escape de seu conteúdo.

No mercado internacional os OEs se destacam economicamente em países como a Índia, os EUA, a França, a China e o Brasil. Porém, quando falamos de volumes exportados, a Espanha assume o lugar da França entre os cinco primeiros (BIZZO, REZENDE, 2022). A contribuição do Brasil nesse cenário é especialmente notável devido aos OEs de cítricos, que são derivados da indústria de suco (BIZZO *et al.*, 2009).

Nos OEs extraídos de frutos cítricos há a presença do d-limoneno, componente principal, que se trata de um terpeno. Sua síntese se dá a partir do acetil-CoA, que faz parte de uma grande classe do metabolismo secundário, possui propriedades anticancerígenas, atuando na morte das células cancerosas e inibindo seu crescimento. Além disso, é utilizado como herbicida, inseticida e fungicida, tendo diversas aplicações industriais, como solvente e matéria-prima para compostos químicos (STEFFENS, 2010).

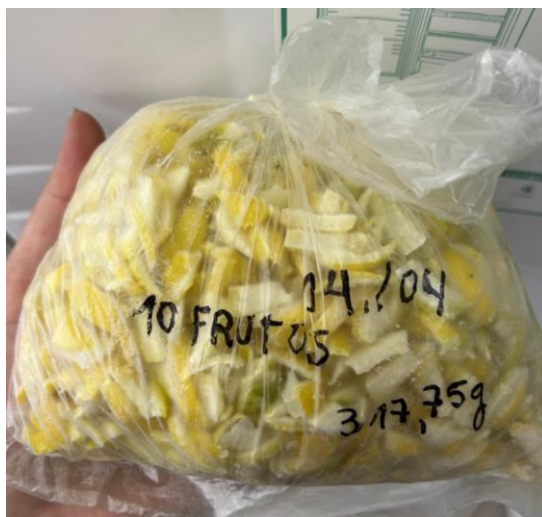
3. OBJETIVOS

Avaliar o uso de OEs extraídos das cascas de limão, laranja e mexerica na inibição do crescimento micelial e no controle do *P. digitatum*, causador do bolor verde e *P. italicum*, causador do bolor azul.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Rendimento dos óleos essenciais

Nos experimentos foram avaliados os OEs de limão e laranja comercial da empresa Cisol do Brasil Exportação LTDA. Além dos OEs comerciais, foram avaliados os OEs extraídos de laranja Pêra Rio IAC, mexerica Late IAC 585, limão Siciliano, limão Eureka, limão Harvey e limão Amber. Para extração dos OEs foram colhidos frutos maduros. Estes foram lavados e descascados, mantendo o albedo na casca. As cascas foram picotadas e separadas em saquinhos com aproximadamente 300 gramas, devidamente identificados e mantidos congelados para o processo de extração (Figura 1).



Fonte. Autor.

Figura 1. Cascas de limão Eureka congeladas para a extração de óleo essencial.

Os OEs foram extraídos através do método de Destilação por Arraste a Vapor (Figura 2). Para isto, em cada amostra de casca (300g) foram adicionados 800 ml de água destilada. As cascas e a água foram aquecidas a 100 °C, em manta aquecedora, até a ebulição da mistura. Os vapores de água e os compostos voláteis foram levados ao condensador para realizar a troca de calor, condensando os vapores com a água de refrigeração em operação. Nessa etapa, foram visualizadas no tubo separador do extrator, as formas líquidas do OE e da água, mantendo um

ciclo contínuo de três horas de extração (Teixeira *et al.*, 2013). Após a extração, os OEs foram coletados e armazenados em frascos âmbar (protegidos da luz), a 4°C (SANTOS *et al.*, 2004). O cálculo de rendimento do OE foi calculado de acordo com a equação abaixo:

$$\text{Rendimento} = (\text{Volume do óleo obtido (ml)}) / (\text{Massa da amostra (g)})$$

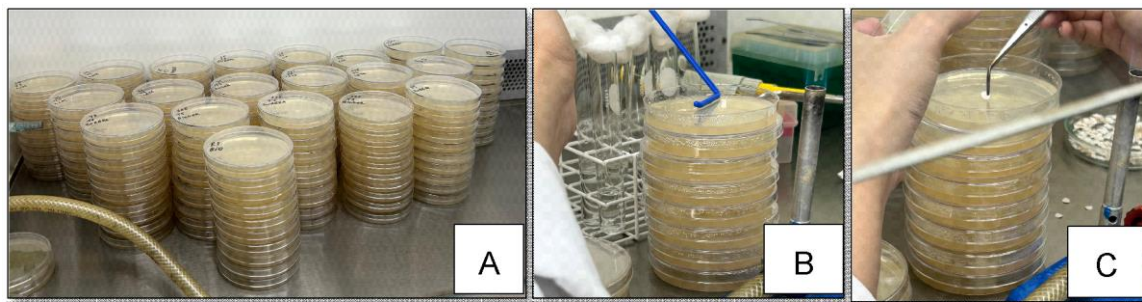


Fonte. Autor.

Figura 2. Equipamento de Destilação por Arraste a Vapor.

4.2. Experimento 1. Inibição *in vitro* do fungo *Penicillium digitatum* e *Penicillium italicum*.

Para avaliar a atividade antifúngica dos OEs na inibição dos fitopatógenos, *Penicillium digitatum* e *Penicillium italicum*, foi utilizado a técnica de difusão em disco de papel, seguindo a metodologia descrita por Allizond *et al* (2023). Foram avaliados os OEs na sua forma pura e as concentrações de 0 (controle negativo – somente água); 2,5; 7,5; 12,5; 17,5 e 100% (v/v) dissolvido em água contendo Tween20 a 0,5% (v/v). O ensaio foi realizado em placas de Petri contendo 20 ml de meio de cultura batata-dextrose-ágar (BDA) (Figura 3 A). Os inóculos de cada fitopatógeno *P. digitatum* e *P. italicum* (1×10^5 conídios/ml), previamente preparados, foram aplicados uniformemente na superfície do meio e espalhados usando uma alça em L estéril (Figura 3 B). Em seguida foi depositado discos de papel estéreis no centro da placa e adicionado uma alíquota de 20 μ L de cada tratamento dos OEs (Figura 3 C).



Fonte. Autor

Figura 3. A) Placa com meio BDA; B) Distribuição uniforme dos inóculos com o auxílio da alça em L; C) Discos de papel estéreis no centro da placa.

As placas foram vedadas com filme plástico, identificadas e armazenadas em B.O.D sob fotoperíodo de 12/12 horas, à temperatura de 25°C, por 72 horas. As avaliações ocorreram através das medições diametralmente opostas (média de duas medidas) das zonas de inibição do crescimento micelial do fitopatógeno, com ajuda de um paquímetro, os resultados foram expressos em cm. Os ensaios foram instalados em delineamento inteiramente casualizado (DIC), com cinco repetições, separadamente para cada fitopatógeno, em esquema fatorial 8x6, sendo oito tipos de OEs (OEs de limão e laranja comercial, OEs extraídos de laranja Pêra Rio IAC, mexerica Late IAC 585, limão Siciliano, limão Eureka, limão Harvey e limão Amber), e seis concentrações de OE (0; 2,5; 7,5; 12,5; 17,5 e 100%).

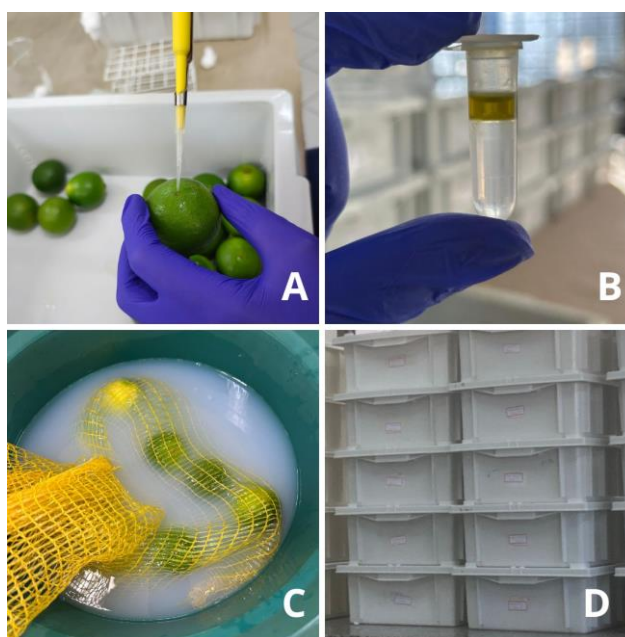
4.3. Experimento 2. Eficácia dos óleos essenciais no controle do *P. italicum*, causador do bolor azul, em frutos de lima ácida Tahiti na pós-colheita

Para esse experimento foram utilizados frutos de lima ácida Tahiti desinfestados superficialmente com hipoclorito de sódio a 2%, por dois minutos e, feridos em dois pontos equidistantes, na região equatorial dos frutos, com agulhas esterilizadas a uma profundidade de 3 mm. Em seguida os frutos foram inoculados na região do ferimento (Figura 4 A) com 20 µl de uma suspensão de *P. italicum* contendo uma concentração de 1×10^4 conídios/ml, 24h antes (método de controle preventivo) e 24h após (método de controle curativo) a realização do tratamento com os OEs de laranja Pêra Rio, limão Harvey e o OE comercial de limão, nas concentrações de 12,5 e 17,5% (v/v). Os OEs e as concentrações foram selecionados através dos resultados dos ensaios *in vitro*. As soluções de OEs foram preparadas com o acréscimo de Tween20 (0,5% v,v) e água destilada (Figura 4 B). No controle negativo os frutos foram tratados somente com água e o controle positivo os frutos foram tratados com a concentração comercial de Imazalil (2ml/L) (Figura 4 C). Após a inoculação e tratamento, os frutos foram

armazenados em caixas de propileno com tampa (40x30x15 cm) em condições ambiente (25 °C + 2) e com 70% de UR (Figura 4 D).

A incidência foi determinada pela porcentagem de frutos doentes após 15 dias da instalação do experimento. A severidade da doença foi avaliada durante 10 dias após o aparecimento dos primeiros sintomas da doença, por meio da medição do diâmetro das lesões formadas, com auxílio de um paquímetro. As medidas obtidas foram usadas para determinação da área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD), utilizando a equação proposta por Shaner e Finney (1997):

$AACPD = \sum [((Y_i + Y_{i+1}))/2 \times (T_{i+1} - T_i)]$, onde, Y_i é o diâmetro de uma lesão no tempo T_i , em dias, e Y_{i+1} é o diâmetro da lesão no tempo $t_i + 1$.



Fonte. Autor.

Figura 4. A) Aplicação da suspensão de *Penicillium italicum*. B) Solução de óleo essencial. C) Frutos em imersão no Imazalil. D) Frutos armazenados em caixas de propileno.

O experimento foi instalado em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial $2 \times 3 \times 2 + 2$, com três repetições com 20 frutos cada, dois métodos de controle (preventivo e curativo), três tipos de OE (extraído de laranja Pêra Rio e limão Harvey e o OE comercial de limão), duas concentrações (12,5 e 17,5%) e dois controles adicionais, sendo o positivo (concentração comercial do Imazalil) e o negativo (apenas água).

4.4. Análise dos dados

Os resultados foram analisados por análise de variância (ANOVA) usando o software de estatística AGROESTAT e a comparação das médias foi realizada pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Quando necessário os dados foram transformados em $\sqrt{x} + 0,5$.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Rendimento dos óleos essenciais

A variedade com maior rendimento de extração foi o limão Siciliano, com 0,714 ml por 100 g de casca, seguido pelo limão Eureka (0,474 ml 100 g⁻¹), laranja Pera Rio IAC (0,419 ml 100 g⁻¹), mexerica Late IAC 585 (0,408 ml 100 g⁻¹), limão Harvey (0,201 ml 100 g⁻¹) e Amber (0,132 ml 100 g⁻¹).

Moura *et al.* (2024) relataram que frutos verdes das variedades Mexerica Late IAC 585 e Laranja Pera Rio IAC apresentaram rendimentos de OE de 0,16 mL 100 g⁻¹ e 0,11 mL 100 g⁻¹, respectivamente. No presente estudo, os rendimentos obtidos a partir de frutos maduros dessas mesmas variedades foram superiores (0,408 mL 100 g⁻¹ e 0,419 mL 100 g⁻¹), indicando que o estágio de maturação exerce influência positiva sobre o rendimento da extração.

5.2. Experimento 1. Inibição *in vitro* dos fitopatógenos *P. digitatum* e *P. italicum*.

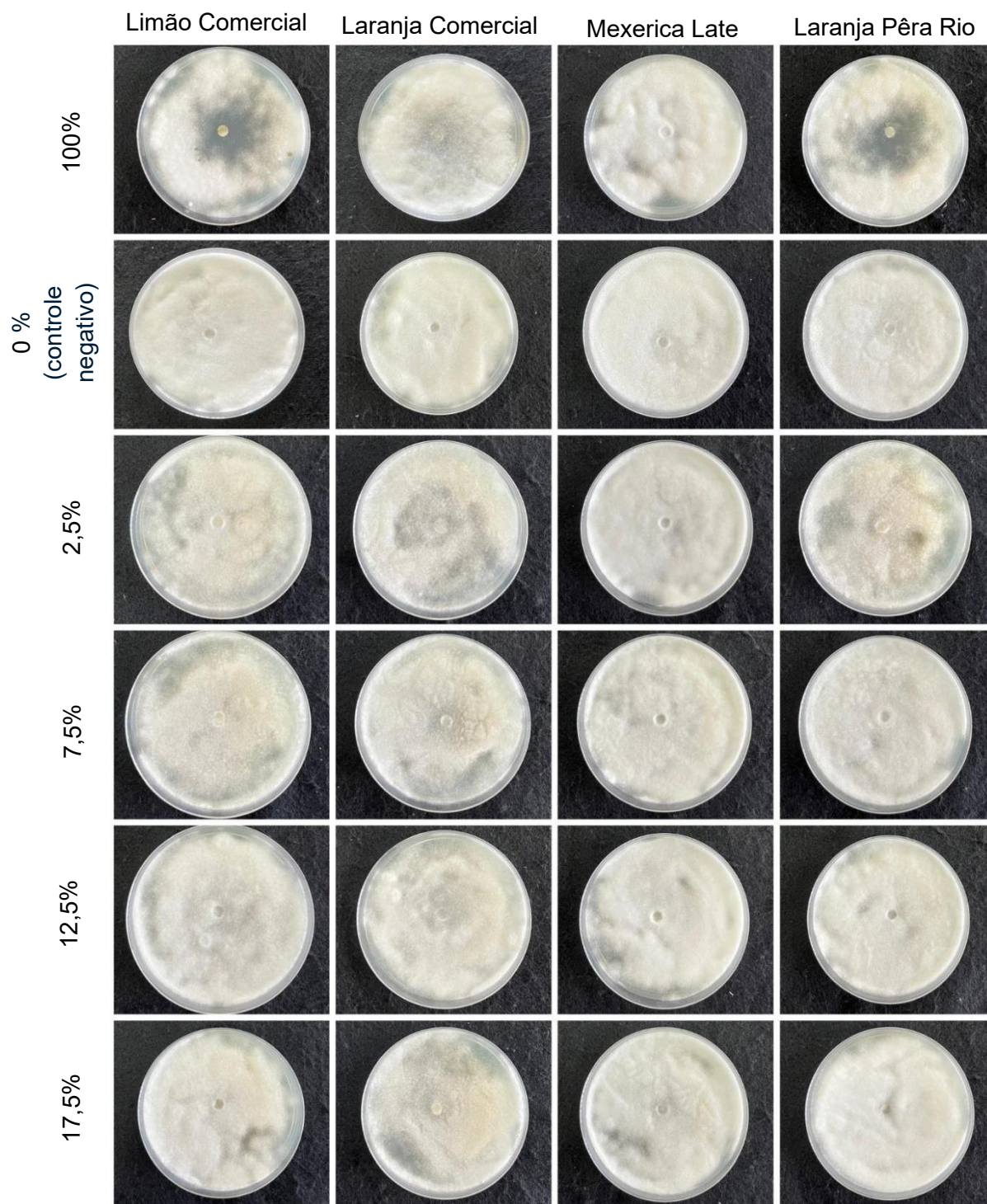
Os maiores halos de inibição do fungo *P. digitatum* foram observados no controle químico (controle positivo) comparado a todos o OEs avaliados, utilizados puros ou em diluição (Tabela 1 e Figura 5A e 5B). Os OEs de Eureka e limão comercial apresentaram halo de inibição maior quanto testados puros (100%) comparado às concentrações avaliadas (Tabela 1). Todos os OEs avaliados, nas diferentes concentrações (2,5, 7,5, 12,5 e 17,5%) não foram eficientes em inibir o crescimento do *P. digitatum* se igualando ao tratamento controle negativo (água) (Tabela 1).

Tabela 1. Halos de inibição do crescimento micelial (cm) do *Penicillium digitatum*.

Óleo essencial	0%	2,5%	7,5%	12,5%	17,5%	100%
limão Harvey	0,00 aA	0,00 aA	0,00 aA	0,00 aA	0,00 aA	0,00 cA
limão Eureka	0,00 aB	0,00 aB	0,00 aB	0,00 aB	0,00 aB	3,20 aA
limão Amber	0,00 aA	0,00 aA	0,00 aA	0,00 aA	0,00 aA	0,00 cA
limão Siciliano	0,00 aA	0,00 aA	0,00 aA	0,00 aA	0,00 aA	0,00 cA
mexerica Late IAC	0,00 aA	0,00 aA	0,00 aA	0,00 aA	0,00 aA	0,00 cA
laranja Pêra rio	0,00 aA	0,00 aA	0,00 aA	0,00 aA	0,00 aA	0,60 cA
limão (comercial)	0,00 aB	0,00 aB	0,00 aB	0,00 aB	0,00 aB	1,85 bA
laranja (comercial)	0,00 aA	0,00 aA	0,00 aA	0,00 aA	0,00 aA	0,00 cA
CV (%)	20,36					

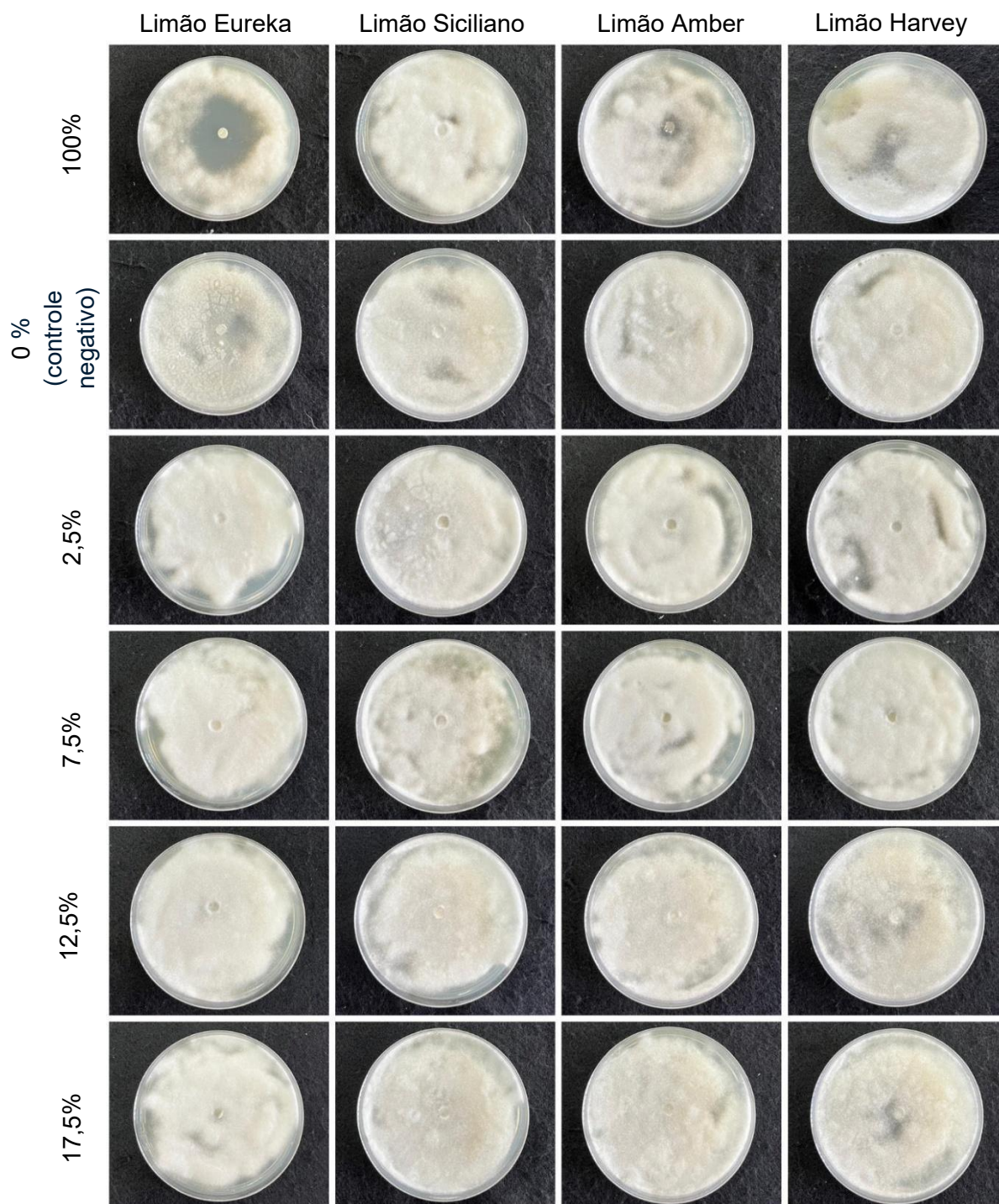
¹ Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna, e letras maiúsculas na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05).

CV = coeficiente de variação



Fonte. Autor.

Figura 5. A) Halos de inibição do crescimento micelial de *Penicillium digitatum* utilizando os óleos essenciais de Limão Comercial, Laranja Comercial, Mexerica Late e Laranja Pêra Rio, na técnica de difusão em disco de papel.



Fonte. Autor.

Figura 5. B) Halos de inibição do crescimento micelial do *Penicillium digitatum* utilizando os óleos essenciais de Limão Eureka, Siciliano, Amber e Harvey, a técnica de difusão em disco de papel.

No controle de *P. italicum* todos os OEs testados nas diferentes concentrações (2,5, 7,5, 12,5 e 17,5%) apresentaram halos de inibição inferiores aos observados com os OEs utilizados na forma pura (100%) (Tabela 2 e Figura 6A e 6B). Dentre as concentrações dos OEs avaliadas, a de 17,5% foi a que promoveu a maior inibição do crescimento de *P. italicum* para os OEs de laranja Pêra Rio IAC (4,39 cm), limão Harvey (2,48 cm) e limão comercial (2,17 cm) (Tabela 2). Esses resultados indicam uma tendência de aumento da atividade antifúngica em função da elevação da concentração dos OEs. Esses dados corroboram com Gomes (2011), que avaliou o OE de lima ácida Tahiti nas concentrações de 125, 250, 500, 1000 e 2000 µg/mL no controle de *Fusarium oxysporum*, *Alternaria alternata* e *Colletotrichum musae*, observando inibição completa do crescimento micelial de *F. oxysporum* e *A. alternata* na concentração de 2000 µg/mL.

No estudo de Moura *et al.* (2017), que investigou os OEs de limão Siciliano e laranja doce nas concentrações de 0,1%, 0,5%, 1% e 2% para o controle *in vitro* de patógenos pós-colheita causadores de antracnose em banana e pimentão, foi observada atividade inibitória dos OEs sobre *Colletotrichum musae* e *Colletotrichum gloeosporioides*, especialmente nas concentrações mais elevadas. O destaque foi o OE de limão Siciliano, que, na concentração de 1%, inibiu completamente tanto o crescimento micelial quanto a germinação dos esporos dos patógenos. Esses dados reforçam a hipótese de que a eficácia antifúngica dos OEs está positivamente correlacionada à concentração empregada, embora essa resposta possa variar em função da sensibilidade específica de cada fitopatógeno, uma vez que, no presente estudo, o OE de limão Siciliano, mesmo testado em concentrações mais elevadas (2,5, 7,5, 12,5 e 17,5%), não apresentou eficácia satisfatória no controle de *P. digitatum* e *P. italicum*.

Estudos anteriores demonstraram a eficácia de OEs na inibição total do crescimento micelial de espécies do gênero *Penicillium*, embora os resultados variem significativamente em função da origem botânica do OE e da concentração empregada. Barros (2022) observou inibição completa com o uso de OE de *Morinda citrifolia* (noni) na concentração de 30 mg/mL, enquanto Piaty *et al.* (2011) relataram efeito semelhante utilizando OE de *Eucalyptus globulus* nas concentrações de 0,5% e 1%. Souza *et al.* (2004) verificaram inibição total com OE de canela (*Cinnamomum zeylanicum*) na concentração de 500 µg/mL. Essas variações nos resultados evidenciam que a atividade antifúngica dos OEs está diretamente relacionada à composição química específica de cada extrato, refletindo diferenças no conteúdo e na proporção de compostos bioativos, como fenóis, aldeídos e monoterpenos. Assim, a eficácia dos OEs no controle de *Penicillium* spp. depende tanto da concentração quanto do perfil fitoquímico do OE utilizado.

Tabela 2. Halos de inibição do crescimento micelial (cm) do *Penicillium italicum*.

Óleo essencial	0%	2,5%	7,5%	12,5%	17,5%	100%
limão Harvey	0,0 aC	0,20 aC	0,34 aC	0,63 abC	2,48 bB	6,13 cA
limão Eureka	0,0 aC	0,0 aC	1,0 aC	1,45 abC	1,08 bcC	8,45 aA
limão Amber	0,0 aB	0,25 aB	0,88 aB	1,15 abB	1,10 bcB	6,58 bcA
limão Siciliano	0,0 aB	0,0 aB	0,30 aB	1,39 abB	1,16 bcB	5,35 cA
mexerica Late IAC	0,0 aC	0,0 aC	0,98 aC	1,04 abC	1,57 bcC	8,46 aA
laranja Pêra rio	0,0 aC	0,0 aC	0,20 aC	0,0 bC	4,39 aB	6,22 cA
limão (comercial)	0,0 aD	0,0 aCD	0,0 aD	1,81 aC	2,17 bcC	8,20 abA
laranja (comercial)	0,0 aB	0,53 aB	0,25 aB	0,73 abB	0,56 cB	5,05 cA
CV (%)	23,68					

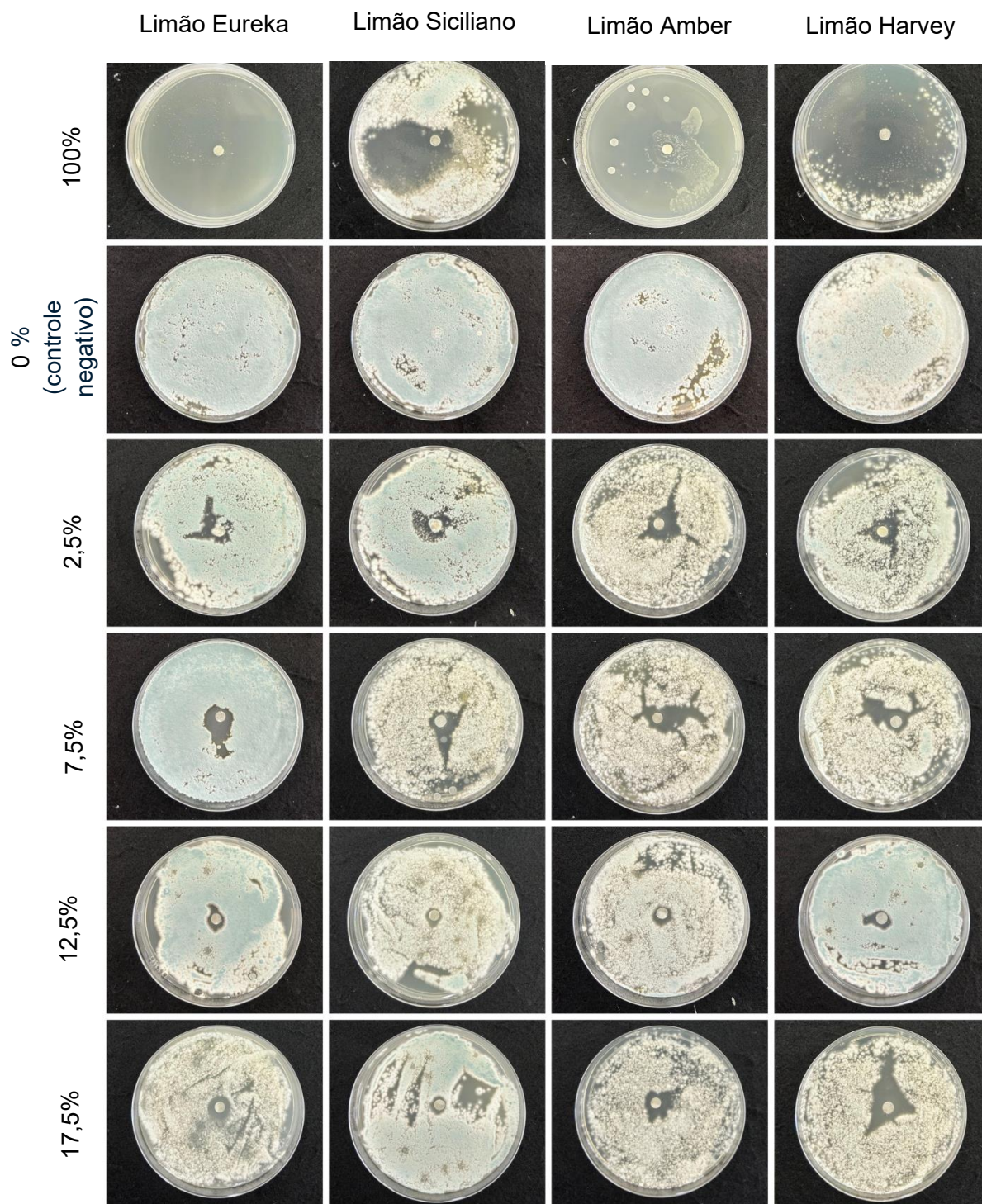
¹ Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna, e letras maiúsculas na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

CV = coeficiente de variação



Fonte. Autor.

Figura 6. A) Halos de inibição do crescimento micelial de *Penicillium italicum* utilizando os óleos essenciais de Limão Comercial, Laranja Comercial, Mexerica Late e Laranja Pêra Rio, na técnica de difusão em disco de papel.



Fonte. Autor.

Figura 6. B) Halos de inibição do crescimento micelial do *Penicillium italicum* utilizando os óleos essenciais de Limão Eureka, Siciliano, Amber e Harvey, a técnica de difusão em disco de papel.

5.3. Experimento 2. Eficácia dos óleos essenciais no controle do *P. italicum*, causador do bolor azul, em frutos de lima ácida Tahiti na pós-colheita

Não foram observadas diferenças na incidência e na AACPD do bolor azul nos frutos tratados com os OEs testados (limão Harvey, laranja Pêra Rio e limão comercial) (Tabela 3; Figura 7). Na concentração de 17,5%, a incidência e a AACPD da doença foram menores quando os frutos foram submetidos ao tratamento curativo, em comparação ao tratamento preventivo, indicando maior eficácia do controle após a instalação da infecção (Tabela 4 e Tabela 5). Resultados semelhantes foram obtidos por Toffano *et al.* (2012), que observaram menor incidência de frutos doentes e redução no número de frutos com esporulação dos patógenos *P. digitatum* e *C. gloeosporioides* quando frutos de lima ácida Tahiti e laranja Valência (*Citrus sinensis* cv. Valência) foram submetidos ao tratamento curativo, ou seja, inoculados previamente e, em seguida, tratados com os agentes de controle.

Tabela 3. Incidência e Área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) do bolor azul, causada por *Penicillium italicum*, em frutos de lima ácida Tahiti, tratados com os óleos essenciais extraídos de limão Harvey, laranja Pêra Rio IAC e limão comercial.

Óleo essencial	Incidência (%)	AACPD
limão Harvey	65,94 a ¹	63,25 a
laranja Pêra Rio IAC	71,64 a	62,41 a
limão comercial	63,16 a	59,16 a
CV (%)	38,66	33,18

¹ Médias seguidas da mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05).

CV = coeficiente de variação

Tabela 4. Porcentagem de incidência do bolor azul, causado por *Penicillium italicum*, em frutos de lima ácida Tahiti submetidos ao controle preventivo e curativo com óleos essenciais nas concentrações de 12,5 e 17,5%.

Concentração (%)	Preventivo	Curativo
12,5	60,95 bA ¹	64,42 aA
17,5	86,69 aA	55,60 aB
CV (%)	38,66	

¹ Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna, e letras maiúsculas na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05).

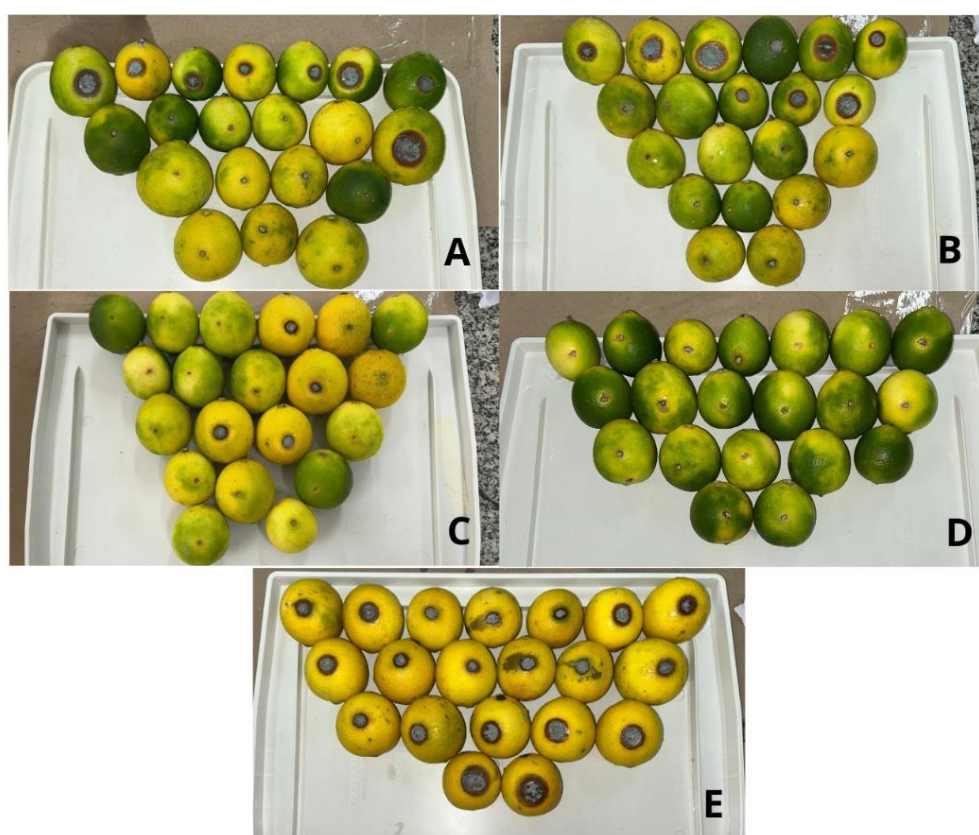
CV = coeficiente de variação

Tabela 5. Área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) do bolor azul, causado por *Penicillium italicum*, em frutos de lima ácida Tahiti submetidos ao controle preventivo e curativo com óleos essenciais nas concentrações de 12,5 e 17,5%.

Concentração (%)	Preventivo	Curativo
12,5	56,88 bA ¹	52,22 aA
17,5	99,00 aA	38,33 aB
CV (%)	33,18	

¹ Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna, e letras maiúsculas na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

CV = coeficiente de variação



Fonte. Autor.

Figura 7. Frutos de lima ácida Tahiti tratados curativamente com diferentes óleos essenciais (OEs) na concentração 17,5%. A) OE de limão Harvey; B) OE de laranja Pêra Rio IAC; C) OE de limão comercial; D) Tratamento com fungicida comercial (controle positivo); E) controle negativo (somente água).

Dados semelhantes foram encontrados por Mariano (2024), que também observou redução no diâmetro das lesões em frutos de lima ácida Tahiti, submetidos ao tratamento curativo, com frutos tratados com OEs de variedades de limão. Assim como, Moura (2017), verificou diminuição significativa do diâmetro médio das lesões quando os frutos foram tratados curativamente, com OE de limão siciliano, no controle da antracnose em banana. Carnellosi *et al.* (2009) inferem que frutos inoculados logo após o tratamento exibem maior severidade da doença, enquanto aqueles tratados curativamente demonstram maior controle, com menores diâmetros médios de lesões.

Moura (2017) atribui a efetividade do tratamento curativo à hidrofobicidade dos OEs e de seus constituintes, os quais possuem capacidade de interagir com a camada lipídica das membranas celulares dos patógenos. Essa interação pode provocar alterações estruturais nas membranas, reduzindo sua seletividade e possibilitando o extravasamento de íons e outros componentes celulares. No entanto, no tratamento preventivo, essa interação parece não ter ocorrido de forma eficaz, provavelmente devido à volatilização dos compostos presentes nos OEs durante o intervalo de 24 horas entre a aplicação e a inoculação dos patógenos nos frutos (MOURA, 2017).

O mecanismo de ação antifúngica dos OEs é atribuído aos seus componentes, que atuam de forma sinérgica (um complementando a ação do outro) ou aditiva no exercício de seus efeitos. Por isso, o conhecimento da atividade antifúngica desses constituintes pode ajudar a compreender a eficácia dos OEs e sua atividade contra os fungos (VILELA *et al.*, 2024).

Nos frutos submetidos ao tratamento preventivo, na concentração de 12,5% a incidência do bolor azul e AACPD foram menores, em comparação à concentração de 17,5% (Tabela 4 e Tabela 5), sugerindo que, nesse modo de aplicação, concentrações mais elevadas nem sempre resultam em maior eficiência de controle.

Apesar da eficácia do tratamento químico no controle do bolor azul, observou-se uma incidência de 36,7% de frutos com sintomas da doença e AACPD de 57,66 (Tabela 6; Figura 7), sugerindo uma possível resistência do fitopatógeno ao princípio ativo utilizado. Embora o fungicida Imazalil seja amplamente recomendado e reconhecido por sua eficiência no controle de bolores em frutos cítricos, o uso contínuo ao longo de mais de duas décadas pode ter contribuído para a seleção e disseminação de linhagens resistentes de *Penicillium* spp., conforme relatado por Kinay *et al.* (2007). Esses resultados reforçam a necessidade de estratégias alternativas e integradas de controle pós-colheita.

O uso de fungicidas no tratamento pós-colheita de citros é amplamente adotado para reduzir a incidência de doenças e prolongar a vida útil dos frutos. No entanto, medidas

alternativas de controle oferecem a vantagem de atender às exigências de mercados internacionais que impõem restrições quanto à presença de resíduos agroquímicos. Além disso, o uso intensivo e indiscriminado de fungicidas pode levar ao desenvolvimento de cepas patogênicas resistentes, tornando o controle das doenças pós-colheita ainda mais desafiador (SPADARO E DROBY, 2016).

Tabela 6. Incidência e área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) do bolor azul, causado por *Penicillium italicum*, em frutos de lima ácida 'Tahiti' tratados com água (controle negativo) e químico (controle positivo).

Tratamentos	Incidência (%)	AACPD
Água (controle negativo)	78,67 b	98,00 b
Químico (controle positivo)	36,67 a	57,66 a
CV (%)	38,66	33,18

¹ Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

CV = coeficiente de variação

6. CONCLUSÃO

Entre os OEs avaliados, nas avaliações *in vitro*, os de limão Eureka, limão comercial e mexerica Late IAC 585 demonstraram atividade antifúngica relevante quando utilizados puros (100%) no controle do *P. italicum*. No entanto, em concentrações diluídas (2,5 a 17,5%), a atividade dos OEs foi reduzida, sendo observada eficácia limitada. Para o controle do *P. digitatum*, os OEs de limão Eureka e limão comercial apresentaram halo de inibição maior quanto testados puros (100%), mas as demais concentrações não apresentaram e halos de inibição do crescimento micelial do patógeno. Na avaliação em frutos de lima ácida Tahiti na pós-colheita, o método de controle curativo se mostrou mais eficiente do que o preventivo, com menor incidência e severidade, na concentração de 17,5%.

Diante da crescente preocupação com a resistência a fungicidas sintéticos e das exigências de mercados consumidores por alimentos com menor carga de resíduos químicos, os OEs representam uma alternativa promissora e sustentável no manejo pós-colheita de doenças em frutos cítricos. Contudo, mais estudos são necessários para padronizar formulações, otimizar modos de aplicação e compreender os mecanismos moleculares envolvidos na atividade antifúngica dos compostos naturais.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLIZOND, V. *et al.* In vitro antifungal activity of selected essential oils against drug-resistant clinical *Aspergillus* spp. Strains. **Molecules**, v. 28, n, 21. 2023.

ANDRADE, M. A. Óleos essenciais de *Cinnamomum zeylanicum*, *Cymbopogon nardus* e *Zingiber officinale*: caracterização química, atividade antioxidante e antibacteriana. 2010. 83 f. Dissertação (Mestrado em Agroquímica) - Universidade Federal de Lavras, Lavras. 2010.

BAKKALI, F. *et al.* Biological effects of essential oils - A review. **Food and Chemical Toxicology**, v. 46, p. 446-475, 2008.

BARROS, A. M. Controle preventivo de doenças pós-colheita em citros (Laranja, Mexerica e Limão) utilizando óleo essencial de noni e *Saccharomyces cerevisiae*. 2022. 62 f. Dissertação (Mestrado) - Pós-graduação em Biotecnologia, Universidade Federal do Tocantins, Câmpus Universitário de Gurupi, Gurupi, 2022.

BASTOS, D. C. *et al.* Cultivares copa e porta-enxertos para a citricultura brasileira. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.35, n.281, p.36-45, jul./ago. 2014.

BIASI, L.A.; DESCHAMPS, C. Plantas aromáticas do cultivo à produção de óleo essencial. **Layer Studio Gráfico e Editora Ltda**, Curitiba, p. 160, 2009.

BIGATON, D. *et.al.* Avaliação da atividade fungicida de extratos e óleos essenciais sobre ferrugem asiática da soja. **Revista Ciência Agronômica**, v. 44, n. 4, p. 757- 763, 2013.

BIZZO, H. R., REZENDE, C. M. O mercado de óleos essenciais no Brasil e no mundo na última década. **Química Nova**, v. 45, p. 949-958, 2022.

BIZZO, H. R. *et al.* Óleos essenciais no Brasil: aspectos gerais, desenvolvimento e perspectivas. **Química Nova**, v. 32, n. 3, p. 588-594, 2009.

BOUBAKER H. *et.al.* Sensitivity of *Penicillium digitatum* and *P. italicum* to imazalil and thiabendazole in Morocco. **Plant Pathology Journal**, Suwon, v.8, p.152-158, 2009.

BRACKMANN, A. *et al.* Temperatura e Umidade Relativa na Qualidade da Tangerina “Montenegrina” Armazenada. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 2, p. 340-344, 2008.

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

CARVALHO, S. A. *et al.* Avanços na propagação dos Citros no Brasil. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 41, n. 6, 2019.

CHIARINI, A. Risk-based thinking according to ISO 9001: 2015 standard and the risk sources European manufacturing SMEs intend to manage. **The TQM Journal**, v. 29, n. 2, p. 310-323, 2017.

ESPÍNDOLA, B. P. Indução de resistência e vaporização de óleos essenciais no controle de podridões pós-colheita em pêssegos 'Chimarrita'. 2017. 84 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciências Agrárias, Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2017.

FAOSTAT. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Data Production and Trade. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/>. Acesso em: 10 abr. 2025.

FERNANDES, B. C. Desenvolvimento Histórico da Citricultura. 2010. 49 f. Conclusão de curso (Graduado) - Curso de Graduação em Ciências Econômicas, Universidade Estadual Paulista. Araraquara, 2010.

FISCHER I. H. *et al.* Doenças pós-colheita em citros e caracterização da população fúngica ambiental no mercado atacadista de São Paulo. **Tropical Plant Pathology** 33: 219-226, 2008.

GOMES, M. S. Caracterização química e atividade antifúngica dos óleos essenciais de cinco espécies do gênero Citrus. 2011. 99 f. Dissertação (Mestrado) - Pós-Graduação em Agroquímica, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2011.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Produção de tangerina. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/tangerina/br>. Acesso em: 10 abr. 2025.

KINAY, P *et al.* .Characterization of fungicide-resistant isolates of *Penicillium digitatum* collected in California. **Crop Protection** 26:647-656. 2007

MARIANO, B. A. Óleo essencial de limão para controle do bolor verde (*Penicillium digitatum* Sacc.) e bolor azul (*Penicillium italicum* Wehmer), 2024. 35 f. Monografia (Bacharel) - Curso de Agroecologia, Universidade Federal de São Carlos, Araras, 2024.

MARINHO, S. C. Estudo Químico, Avaliação Eletroquímica e Atividade Larvicida do Óleo Essencial das Folhas da *Pimenta dioica* Lindl FRENTE *Aedes aegypti* (Linnaeus, 1762). 2010. 104 f. Tese (Doutorado em Química Analítica) - Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, 2010.

MARMITT, L. G. *et al.* Determinação de ácido cítrico e ph em diferentes cultivares de limão e marcas de sucos artificiais de limão em pó. **Revista destaques acadêmicos**, Lajeado, v. 8, n. 4, 2016.

MAZARO, S. M. *et al.* Indução de fitoalexinas em cotilédones de soja em resposta a derivados de folhas de pitangueira. **Ciência Rural**, 38(7), 1824-1829, 2008.

MOURA, G. S. *et al.* Efeito de óleos essenciais de *Citrus spp.* no controle pós-colheita da antracnose em banana e pimentão. **Revista Cultivando o Sabor**. Volume 10 - n° 3, p. 354 a 369. 2017.

MOURA, V. S. *et al.* Alternativas de controle de doenças de pós-colheita em citros. **Citrus Research & Technology**, v 40, 2019.

MOURA, V. S. *et al.* Antifungal activity of Citrus essential oil in controlling sour rot in Tahiti acid lime fruits. **Plants**. 2024.

PIATI, A., *et al.* In vitro effect of Eucalyptus globulus essential oil on *Penicillium* sp. **Semina: Ciências Agrárias**, 32(3), 1033–1040, 2011.

PIATI, A. *et al.* Efeito do óleo essencial de eucalipto sobre *Penicillium digitatum*. **Revista Acadêmica: Ciência Animal**, 11, 19-26, 2017.

PLAZA P. *et al.* Effect of water activity and temperature on germination and growth of *Penicillium digitatum*, *P. italicum* and *Geotrichum candidum*. **Journal of Applied Microbiology** 94: 594-554, 2003

POZZAN, M. Problemas fitossanitários e de resíduo de agrotóxicos na pós-colheita de citros. **Revista: Visão agrícola-ESALQ**, n. 2. 2004.

SANTOS, A. S. *et al.* Descrição de sistema e de métodos de extração de óleos essenciais e determinação de umidade de biomassa em laboratório. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2004. 6 p. (Comunicado técnico, 99). ISSN 1517-2244.

SENAR. Serviço Nacional de Aprendizagem Rural. A importância da citricultura nacional. Disponível em: <https://www.cnabrazil.org.br/noticias/a-importancia-da-citricultura-nacional#:~:text=No%20Brasil%20s%C3%A3o%201%2C44,1%25%20com%20rela%C3%A7%C3%A3o%20a%202018>. Acesso em: 10 abr. 2025.

SHANER, G, FINNEY RE. The effect of nitrogen fertilization on the expression of Slow-Mildewing resistance in Knox wheat. **Phytopathology**, 1997

SILVA, P. R. *et al.* Caracterização da cultura do limão no Estado de São Paulo. 2001-2007, **Informações Econômicas SP**, v.38, n.7, 2008.

SIMAS, D. L. R. *et al.* Caracterização dos óleos essenciais de frutas cítricas. **Citrus Research & Technology**, Cordeirópolis, v.36, n.1, p.15-26, 2015.

SIMÕES M. T. F. *et al.* Influência do tempo de destilação no rendimento, na composição química e na atividade antioxidante e antimicrobiana do óleo essencial: os casos de

Pterospartum tridentatum e *Laurus nobilis*. **Actas do II Colóquio Nacional de Plantas Aromáticas e Medicinais**, Associação Portuguesa de Horticultura, p. 203-216, 2007.

SOUZA, S. M. C. et.al. Avaliação de óleos essenciais de condimentos sobre o desenvolvimento micelial de fungos associados a produtos de panificação. **Revista Ciência Agrotécnica**, Lavras, v. 28, n. 3, p. 685-691, maio/jun. 2004.

SPADARO, D. ;DROBY,S.Development of biocontrol products for postharvest diseases of fruit: The importance of elucidating the mechanisms of action of yeast antagonists. **Trends in Food Science & Technology**, v. 47, p.39-49.2016.

STEFFENS, A. H. Estudo da composição química dos óleos essenciais obtidos por destilação por arraste a vapor em escala laboratorial e industrial. f. Dissertação (Mestrado em engenharia e tecnologia de materiais). Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

TEIXEIRA, J. P. F. et al. Composição química de óleos essenciais de quinze genótipos de limão em duas épocas de colheita. **Citrus Research & Technology** v. 34, n. 2, p.65-74, 2013.

TOFFANO, L. *et al.* Potencial do flavedo (epicarpo) de *Citrus aurantifolia* cv. Tahiti no controle do bolor verde e da antracnose em Citros. **Summa Phytopathol**, Botucatu, v. 38, n. 1, p. 61-66, 2012.

VILELA, E.S.D. *et al.* Essential oils on the control of fungi causing postharvest diseases in mango. **Braz J Microbiol** 55, 689–698 (2024). <https://doi.org/10.1007/s42770-023-01237-2>

ZULIAN, A. *et al.* Citricultura e agronegócio cooperativo no Brasil. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, 11, 2291-2306, 2013.