

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E ENGENHARIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GENÉTICA E MELHORAMENTO

MATEUS MENDES DA SILVA

**ÓLEO ESSENCIAL DE *Lavandula hybrida* Reverchon NO CONTROLE DA
ANTRACNOSE EM FRUTOS DO GÊNERO *Capsicum***

ALEGRE- ES

MAIO, 2023

MATEUS MENDES DA SILVA

**ÓLEO ESSENCIAL DE *Lavandula hybrida* Reverchon NO
CONTROLE DA ANTRACNOSE EM FRUTOS DO GÊNERO *Capsicum***

“Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo, *Campus* de Alegre, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Genética e Melhoramento de Plantas.”

Orientadora: Profa. Dra. Cíntia dos Santos Bento

Coorientador: Prof. Dr. Luciano Menini

ALEGRE - ES

MAIO, 2023

**ÓLEO ESSENCIAL DE *Lavandula hybrida* Reverchon NO
CONTROLE DA ANTRACNOSE EM FRUTOS DO GÊNERO *Capsicum***

MATEUS MENDES DA SILVA

“Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo, *Campus* de Alegre, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Genética e Melhoramento de Plantas.”

Orientadora: Profa. Dra. Cíntia dos Santos Bento

Coorientador: Prof. Dr. Luciano Menini

Aprovada em 15 de maio de 2023

Comissão examinadora:



Documento assinado digitalmente

WILLIAN BUCKER MORAES

Data: 30/05/2023 19:59:53-0300

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

Prof. Willian Bucker Moraes (Doutor em Fitopatologia) - UFES



Documento assinado digitalmente

MONIQUE MOREIRA MOULIN

Data: 29/05/2023 15:09:30-0300

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

Monique Moreira Moulin (Doutora em Genética e Melhoramento de Plantas) - IFES



Documento assinado digitalmente

CINTIA DOS SANTOS BENTO

Data: 31/05/2023 09:03:13-0300

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

**Profa. Cintia dos Santos Bento (Doutora em Genética e Melhoramento de Plantas)
- UFES
Orientadora**

AGRADECIMENTOS

A Deus, por permitir a conclusão de mais uma etapa acadêmica.

Aos meus pais Alci Mendes da Silva (*in memoriam*) e Nilza Emiliano da Mota Silva (*in memoriam*).

À minha companheira Greiciele, meus irmãos Alciellen, Amós e Matias, á minha tia Zenite e meu primo João Batista Braga (*in memoriam*).

A professora Dra. Cíntia dos Santos Bento pela orientação durante a pesquisa e pelos ensinamentos.

Ao professor Dr. Luciano Menini por ter aceitado ser meu coorientador.

Aos membros da banca Willian Bucker Moraes e Monique Moreira Moulin pelas contribuições.

Aos colegas de curso e de laboratório, em especial Rafael Almeida pela ajuda durante a realização do experimento.

Ao Aldino pelo auxílio na realização deste experimento.

À UFES e ao IFES.

Ao NUDEMAFI.

Ao Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento.

Aos profissionais da UFES e IFES que contribuíram direta ou indiretamente com este trabalho.

À CAPES pela concessão da bolsa.

SUMÁRIO

RESUMO.....	7
ABSTRACT.....	9
1. INTRODUÇÃO GERAL.....	11
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	13
2.1. Importância do gênero <i>Capsicum</i> spp	13
2.2. Centro de origem, aspectos botânicos e reprodutivos de <i>Capsicum</i> spp	14
2.3. Doenças que causam danos ao cultivo do gênero <i>Capsicum</i> spp.....	16
2.4. Antracnose em <i>Capsicum</i> spp.....	17
2.5. Formas de controle da antracnose.....	19
2.6. Óleos essenciais no controle de doenças em plantas.....	20
3. OBJETIVO GERAL.....	22
3.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	22
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	22
4.1. Locais de realização do experimento.....	22
4.2. Análise da composição química do óleo essencial de <i>Lavandula hybrida</i> Reverchon.....	23
4.3. Preparo da emulsão.....	23
4.4. Testes de estabilidade da emulsão.....	24
4.5. Preparo da solução estoque.....	24
4.6. Realização dos experimentos antifúngicos <i>in vitro</i>	25
4.6.1. Obtenção do isolado de <i>Colletotrichum</i>	25
4.6.2. Avaliação da atividade antifúngica do óleo essencial de <i>Lavandula hybrida</i> Reverchon e de seus componentes majoritários <i>in vitro</i>	25
4.6.3. Análise da ação exercida pelo óleo essencial de <i>Lavandula hybrida</i> Reverchon e seus componentes majoritários.....	27
4.7. Realização dos experimentos <i>in vivo</i>	27
4.7.1. Avaliação da atividade antifúngica do óleo essencial de <i>Lavandula hybrida</i> e de seus componentes majoritários no controle da antracnose em	

frutos de pimentas do gênero <i>Capsicum</i>	27
4.7.2. Procedimentos estatísticos.....	30
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	30
5.1. Caracterização química do óleo essencial de <i>Lavandula hybrida</i> Reverchon	30
5.2. Estabilidade da emulsão.....	35
5.3. Avaliação da atividade antifúngica do óleo essencial de <i>Lavandula hybrida</i> Reverchon e de seus componentes majoritários no controle de <i>Colletotrichum scovillei in vitro</i>	35
5.3.1. Atividade antifúngica do óleo essencial de <i>Lavandula hybrida</i> Reverchon e de seus componentes majoritários <i>in vitro</i>	35
5.3.2. Determinação das concentrações de inibição micelial (CI 50 e CI 90) do óleo essencial de <i>Lavandula hybrida</i> Reverchon e de seus componentes majoritários.....	40
5.3.3. Análise da ação exercida pelo óleo essencial de <i>Lavandula hybrida</i> Reverchon e seus componentes majoritários.....	42
5.4. Atividade antifúngica do óleo essencial de <i>Lavandula hybrida</i> Reverchon e de seus componentes majoritários no controle da antracnose em frutos de pimentas do gênero <i>Capsicum</i>	42
6. CONCLUSÃO.....	46
REFERÊNCIAS.....	48

RESUMO

O mau uso de produtos sintéticos na agricultura ocasiona danos ao meio ambiente e à saúde humana, o que leva a busca por compostos menos nocivos ao ambiente e ao homem. Estudos com produtos naturais comprovam a eficiência dos óleos essenciais no controle de doenças em culturas agrícolas, sendo possível reduzir os custos de produção, preservar o meio ambiente e reduzir a contaminação química nos alimentos. Objetivou-se com este trabalho caracterizar, quimicamente, o óleo essencial de lavandin e avaliar a eficiência do óleo, assim como os seus compostos majoritários, no controle de *Colletotrichum scovillei* *in vitro* e *in vivo*, em frutos de pimentas do gênero *Capsicum*. As propriedades e a(s) substância(s) majoritária(s) do óleo essencial de lavandin foram identificadas através da análise química. A eficiência do óleo essencial no controle de *C. scovillei*, foi avaliada a partir de testes preliminares *in vitro*, utilizando-se as concentrações de 1 µl/mL, 4 µl/mL, 8 µl/mL, 12 µl/mL, 16 µl/mL, 20 µl/mL e 24 µl/mL a fim de determinar as concentrações inibitórias ao fungo. O óleo essencial foi usado na forma de emulsão. Os melhores resultados foram utilizados para o ensaio *in vivo*. Como controle positivo ao desenvolvimento da antracnose foi utilizado fungicida comercial, recomendado para a cultura, Azoxistrobina (200 g/L) + Difenconazol (125 g/L), na formulação Suspensão Concentrada (SC), como controle negativo, foi utilizado o emulsificante Tween 80. Nesta etapa foram utilizados cinco frutos no estágio imaturo de *Capsicum* spp. da cultivar Ikeda, suscetível a antracnose. Após a aplicação das emulsões, os frutos foram perfurados com auxílio de agulha, para facilitar a penetração do fungo nos frutos e inoculados com uma suspensão de $1,0 \times 10^6$ conídios/mL. Posteriormente à inoculação, os frutos foram colocados em câmara úmida e mantidos à temperatura ambiente. Após a obtenção dos dados de inibição do crescimento micelial de *C. scovillei* no teste *in vitro* e a severidade da doença no teste *in vivo*, foram realizadas as análises estatísticas que melhor represente os dados. A análise química do óleo essencial de lavandin revelou a predominância dos compostos químicos linalol e acetato do linalol. O óleo essencial de lavandin e os compostos majoritários linalol e acetato do linalol, foram eficientes no controle de *C. scovillei*, em condições *in vitro*, nas concentrações 4,00 µL/mL, 1,45 µL/mL e 24 µL/mL, respectivamente. O linalol foi mais eficaz na inibição do crescimento micelial de *C. scovillei*, apresentando as menores CIs

(CI 50 e CI 90). Com os resultados obtidos, foi possível detectar a ineficiência do óleo essencial de lavandin no controle do crescimento de *C. scovillei* em frutos *Capsicum*, da cultivar Ikeda. Dessa forma mais estudos são necessários: protocolos adequados para armazenamento da emulsão, seus mecanismos de ação para garantir efetividade deste produto ecologicamente correto no controle antifúngico e utilização de maiores concentrações.

Palavras-chave: Pimenta, *Colletotrichum scovillei*, Lavandin, Controle alternativo, Manejo agroecológico.

ABSTRACT

The misuse of synthetic products in agriculture causes damage to the environment and human health, which leads to the search for less harmful compounds to the environment and to man. Studies with natural products prove the efficiency of essential oils in controlling diseases in agricultural crops, it is possible to reduce production costs, preserve the environment and reduce chemical contamination in food. The objective of this work was to characterize, chemically the essential oil of lavandin and evaluate the efficiency of the oil, as well as its major compounds, in the control of *Colletotrichum scovillei* *in vitro* and *in vivo*, in fruits of peppers of the genus *Capsicum*. The properties and major substance(s) of lavandin essential oil were identified through chemical analysis. The efficiency of the essential oil in the control of *C. scovillei*, was evaluated from preliminary tests *in vitro*, using the concentrations of 1 $\mu\text{l/mL}$, 4 $\mu\text{l/mL}$, 8 $\mu\text{l/mL}$, 12 $\mu\text{l/mL}$, 16 $\mu\text{l/mL}$, 20 $\mu\text{l/mL}$ and 24 $\mu\text{l/mL}$ in order to determine the inhibitory concentrations to the fungus. The essential oil was used in the form of an emulsion. The best results were used for the *in vivo* assay. As a positive control for the development of anthracnose, a commercial fungicide was used, recommended for culture, Azoxystrobin (200 g/L) + Difenconazole (125 g/L), in the Suspension Concentrate (SC) formulation, as a negative control, the emulsifier Tween 80 was used. In this step, five fruits in the immature stage of *Capsicum* spp. of the Ikeda cultivar, susceptible to anthracnose. After applying the emulsions, the fruits were pierced with the aid of a needle, to facilitate penetration of the fungus into the fruits and inoculated with a suspension of 1.0×10^6 conidia/mL. After inoculation, the fruits were placed in a humid chamber and kept at room temperature. After obtaining data on the inhibition of mycelial growth of *C. scovillei* in the *in vitro* test and the severity of the disease in the *in vivo* test, statistical analyzes that best represent the data were performed. Chemical analysis of lavandin essential oil revealed the predominance of chemical compounds linalool and linalool acetate. Lavandin essential oil and the major compounds linalool and linalool acetate were effective in controlling *C. scovillei*, under *in vitro* conditions, at concentrations 4.00 $\mu\text{L/mL}$, 1.45 $\mu\text{L/mL}$ and 24 $\mu\text{L/mL}$, respectively. Linalool was more effective in inhibiting the mycelial growth of *C.*

scovillei, presenting the lowest CIs (CI 50 and CI 90). With the results obtained, it was possible to detect the inefficiency of lavandin essential oil in controlling the growth of *C. scovillei* in *Capsicum* fruits, of the Ikeda cultivar. Therefore further studies are needed: suitable protocols for emulsion storage, its mechanisms of action to ensure effectiveness of this ecologically correct product in antifungal control and use of higher concentrations.

Key words: Pepper, *Colletotrichum scovillei*, Lavandin, alternative control, Agroecological management.

1. INTRODUÇÃO GERAL

O gênero *Capsicum* pertence à família Solanaceae e inclui aproximadamente 42 espécies, que podem ser silvestres, domesticadas e semi-domesticadas, no entanto apenas cinco são cultivadas pelo homem: *C. annuum*, *C. chinense*, *C. frutescens*, *C. baccatum* e *C. pubescens*, sendo esta última pouco cultivada no Brasil (BARBOZA et al., 2020). Este gênero possui como centro de origem a América Central e América do Sul, sendo um dos primeiros grupos botânicos domesticados na América (REIFSCHNEIDER, 2000).

As espécies do gênero *Capsicum* destacam-se pelas características: variações morfológicas na coloração, forma e tamanho dos frutos, podendo ser pungentes ou não pungentes (SILVA et al., 2021). Essas, por sua vez, possuem relevante importância econômica, os compostos químicos presentes nas pimentas possibilitam sua utilização nos comércios de fármacos, medicamentos e produtos de autodefesa, além da culinária (NEITZKE et al., 2016).

Os frutos de pimenta possuem compostos fenólicos importantes para à saúde humana devido ao seu alto potencial antioxidante, o que os tornam relevantes no que diz respeito à alimentação humana (GARRUTI et al., 2021).

O cultivo de pimentas vem se destacando dentro do agronegócio mundial. O mercado do consumo de pimentas *in natura*, em conserva, vem movimentando a economia, gerando empregos e renda, principalmente para pequenos agricultores (CAMARA, 2020).

Entretanto, alguns fatores interferem na produtividade, na qualidade e na aparência dos frutos de pimentas, como as doenças fitopatogênicas causadas por bactérias, vírus, nematódeos e fungos (NASCIMENTO et al., 2019). Dentre as doenças fúngicas, em frutos na pós-colheita destaca-se a antracnose, doença causada por um complexo de fungos do gênero *Colletotrichum*, que levam a lesões circulares e necróticas, provocando dissolução da parede celular e morte celular. O controle desses patógenos torna-se difícil devido à capacidade de sobrevivência, dos mesmos, em restos culturais (SANTOS et al., 2021; LOPEZ; LUCAS, 2021).

As formas de controle desta doença, em pimentas, são o controle biológico,

controle químico, rotação de culturas com espécies não hospedeiras e a utilização de plantas resistentes (ALI et al., 2016 ; SAXENA et al., 2016).

Apesar do número considerável de produtos químicos registrados para a cultura, o seu controle muitas vezes torna-se dificultado, devido à significativa quantidade de plantas hospedeiras, principalmente as da família Solanaceae. No Brasil, nove fungicidas são recomendados para o controle da antracnose em pimentas e 43 em pimentão (AGROFIT, 2022).

Outro fator limitante para o controle desta doença é o uso indiscriminado de produtos sintéticos, que nem sempre são recomendados para a cultura, mas o agricultor utiliza buscando diminuir as perdas em sua lavoura. O uso indiscriminado desses produtos pode acarretar na seleção de patógenos resistentes aos princípios ativos dos produtos, tornando-os ineficientes no controle da doença e levando a contaminação do meio ambiente, da saúde das pessoas que aplicam os defensivos e ao consumidor final devido à contaminação da água, do solo, dos alimentos e a exposição dos trabalhadores rurais aos agentes tóxicos (NIETO-ANGEL, et al., 2019; AGUILAR, 2021; ANDRIOLI et al., 2021; LOPEZ; LUCAS, 2021; SANTOS et al., 2021).

Com a conscientização ambiental da população mundial, vem crescendo a busca por um manejo, mais agroecológico e orgânico. Na floricultura, o manejo agroecológico e mais sustentável vem aumentando entre os produtores, principalmente, os da região sul do Espírito Santo. Sendo assim, os óleos essenciais vêm surgindo como uma alternativa para o controle de doenças fitopatogênicas e até mesmo no controle de insetos pragas (LEONARDI; BERNARDO, 2020).

Os óleos essenciais são compostos naturais produzidos e armazenados em estruturas secretoras externas ou internas, sendo encontrados em várias partes da planta como nas sementes, cascas, caules, raízes, flores, folhas e nos frutos. A sua composição química é muito complexa. Dessa maneira, um único óleo essencial pode conter 20-200 componentes diferentes (CUNHA et al., 2012; HEINZMANN et al., 2016).

Segundo Raut e Karuppaiyl (2014), já foram constatados a eficiência dos óleos essenciais na inibição de patógenos, como fungos e bactérias. Dentre estes, destaca-se o óleo essencial de lavandin, que possui um grande potencial antimicrobiano natural, inibindo o crescimento bacteriano e fúngico (SILVEIRA et al., 2012; MARTINS et al.,

2014).

Na cultura da pimenta, alguns óleos essenciais tem apresentado atividade antifúngica frente a *C. gloesporioides*, agente causal da antracnose em pimentas. Os óleos de Amêndoa (*Prunus amygdalus* Batsh), Coco (*Cocos nucifera*), Eucalipto (*Eucalyptus* spp.), Neem (*Azadirachta indica*), Semente de Uva (*Vitis vinífera* L.), Hortelã, e Pau-Rosa (*Aniba rosaeodora*) apresentaram eficiência no controle do patógeno em condições *in vitro* e *in vivo* (SOUSA, SERRA, MELO, 2012).

Em relação ao controle da antracnose, de acordo com Nobre (2021), trabalhando com o controle da antracnose em pimentas dedo-de-moça, o óleo essencial de neem e de cravo-da-índia na dosagem de (diluição 10^{-5}) foram eficientes na redução do crescimento micelial de *C. gloesporioides*, em condições *in vitro*.

Logo, objetiva-se com este trabalho avaliar a eficiência do óleo essencial de lavandin, assim como os seus compostos majoritários, no controle de *Colletotrichum scovillei*, em condições *in vitro* e em frutos de pimentas do gênero *Capsicum*.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Importância do gênero *Capsicum* spp.

As espécies do gênero *Capsicum* spp., o qual abrange os pimentões e as pimentas possuem grande importância, seja para a indústria farmacêutica, para o setor ornamental e para a indústria alimentícia, onde os frutos são requeridos na produção de corantes, aromatizantes em molhos, carnes processadas, salgadinhos e doces (ESPINOSA et al., 2020). De acordo com Lu et al. (2020) os compostos presentes nos frutos de pimentão e pimentas desempenham função antioxidante, anti-inflamatória, antimicrobiana, anticancerígena e cardioprotetora.

As pimentas possuem grande versatilidade, estando presentes na alimentação de diversos países. Sua utilização na alimentação humana contribui para a segurança alimentar dos povos que utilizam esses frutos para consumo, devido aos compostos fenólicos presentes nestes, que são muito desejáveis para à saúde humana devido à grande capacidade antioxidante, prevenindo uma série de enfermidades ocasionadas

por déficit nutricional (GARRUTI et al., 2021; CASAGRANDE, DE OLIVEIRA ALÓS, ROSSI, 2021).

As pimentas e pimentões possuem grande importância no comércio *in natura* de frutos e de plantas ornamentais no Brasil, são caracterizadas por terem ciclo perene, entretanto são cultivadas como plantas anuais devido ao aparecimento de patógenos que assolam a cultura. O cultivo anual ocorre, geralmente, em vasos de variados tamanhos (COSTA et al., 2019).

A produção mundial de frutos do gênero *Capsicum*, em 2019, foi de 38,03 milhões de toneladas em área de 1, 990 milhão de hectares. No ano de 2019, China, México, Turquia, Indonésia e Espanha se destacaram como os maiores produtores. A China lidera o ranking mundial de produção de *Capsicum* com 18,978 milhões de toneladas produzidas (FAOSTAT, 2021). Apesar da importância econômica das pimentas do gênero *Capsicum*, no Brasil, a produtividade brasileira nacional e local não foram encontrados nas bases de dados oficiais e atuais.

Alguns autores também apontam a dificuldade de acesso aos dados de produção nacional e local, no Brasil, para esta cultura. De acordo com Reis et al. (2015), a maior parte da produção da pimenta é comercializada em mercados regionais e locais, contribuindo para essa escassez de dados.

2.2. Centro de origem, aspectos botânicos e reprodutivos do gênero *Capsicum* spp.

Em 1492, Cristóvão Colombo fez uma expedição a América em busca de fonte alternativa de fornecimento de especiarias como a pimenta preta. Dessa forma, descobriu um fruto vermelho pequeno e picante e denominou de "pimiento", como era conhecida a pimenta preta pelos espanhóis. Após a descoberta da pimenta "vermelha", o seu consumo ganhou notoriedade na Europa e Ásia (RIBEIRO et al., 2008).

De acordo com o Angiosperm Phylogeny Group (APG), a classificação botânica do Gênero *Capsicum* spp. e as suas espécies são incluídas no Reino Plantae, Filo Tracheophyta, Divisão Magnoliophyta, Classe Magnoliopsida, Ordem Solanales, Família Solanaceae, Subfamília Solanoideae, Tribo Capsiceae (APG III, 2009).

Segundo Barboza et al. (2020) o gênero *Capsicum* consiste em aproximadamente 42 espécies, sendo as Américas Central e do Sul, seus respectivos centros de origem. Dentre estas, cinco espécies são domesticadas (*C. annuum* L., *C. frutescens* L., *C. chinense* Jacq., *C. baccatum* L. e *C. pubescens* Ruiz & Pav.). Algumas espécies são semidomesticadas, mas apesar de cultivadas, são pouco utilizadas pelo homem. As silvestres também são pouco utilizadas para consumo, mas possuem grande importância como recurso genético para transferência de genes de interesse para as espécies domesticadas (CARVALHO e BIANCHETTI, 2008).

A espécie *C. chinense* Jacq., popularmente conhecida no Brasil como pimenta-de-cheiro tem sua maior diversidade na bacia amazônica, no estado do Amazonas, portanto, é considerada uma espécie brasileira sendo os pequenos agricultores da região os principais produtores (SOUZA et al., 2020). As pimentas da espécie *C. baccatum* são conhecidas popularmente como pimentas dedo-de-moça (ou chifre-de-veado) e cambuci (ou chapéu-de-frade). No Brasil, a variedade *C. baccatum* var. *pendulum*, tem uma grande aceitação no mercado de especiarias. Os frutos possuem coloração vermelha e amarela intensa, tamanho médio que atinge um comprimento de 5 a 7 cm e espessura de 1,5 cm de diâmetro em formato de curva na extremidade, com polpa firme, variação em sua pungência e um grande número de semente de cor palha (CARVALHO, 2006).

A espécie mais cultivada do gênero, *C. annuum*, é conhecida popularmente como pimentão e algumas variedades conhecidas como pimentas mexicanas. Originaram-se na Américas do Norte e do Sul. O fruto tem grande importância para a alimentação humana na maioria dos países, destacando-se comercialmente no Brasil e em todo o mundo (CARVALHO e BIANCHETTI, 2004). As pimentas da espécie *C. frutescens* são conhecidas popularmente e comercialmente como pimenta malagueta. É uma olerícola muito consumida e os frutos são muito utilizados na culinária como especiarias e comercializados na forma de molhos e conservas (BAENAS et al., 2019). A espécie *C. pubescens* é popularmente conhecida como rocoto, o cultivo pode ser realizado o ano todo, pode ser distinguida das demais cultivadas pela coloração da flor e de suas sementes de cor escuras, os frutos possuem variações na forma, tamanho e

pungência. A cor do fruto maduro pode ser laranja, vermelha ou marrom (GARCIA, 2011).

As espécies do gênero *Capsicum*, são consideradas autógamas, em sua maior parte, portanto, a reprodução natural da espécie se dá predominantemente através de autofecundação, ou seja, na mesma flor é produzido o pólen e o óvulo é fecundado, facilitando a reprodução, embora a polinização cruzada também possa acontecer em entre espécies do gênero (OLIVEIRA et al., 2021). O sistema reprodutor das pimenteiras apresenta os órgãos reprodutivos na mesma flor, portanto, são hermafroditas (OLIVEIRA et al., 2020).

As pimentas e pimentões produzem flores que podem apresentar diversos padrões de pigmentação, podendo ter uma única cor ou com manchas. Possuem frutos do tipo baga, estrutura oca e capsular com cores de diferentes tonalidades, variando de vermelho, passando pelo salmão, laranja, amarelo, amarelo-leitoso, roxos e pretos. Estes podem exibir variações na morfologia, podendo ser desde triangulares, camanulados, ovais e alongados (COSTA et al., 2019). De acordo com Naves et al. (2019) a característica mais marcante de *Capsicum* é a pungência, e isso deve-se aos capsaicinoides, responsáveis pela sensação de “ardência” dos frutos.

2.3. Doenças que causam danos ao cultivo do gênero *Capsicum* spp.

As pimentas possuem alta variabilidade genética, possibilitando sua produção em locais distintos com diferentes variações climáticas (FAOSTAT, 2020). Porém, o grande entrave para a produção de pimentas, no Brasil e no mundo, tanto para consumo, quanto para ornamentação, é a incidência de fitopatógenos em seus cultivos. Durante o crescimento da planta, pode ocorrer danos causados por fitopatógenos como bactérias, fungos, nematoides e vírus (NASCIMENTO et al., 2019).

Dentre as etiologias bacterianas que causam maiores danos a cultura está à mancha bacteriana, causada pela *Xanthomonas euvesicatoria*. Esta bactéria assola a parte aérea da planta. Os sintomas são caracterizados por manchas necróticas pequenas, podendo formar grandes manchas na folha ou pontuais, com aspecto encharcado, acontecendo à necrose do anel, quando detectado nos pecíolos. Nos

frutos os sintomas são caracterizados por crostas necrosadas e na flor através do aparecimento de exsudados bacterianos e a cor marrom de aspecto necrótico, e por fim, redução da produtividade (MCAVOY et al., 2021).

Outra doença que também causa sérios prejuízos no cultivo de *Capsicum* é o mosaico amarelo do pimentão, causada pelo *Pepper yellow mosaic virus* (PepYMV). Os sintomas da doença são mosaico amarelo, mosqueado e distorção foliar, reduzindo a produtividade. Algumas medidas podem ser tomadas para controle da doença como produção de mudas em ambientes protegidos com telas antiafídeos, destruição de plantas daninhas, hospedeiras do vírus, e dos insetos vetores e eliminação dos restos culturais após a última colheita (LIMA et al., 2019)

Dentre as doenças fúngicas, destaca-se a antracnose, causada por um complexo de fungos do gênero *Colletotrichum*, que causa prejuízos em cultivos de pimentas e pimentões inseridos em regiões de clima tropical e subtropical, tornando um dos principais desafios na produção destas culturas (SUN et al., 2015; MONGKOLPORN e TAYLOR, 2018).

2.4. Antracnose em *Capsicum* spp.

A antracnose, é uma doença de pós-colheita que tem como principais sintomas lesões circulares e necróticas nos frutos, tanto verdes quanto maduros, esses sintomas são causados pela dissolução e morte da parede celular dos frutos (LOPEZ, 2021; SANTOS et al., 2021).

Segundo Mongkolporn e Taylor, (2018) há 24 espécies de *Colletotrichum* que infectam pimentas e pimentões. No Brasil, especialmente, no estado do Rio de Janeiro, a espécie *C. scovillei* é a mais encontrada nos cultivos dessas culturas (GIACOMIN et al. 2021). Buscando o controle eficiente da doença, algumas pesquisas vêm sendo desenvolvidas para melhorar a compreensão do patossistema *Capsicum* x *Colletotrichum* (BABA et al. 2019, 2020; MARACAHIPES et al. 2019a, 2019b; GIACOMIN et al., 2021).

A antracnose em pimentas e pimentão é causada, especialmente, por espécies de *Colletotrichum* dos complexos *gloeosporioides* e *acutatum*. As espécies *C. scovillei* (complexo *acutatum*), *C. truncatum* (complexo *truncatum*) e *C. siamense* (complexo *gloeosporioides*) possuem maior relevância em todo o mundo (MONGKOLPORN & TAYLOR, 2018).

No nordeste brasileiro, Silva et al. (2017) identificaram as espécies *C. brevisporum*, *C. scovillei*, *C. siamense*, *C. tropicale*, *C. truncatum* causando doença em *Capsicum* spp. Pesquisas de patogenicidade têm elucidado que as diferentes espécies de *Colletotrichum*, dependendo do estágio de maturação dos frutos podem demonstrar infecção diferenciada. De acordo com Harp et al. (2008, 2014) *C. truncatum* geralmente infecta frutos de pimenta no estágio maduro. Já *C. acutatum* e *C. gloeosporioides* são encontrados mais comumente em frutos imaturos e maduros.

As espécies de *Colletotrichum* podem causar lesões em todas as fases de desenvolvimento do hospedeiro, especialmente, na parte aérea da planta. Entretanto, na época da pós-colheita é preciso maiores cuidados, pois, o patógeno apresenta quiescência (ALI et al., 2016), iniciando sua colonização biotrófica em tecidos dos frutos imaturos. Mas, não há o aparecimento de sintomas da antracnose. Após o amadurecimento dos frutos, o fungo passa para a forma necrotrófica, tornando as lesões visíveis. Essa forma de infecção é denominada de hemibiotrófica (GAN et al., 2012; O'CONNELL et al., 2012; PRUSKY et al., 2013; SAHITYA et al., 2014).

Desenvolver cultivares de pimentas e pimentões resistentes à antracnose é um desafio aos melhoristas. Isso deve-se ao patossistema *Capsicum* x *Colletotrichum*, pois, há variação da herança da resistência a depender da espécie de *Colletotrichum* e do isolado, da fonte de resistência utilizada e também do estágio de maturação dos frutos (PAKDEEVARAPORN et al., 2005; KIM et al., 2010; LEE et al., 2010; SILVA et al., 2014).

Dentre as espécies do gênero *Capsicum*, *C. annuum* é considerada a espécie mais importante e, porém, apesar de relatos da não resistência genética à antracnose nesse gênero (MONGKOLPORN e TAYLOR, 2018), Bento et al. (2017) identificaram resistência à antracnose causada por *C. scovillei* no acesso UENF 1381 (*C. annuum* var. *annuum*).

2.5. Formas de controle da antracnose

Os produtores rurais, buscando a redução de prejuízos causados pela antracnose, acabam utilizando fungicidas, muitas das vezes, de forma indiscriminada, sem respeitar, em muitos casos, o período de carência do produto. Essa prática, acaba acarretando danos ao meio ambiente, ao produtor rural e ao consumidor final do produto (GOMES, 2020).

De acordo com Agrofit (2023) há 9 produtos registrados para o controle da antracnose em pimentas do gênero *Capsicum* e 47 para pimentões. Apesar do número de produtos químicos registrados para o controle da antracnose em *Capsicum*, o controle é dificultado, devido à quantidade de plantas hospedeiras, especialmente as da família Solanaceae. Outro fator limitante do controle da doença é o uso indiscriminado dos produtos químicos, que muitas das vezes não são registrados para a cultura, levando a seleção de patógenos resistentes ao princípio ativo dos produtos o que leva a problemas ambientais e à saúde das pessoas que lidam e consomem os produtos (SUN et al., 2015, SANTOS et al., 2021, LOPEZ; LUCAS, 2021, ANDRIOLI et al., 2021; AGUILAR, 2021; NIETO-ANGEL, et al., 2019).

De acordo com Rani et al. (2021) a aplicação de fungicidas é amplamente utilizada pelos produtores rurais no controle da antracnose devido a sua eficiência no controle de *Colletotrichum*, mesmo provocando, muitas das vezes, a seleção de raças resistentes aos princípios ativos dos produtos. Segundo o Comitê de Ação de Resistência a Fungicidas (do inglês, Fungicide Resistance Action Committee) (FRAC, 2019), os complexos fúngicos *C. gloeosporioides* e *C. acutatum*, causadores da antracnose em *Capsicum*, e em outras culturas, possuem riscos médio de desenvolvimento de resistência aos produtos químicos, dificultando o controle da antracnose (OLIVEIRA et al., 2017).

Entre os anos de 2015 a 2019, a aplicação de agroquímicos agrícolas aumentou 3%, ou seja, cerca de 63 mil toneladas usadas a mais. Quando se compara a utilização de produtos químicos, destinados ao controle da antracnose em culturas agrícolas, entre os anos de 2004 a 2019, observa-se um aumento de 3,3 milhões de toneladas para 4,1 milhões (FAO, 2021), assim, acredita-se que as áreas afetadas por esses

produtos químicos tenham aumentado ainda mais nos dias atuais. Diante desse aumento indiscriminado de produtos sintéticos nas lavouras, visando o controle da antracnose, vem se buscando algumas alternativas, que sejam eficientes e mais sustentáveis, que causem menos ou nem um dano ao meio ambiente e aos seres-humanos. Dentre essas alternativas estão os óleos essenciais.

Diversos autores já comprovaram o potencial antifúngico destes produtos frente a patógenos de importância agrícola: Ascari (2022) utilizando o óleo essencial de lavandin conseguiu uma inibição de 100% no crescimento *in vitro* de *C. gloeosporioides* na dosagem de 200 µl/mL. Já De Figueiredo; Rodrigues da Silva; Aparecida Salgado de Moraes (2023) obtiveram 100% do crescimento micelial de *Macrophomina phaseolina*, um fitopatógeno de solo os OEs de canela, orégano e cravo inibem.

2.6. Óleos essenciais no controle de doenças em plantas

O Brasil se destaca mundialmente como um grande produtor agrícola. Entretanto, para se manter com uma produção ativa e competitiva, muitos produtores acabam utilizando produtos químicos, no controle de pragas e doenças em suas lavouras, muitas das vezes de forma indiscriminada. O uso indiscriminado de produtos sintéticos, nas lavouras, deve-se, muitas das vezes, a fragilidade na vigilância estatal, e a carência de políticas públicas que reduzam o uso desses produtos e incentivem o controle alternativo, como o controle biológico ou agroecológico de pragas e doenças (PIGNATI et al., 2017). Dentro do manejo sustentável de doenças, uma alternativa ao uso de produtos sintéticos, pode ser o uso de óleos essenciais.

Os óleos essenciais são substâncias naturais presentes nas plantas e compostas por aromatizantes, lipofílicos de baixo peso molecular, constituídos principalmente por fenilpropanóides e terpenóides. Essas substâncias podem ser extraídas de diversas partes das plantas como flores, frutos, folhas, raízes e cascas de caule e podem ser armazenados em células epidérmicas, bolsas lisígenas ou células parenquimáticas diferenciadas e tricomas glandulares, canais oleíferos (OOTANI et al., 2013).

A utilização destes bioprodutos na agricultura, está atrelada a seu potencial

antifúngico (MANCIANTI e EBANI, 2020) e sua ação é atribuída aos constituintes químicos presentes neles, como monoterpenos, terpenóides e os compostos fenólicos. Os monoterpenos possuem atividade tóxica nas membranas dos patógenos, possuindo atividade fungicida, sob diferentes concentrações (MAIA et al., 2015; RAVEAU et al., 2020).

Os óleos essenciais podem ser chamados de óleos etéricos ou óleos de volatilidade devido à sua volatilidade à temperatura ambiente (SAFITRI et al., 2020). A composição química pode variar devido a alguns fatores, como a área geográfica, método de extração, a estação da produção, armazenamento e também a parte da planta que é usada para extração (frutos, casca, flores, folhas, caules, entre outros) (KHODAEI et al., 2021).

O perfil fitoquímico encontrado, em variadas espécies de plantas pode fornecer o efeito esperado sobre a inibição de fungos, dentre eles os do gênero *Colletotrichum*. Dessa forma, a utilização de óleos essenciais para o controle de patógenos na agricultura é promissora, pois, não gera impactos negativos na saúde das pessoas e ao meio ambiente, por se tratar de moléculas orgânicas. Assim, a utilização desses bioprodutos pode gerar renda, especialmente, no cenário da agricultura familiar, pois grande parte das espécies com potencial fitoquímico são facilmente cultivadas, não necessitando de investimentos altos. Por fim, a agricultura agroecológica gera valor ao produto no mercado e demonstra um nicho potencial para exploração e comercialização dos produtos orgânicos (LIMA et al., 2005).

Nesse cenário, uma alternativa menos agressiva ao meio ambiente e a saúde das pessoas é o uso de óleos essenciais no controle de doenças fitopatogênicas. Alguns óleos essenciais já foram testados e apresentam atividade inibitória a fungos do gênero *Colletotrichum*, como *C. gloeosporioides* e *C. musae*, tais como: cravo da índia (*Syzygium aromaticum*), citronela (*Cymbopogon* sp.) e alecrim-pimenta (*Lippia sidoides*) (JÚNIOR et al., 2009; ARAÚJO et al., 2003; SANTOS, 2017; BRUM et al., 2017; OLIVEIRA et al., 2016; SILVA et al., 2009).

Dentre os óleos essenciais com atividade fungicida relevante, destaca-se o óleo de lavandin (*Lavandula hybrida* Reverchon). A eficiência do óleo essencial de lavandin foi comprovada por Moumni et al. (2021), frente a *Alternaria alternata* e

Stagonosporopsis cucurbitacearum, principais patógenos de sementes de cucurbitáceas. Ascari (2022) avaliando a eficiência *in vitro* do óleo essencial de lavandin no controle de *Botrytis* spp. em morango, *Fusarium* spp. em gengibre e *C. gloeosporioides*. na goiaba serrana, confirmou a eficiência do óleo essencial de lavandin no controle de *C. Gloeosporioides*.

Lorenzetti et al. (2011) comprovou a eficiência do óleo essencial de lavandin (*L. hybrida*) nas concentrações de 125, 250, 500 e 1000 ppm, frente a *Botrytis* spp., agente causador da doença mofo cinzento, em morango.

3. OBJETIVO GERAL

O objetivo dessa pesquisa foi avaliar a eficiência do óleo essencial de lavandin, assim como os seus compostos majoritários, no controle de *Colletotrichum scovillei*, em condições *in vitro* e em frutos de pimentas do gênero *Capsicum*.

3.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar quimicamente o óleo essencial de lavandin;
- Avaliar a eficiência do óleo essencial de lavandin e de seus compostos majoritários, no controle *in vitro* e *in vivo* do *Colletotrichum scovillei* ;
- Identificar as concentrações ideais (CI50 e CI90) do óleo essencial e dos compostos majoritários no controle de *Colletotrichum scovillei*;

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Locais de realização do Experimento

Os experimentos foram conduzidos nos Laboratórios de Química Aplicada do Instituto Federal do Espírito Santo, Campus de Alegre, no Laboratório de Melhoramento e Resistência de Plantas a Doenças (LAMERP) e no Laboratório de Microbiologia da Universidade Federal do Espírito Santo, Campus de Alegre.

4.2. Análise da composição química do óleo essencial de *Lavandula hybrida* Reverchon

Neste trabalho foi utilizado o óleo essencial de lavandin (*Lavandula hybrida* Reverchon), lote 166, adquirido da empresa Ferquima.

As propriedades químicas e a(s) substância(s) majoritária(s) do OE foram analisadas em cromatógrafo gasoso acoplado com detector de ionização em chamas (CG-DIC), equipamento da marca Shimadzu GC-2010 Plus e em cromatógrafo gasoso acoplado ao detector de espectrometria de massas (CG-EM), aparelho da marca Shimadzu (QPMS – 2010). Essa etapa seguiu a metodologia adaptada de (BRAVIM et al., 2020).

Nas análises químicas foram utilizadas colunas capilares de sílica fundida (30 m x 0,25 mm) com fase estacionária Rtx®-5MS (0,25 µm de espessura do filme) e os gases de arraste hélio para a análise de CG/EM e o gás nitrogênio para análise em GC/DIC, com fluxo de 3,0 mL/min.

A temperatura do forno permaneceu os três primeiros minutos iniciais a 40 °C. Logo, após aumentada em escala de 3 °C/minuto até atingir 240 °C, mantendo-se nesta temperatura por 5 min. A temperatura do injetor foi de 250 °C e a temperatura do detector a 280 °C a uma razão de split de 1:30.

A identificação dos componentes majoritários do OE foi realizada através da comparação de seus espectros de massas com os dados presentes nas bibliotecas de espectros Willey7, NIST05, NIST05s, NIST12 e NIST62 e através do cálculo do Índice de Retenção (IR).

O índice de retenção (IR) calculado para cada composto foi comparado com valores disponíveis na literatura (ADAMS, 2007). Foram identificados compostos químicos com área relativa superior a 1%.

4.3 Preparo da emulsão

A emulsão do OE foi feita em sistema de óleo-em-água, sendo a fase oleosa composta pelo emulsificante e pelo óleo essencial, sendo misturados em cuba

ultrassônica, da marca Cristófoli, com frequência de 42 kHz. Também foi utilizada água destilada autoclavada que irá compor a fase aquosa, sendo adicionada aos poucos no sistema.

4.4. Testes de estabilidade da emulsão

Para a avaliação da estabilidade da emulsão do OE, foram utilizados quatro emulsificantes: Tween 20, Tween 80, Span 80 e Span 85 da marca Sigma – Aldrich, objetivando encontrar o melhor padrão de estabilidade das emulsões.

As amostras foram submetidas a uma agitação ultrassônica a 42 *kHz* em diferentes tempos (20, 30, 40, 50 e 60) minutos. Logo após, as emulsões que não separaram as fases seguiram para o teste de estresse por aquecimento onde as amostras foram aquecidas durante 50 minutos a 70 °C.

As emulsões que se mantiveram estáveis seguiram para o teste de estresse por centrifugação, sendo centrifugadas a 6.000 rpm durante 10 minutos.

Ao fim desses processos, foi possível, identificar o melhor emulsificante, ou seja, o que vai proporcionar a melhor estabilidade das emulsões do OE e dos compostos majoritários.

4.5. Preparo da solução estoque

Visando a homogeneidade da distribuição da emulsão no meio de cultura BDA (Batata Dextrose Ágar), foi preparada uma solução estoque do OE com o emulsificante e a água destilada autoclavada. As emulsões preparadas continham 5% de óleo essencial e 2% do emulsificante Tween 80. Esta foi utilizada nos testes microbiológicos com diluições seriadas (v/v) incorporadas ao meio de cultura BDA.

4.6. Realização dos experimentos antifúngicos *in vitro*

4.6.1. Obtenção do isolado de *Colletotrichum*

Neste trabalho foi utilizado o isolado de *Colletotrichum scovillei*, da coleção fúngica do Laboratório de Melhoramento e Resistência de Plantas a Doenças (LAMERP) da Universidade Federal do Espírito Santo, Campus de Alegre. Este isolado foi obtido de fruto de pimentão coletado em comércio na cidade de Alegre no Espírito Santo, e identificado por meio de análise morfológica e molecular por Alves (2021).

4.6.2. Avaliação da atividade antifúngica do óleo essencial de *Lavandula hybrida* Reverchon e de seus componentes majoritários *in vitro*

Para a realização dos testes *in vitro*, o isolado de *Colletotrichum scovillei*, foi cultivado em meio de cultura BDA (Batata Dextrose Ágar), por um período de sete dias, em estufa de crescimento bacteriano a $28^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ e fotoperíodo de 12 horas claro/escuro.

Após este período de crescimento do fungo, foram realizados pré-testes, para identificar a CI 10 e CI 90 e, assim, escanear esse intervalo para estimar as concentrações mais eficientes do óleo essencial e dos compostos majoritários que inibem o crescimento do fungo *in vitro*. Nestes pré-testes foram utilizadas sete concentrações: 1 $\mu\text{l}/\text{mL}$, 4 $\mu\text{l}/\text{mL}$, 8 $\mu\text{l}/\text{mL}$, 12 $\mu\text{l}/\text{mL}$, 16 $\mu\text{l}/\text{mL}$, 20 $\mu\text{l}/\text{mL}$ e 24 $\mu\text{l}/\text{mL}$. A CI 10 e CI 90, ou seja, as concentrações que inibiram 10% e 90% do crescimento fúngico, respectivamente foram obtidas por meio de análise logarítmica dos dados dos pré-testes. Além dos óleos essenciais e dos compostos majoritários, também foram utilizados o fungicida comercial Azoxistrobina (200 g/L) + Difenconazol (125 g/L), como controle positivo, o emulsificante Tween 80 como controle negativo e o meio de cultura sem emulsão.

Após o pré-teste foi identificado que as concentrações acima não foram tão eficazes para determinar as concentrações inibitórias (CI 50 e CI 90). Logo, foram testadas novas concentrações, distintas, para o óleo essencial de lavandin, o linalol e o

acetato de linalol, tais como: 0,5; 1; 2; 2,5; 3; 3,5 e 4 µl/mL, para o lavandin, 1; 1,0625; 1,125; 1,25 e 1,45 µl/mL, para o linalol e, 0,125; 1; 4; 8; 12; 16; 20 e 24 µl/mL, para o acetato do linalol. A variação da CI 10 e CI 90 entre o óleo essencial e os compostos majoritários afetou o intervalo de concentrações a ser testado para definir a CI 50 e CI 90.

As concentrações das emulsões foram adicionadas ao meio de cultura, em temperatura amena. Também foi adicionado ao meio amoxicilina (100 mg/mL) para evitar o crescimento bacteriano.

Após a solidificação do meio de cultura, foi adicionado um disco de aproximadamente 05 mm da colônia fúngica, crescidas anteriormente. O teste foi realizado com três repetições e foi repetido duas vezes para a confirmação dos resultados. As placas de Petri, com tamanho de 90 x 15 mm, contendo as emulsões nas concentrações testadas e o disco com o fungo, foram colocadas em estufa bacteriológica a 28 °C. Após sete dias (tempo de crescimento ideal do fungo), foi avaliado o crescimento do fungo por meio de medições, com o auxílio de paquímetro digital.

Para o cálculo da porcentagem de inibição do crescimento micelial (ICM), foi utilizada a fórmula proposta por Bastos (1997):

$$\text{ICM (\%)} = (T-t) \times 100/T$$

Em que: “T” é o diâmetro do crescimento micelial do controle e “t” é o diâmetro do crescimento micelial nas placas que contém os tratamentos.

Ao fim das avaliações foi possível identificar, por meio da análise de regressão linear simples, a menor e a maior concentração dos óleos essenciais e dos compostos majoritários, (CI 50 e CI 90), respectivamente, que controlam de forma eficiente o crescimento fúngico.

O teste *in vitro* foi organizado em delineamento inteiramente ao acaso (DIC). Os dados obtidos foram analisados por meio da Análise de Variância (ANOVA) a 5% de probabilidade e, em seguida, foi realizado o teste de comparação de médias Tukey

($p < 0,05$). Para os dados que não assumiram normalidade, foi realizada transformação dos dados para prosseguir a ANOVA e Teste de médias Tukey ($p < 0,05$). O programa R® versão 4.0.4 (The R Foundation for Statistical Computing, 2021) foi utilizado para análise dos resultados obtidos.

4.6.3. Análise da ação exercida pelo óleo essencial de *Lavandula hybrida* Reverchon e de seus componentes majoritários

A análise da toxicidade do óleo essencial no controle fúngico foi realizada através da transferência de discos contendo micélios fúngicos submetidos às concentrações (CI 50 e CI 90) do óleo essencial e dos compostos majoritários no teste de inibição do crescimento micelial. Para isso foram retirados discos de 5 mm dessas colônias e transferidos para novos meios de cultura BDA acrescentando a solução de amoxicilina.

O mesmo procedimento foi realizado para os tratamentos que continham os controles. Por fim, foi realizada a avaliação do crescimento micelial após 7 dias da realização do experimento e, se confirmado o crescimento do micélio de *C. scovillei* novamente, a ação do óleo essencial ou dos compostos majoritários, é considerada fungistática, caso contrário, considerada fungicida.

4.7. Realização dos experimentos *in vivo*

4.7.1. Avaliação da atividade antifúngica do óleo essencial de *Lavandula hybrida* e de seus componentes majoritários no controle da antracnose em frutos de pimentas do gênero *Capsicum*

Neste experimento, foi utilizada a cultivar de pimentão Ikeda (suscetível à antracnose). As sementes da cultivar foi semeada em bandejas, de 128 células, de poliestireno, contendo substrato comercial. Após o surgimento de quatro pares de folhas definitivas, a cultivar foi transplantada para vasos de 3 L, contendo uma mistura de solo, areia e esterco bovino, curtido, na proporção de 1:1:1. Foram utilizadas cinco

plantas do genótipo, dispostas em delineamento inteiramente ao acaso, em casa de vegetação.

No teste *in vivo*, foram utilizados 5 frutos da cultivar Ikeda, no estágio imaturo, uma vez que, o controle genético da resistência, nestes frutos, é devido a genes distintos, conforme o estágio de maturação dos mesmos (MAHASUK et al., 2009).

Os frutos foram levados ao laboratório onde foram desinfestados com a utilização da solução de hipoclorito de sódio (NaClO) a 0,2% (v/v), durante 5 minutos, logo os frutos foram imersos em solução de álcool 70% (v/v) por 5 minutos. Em seguida, foram lavados com água esterilizada autoclavada. Logo após a secagem, os frutos foram dispostos caixas gerbox (higienizadas) onde foi montada uma câmara úmida, com o auxílio de um algodão umedecido em água destilada.

O óleo essencial de lavandin, assim, como os seus compostos majoritários, foram aplicados, por meio de emulsões, nas menores e maiores concentrações (CI 50 e CI 90) efetivas no controle do *Colletotrichum scovillei* no teste *in vitro*. Os tratamentos utilizados no teste *in vivo* são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1: Tratamentos utilizados no teste *in vivo*.

TRATAMENTO	CONCENTRAÇÃO
T 1	2,07 µl/mL (CI 50 do óleo essencial de lavandin)
T 2	4,69 µl/mL (CI 90 do óleo essencial de lavandin)
T 3	9,04 µl/mL (CI 50 do composto majoritário acetato do linalol)
T 4	23,21 µl/mL (CI 90 do composto majoritário acetato do linalol)
T 5	1,14 µl/mL (CI 50 do composto majoritário linalol)
T 6	1,53 µl/mL (CI 90 do composto majoritário linalol)
T 7	Água destilada autoclavada
T 8	Fungicida comercial Azoxistrobina (200 g/L) + Difenconazol (125 g/L),
T 9	Emulsificante Tween 80

Fonte: O autor (2023)

As emulsões foram aplicadas nos frutos utilizando um borrifador. Após a aplicação das emulsões, os frutos foram inoculados com uma concentração de 1×10^6 conídios/mL e em seguida foram perfurados com auxílio de uma agulha, para facilitar a penetração do fungo nos frutos. Posteriormente a inoculação, os frutos foram colocados em câmara úmida e mantidos à temperatura ambiente durante 10 dias, sendo avaliados

diariamente medindo-se o tamanho da lesão com auxílio de um paquímetro digital graduado em milímetros. Este experimento foi realizado no Laboratório de Melhoramento e Resistência de Plantas a Doenças (LAMERP) e realizado duas vezes (experimento 1 e experimento 2) para a confirmação dos resultados obtidos.

As avaliações dos sintomas da doença nos frutos foram realizadas utilizando a escala de notas (Tabela 2) sugerida por Chiang et al. (2014) e modificada por Bock et al. (2021). A severidade da doença foi estimada adotando o ponto médio dos intervalos da gravidade da doença (%) para cada classe da escala de notas.

Tabela 2: Escala de notas utilizada para avaliação geral da severidade da antracnose.

NOTA	PONTO MÉDIO	GRAVIDADE (VARIACÃO DE %)
0	-	-
1	0,05	0 + a 0,1
2	0,30	0,1 + a 0,5
3	0,75	0,5 + a 1,0
4	1,50	1,0 + a 2,0
5	3,50	2,0 + a 5,0
6	7,50	5,0 + a 10,0
7	15,0	10,0 + a 20,0
8	25,0	20,0 + a 30,0
9	35,0	30,0 + a 40,0
10	45,0	40,0 + a 50,0
11	55,0	50,0 + a 60,0
12	65,0	60,0 + a 70,0
13	75,0	70,0 + a 80,0
14	85,0	80,0 + a 90,0
15	95,0	90,0 + a 100,0

Com os resultados obtidos foram avaliados a Área Abaixo da Curva de Progresso da Doença (AACPD) e o período de incubação da doença.

A Área Abaixo da Curva de Progresso da Doença (AACPD) foi determinada pela seguinte fórmula:

$$AACPD = \sum [(x_i + x_{i+1})/2 (t_{i+1} - t_i)]$$

Onde:

x é a severidade da doença, e

$(t_{i+1} - t_i)$ é o intervalo de tempo entre duas avaliações consecutivas.

4.7.2. Procedimentos estatísticos

A variável (severidade da doença) não assumiu normalidade nem mesmo com transformações de dados, assim foi realizada análise não paramétrica (teste de Kruskal Wallis a 0,05% de probabilidade) para identificar as diferenças entre os pares de tratamentos. O programa R[®] versão 4.0.4 (The R Foundation for Statistical Computing, 2021) foi utilizado para análise dos resultados obtidos.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

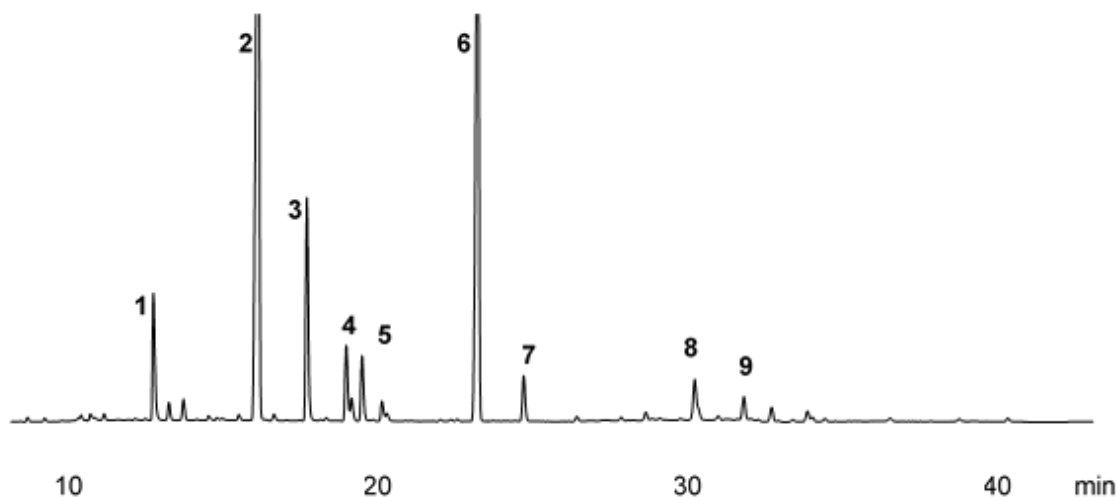
5.1. Caracterização química do óleo essencial de *Lavandula hybrida Reverchon*

Após análise dos constituintes químicos do óleo essencial de lavandin, foi gerado o perfil cromatográfico do óleo (Figura 1), onde, foram identificados os compostos com área relativa, superior a 1% e detectou-se nove picos com nove constituintes químicos. Dos nove picos identificados, dois (2 e 6) apresentaram as maiores áreas no cromatograma, linalol e acetato do linalol, sendo estes identificados como compostos majoritários do óleo essencial de lavandin. Os tempos de retenção destes compostos majoritários foram de 16,231 minutos e 23,304 minutos, respectivamente para linalol e acetato do linalol.

Os nove compostos químicos que foram identificados através da comparação dos espectros de massas obtidos com os espectros de massas existentes no banco de dados Willey7, NIST05, NIST05s, NIST12 e NIST62 e também pela comparação dos valores dos índices de LTPRI calculados com os valores tabelados, do óleo essencial de lavandin, são apresentados na Tabela 3 (MUHLEN, 2009). De acordo com os dados obtidos foi observado que o linalol compõe uma área de 40,50% do óleo de lavandin e o

acetato do linalol uma área de 34,45%, compreendendo 74,95% da composição total do óleo.

Figura 1 - Perfil cromatográfico do óleo essencial de lavandin, obtido no aparelho de CG-EM (*Shimadzu QP-PLUS- 2010*).



Fonte: Autor (2023).

Tabela 3. Caracterização pelo índice LTPRI e CG-MS do óleo essencial de lavandin^[a].

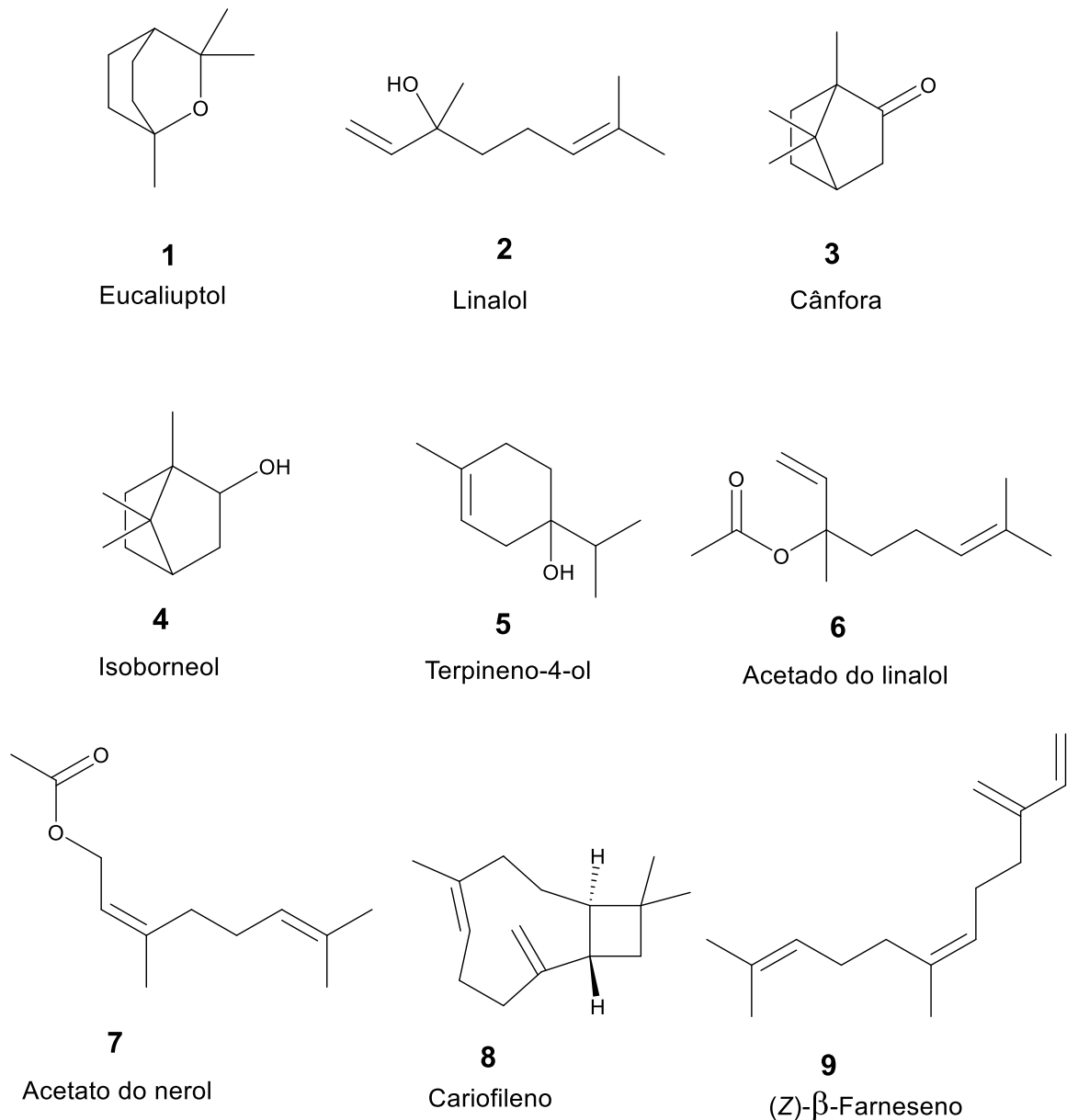
Pico	Tempo de retenção	Índice de retenção calculado ^[b]	Índice de retenção tabelado ^[c]	Nome	Área% ^[d]
1	12,836	1022	1026	Eucaliptol	4,88
2	16,231	1096	1095	Linalol	40,50
3	17,791	1130	1141	Cânfora	8,91
4	19,058	1157	1155	Isoborneol	3,18
5	19,568	1168	1174	Terpineno-4-ol	2,66
6	23,304	1250	1254	Acetato do Linalol	34,45
7	24,784	1283	1359	Acetato do Nerol	1,96
8	30,306	1412	1417	Cariofileno	2,42
9	31,890	1451	1440	(Z)- β -Farneseno	1,05

[a] Compostos identificados pelo índice LTPRI e por CG-MS usando uma coluna Rtx®-5MS. [b] Calculado usando uma mistura de n-alcenos saturados (C7 a C40). [c] Índices tabelados com base em ADAMS, 2007. [d] Área relativa com base no cromatograma da Figura 1, identificados apenas compostos com área relativa > 1%.

Fonte: Autor (2023).

As estruturas moleculares dos compostos majoritários do óleo essencial de lavandin são representadas na Figura 2.

Figura 2: Estrutura molecular dos compostos químicos do óleo essencial de lavandin.



Fonte: Autor (2023).

No estudo realizado por Jianu et al. (2013), intitulada composição química e atividade antimicrobiana de óleos essenciais de lavanda (*Lavandula angustifolia*) e lavandin (*Lavandula x intermedia*) cultivadas na Romênia Ocidental, também foram

identificados esses dois componentes majoritários no óleo de lavandin. Os principais compostos químicos do óleo essencial desta planta foram o linalol (31,9%), acetato do linalol (27,7%) e cânfora (15,9%). Ainda foi possível observar neste trabalho que o linalol apresentou maior área na composição total do óleo, assemelhando a esta pesquisa.

Nos estudos de Garzoli et al. (2019), trabalhando com a atividade antibacteriana do óleo essencial de lavandin frente a *Acinetobacter bohemicus*, *Pseudomonas fluorescens*, *Bacillus cereus* e *Kocuria marina*, também identificaram o linalol (41,6%) e o acetato do linalol (23%) como constituintes mais abundantes no óleo essencial de lavandin, corroborando com esta pesquisa.

A pesquisa de Lafhal et al. (2016), trabalhando com análise quimiométrica dos óleos essenciais de lavanda francesa e lavandin por espectroscopia no infravermelho próximo, também apresentou o linalol (28,58%) e o acetato do linalol (39,40%) como componentes majoritários, do óleo de lavandin, diferindo desta pesquisa que apresentou o linalol como composto mais abundante.

Os compostos majoritários do óleo essencial de Lavandin identificados nesta pesquisa também foram identificados nos experimentos de Umezu et al. (2006), Garzoli et al. (2019) e Lafhal et al. (2016), mas a quantidade de constituintes diferiu. Isso deve-se a composição dos óleos essenciais poder ser alterada por vários fatores, como o estágio de desenvolvimento da planta, o genótipo e os fatores ambientais, interferindo tanto positiva quanto negativamente (RASOOLI, 2007).

Em relação às classes de compostos do óleo essencial de lavandin, verificou-se a predominância de monoterpenos oxigenados, ocupando 96,54% da área total. Outra classe identificada foi de sesquiterpenos hidrogenados, ocupando 3,47% da área total (Tabela 4).

Tabela 4. Classe de compostos do óleo essencial de lavandin.

Classe	Quantidade / área%
Monoterpenos Hidrogenados	-
Monoterpenos Oxigenados	96,54
Sesquiterpenos Hidrogenados	3,47
Sesquiterpenos Oxigenados	-

Fonte: Autor (2023).

De acordo com Busato et al. (2014); Meireles (2009) os principais constituintes dos óleos essenciais são os monoterpenos hidrogenados, monoterpenos oxigenados, sesquiterpenos hidrogenados e sesquiterpenos oxigenados, corroborando com os dados desta pesquisa que apresentou as classes monoterpenos oxigenados e sesquiterpenos hidrogenados.

Scariot (2021), avaliando a atividade antifúngica de monoterpenos sobre isolados de *Colletotrichum* spp. oriundo de videiras, com sintomas da podridão da uva, sugere que os monoterpenos oxigenados apresentam maior atividade antifúngica em comparação com outros grupos. O mesmo autor sugere que o mecanismo de ação dos monoterpenos contra fungos do gênero *Colletotrichum* spp., objeto de estudo nesta pesquisa, envolve o acúmulo intracelular de espécies reativas de oxigênio e perda da integridade da membrana celular, não havendo evidências de perda do potencial da membrana mitocondrial.

Nas pesquisas de Moumni et al. (2021), buscando avaliar a ação antifúngica e composição química de sete óleos essenciais para controlar os principais fungos transmitidos por sementes de cucurbitáceas, inclusive o óleo essencial de *L. Hybrida*, foram identificados 41 compostos químicos, e o linalol e acetato do linalol, como

majoritários, corroborando com esta pesquisa. Os autores sugerem que 90,8% da área do óleo é ocupada por monoterpenos oxigenados, valor bem próximo ao apresentado nesta pesquisa (96,54%), os monoterpenos hidrogenados representam 3,6 % da área do óleo, enquanto, nesta pesquisa não foram constatados essa classe de compostos químicos. Os autores também identificaram que 0,2% da área do óleo era constituída por sesquiterpenos oxigenados e 1,4% por derivados não terpênicos, não corroborando com os dados dessa pesquisa, que não apresentou essas classes de compostos químicos. Nesta pesquisa, os sesquiterpenos hidrogenados ocuparam 3,47% da área do óleo, enquanto na pesquisa de Moumni et al. (2021), essa classe representou 4% da área total do óleo.

5.2. Estabilidade da emulsão

Os óleos essenciais são moléculas apolares, assim, não se misturam com a água. Dessa forma, é preciso utilizar um emulsificante para carregar as moléculas de óleo, homogeneizando a solução óleo-água. Nesse cenário, foram testados quatro emulsificantes, Tween 20, Tween 80, Span 80 e Span 85. Dentre estes, o emulsificante Tween 80 apresentou melhor resultado, tornando a emulsão do óleo essencial de lavandin mais homogênea, não havendo separação das fases. A emulsão foi caracterizada como estável devido a sua cor opaca através da análise macroscópica em acordo com as características apresentadas no trabalho de McClements (2011).

5.3. Avaliação da atividade antifúngica do óleo essencial de *Lavandula hybrida* Reverchon e de seus componentes majoritários no controle de *Colletotrichum scovillei* *in vitro*

5.3.1. Atividade antifúngica do óleo essencial de *Lavandula hybrida* Reverchon e de seus componentes majoritários *in vitro*

Após confirmação da normalidade dos dados do linalol foi realizada a análise de

variância, que foi significativa a 5% de probabilidade. Para o óleo essencial de lavandin e o acetato do linalol, os dados não apresentaram variâncias homogêneas, portanto foram transformados por meio de logatítmo e confirmada, a normalidade dos dados, realizada a análise de variância, que também foi significativa a 5% de probabilidade. Após a análise de variância foi realizado o teste de médias Tukey a 5% de probabilidade.

Os resultados em relação à inibição do crescimento micelial pelo óleo essencial de lavandin foram significativos e possibilitou a formação de cinco grupos (Tabela 5). A inibição do crescimento do micélio chegou a mais de 88% na concentração de 4 $\mu\text{L/mL}$, mostrando alto potencial fungicida do OE de lavandin no controle do *C. scovillei*. O fungicida (C+) apresentou 100% de inibição. Já o emulsificante Tween 80 (C-) na concentração 4 $\mu\text{L/mL}$ apresentou 12,06% de inibição, comprovando que o emulsificante utilizado pouco interferiu na atividade antifúngica do óleo.

Comparado com o tratamento com o fungicida comercial, o tratamento com óleo essencial de lavandin, linalol e acetato do linalol não diferiu estatisticamente nas concentrações de 4 $\mu\text{L/mL}$; 1,45 $\mu\text{L/mL}$; 16, 20 e 24 $\mu\text{L/mL}$, respectivamente.

Tabela 5. Percentual de inibição do crescimento micelial ($\pm\text{EP}$) de *C. scovillei* a diferentes concentrações de OE de *Lavandula hybrida* e seus componentes majoritários, em condições de laboratório.

	Concentrações ($\mu\text{L/mL}$)	Inibição do Crescimento Micelial (%)
OE da Lavvandin	0,5	21,31 \pm 0,25 d
	1,0	41,39 \pm 2,37 c
	1,5	41,39 \pm 1,32 c
	2,0	49,77 \pm 1,14 bc
	2,5	56,32 \pm 0,83 b
	3,0	59,67 \pm 3,65 b
	3,5	63,63 \pm 3,56 b
	4,0	88,34 \pm 11,66 a
	C(+) ¹	100 a
	Concentrações ($\mu\text{L/mL}$)	Inibição do Crescimento Micelial (%)

Linalol	1	34,43 ±2,61 b
	1,0625	47,94 ± 5,57 b
	1,125	50,16±4,14 b
	1,25	52,74±3,58 b
	1,45	85,93±7,04 a
	C(+) ¹	100 a
Concentrações (µL/mL)		Inibição do Crescimento Micelial (%)
Acetato do Linalol	0,125	11,97±0,88 f
	1,0	28,38 ± 5,35 e
	4	42,08±1,77 d
	8	53,86±1,71 cd
	12	64,48±1,93 bc
	16	71,04±3,72 abc
	20	71,81±4,09 abc
	24	92,53±7,47 ab
	C(+) ¹	100 a

* Porcentagens médias de inibição e erro padrão das concentrações. Médias seguidas da mesma letra na coluna não se diferenciam, entre si, pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). ¹Azoxistrobina (200 g/L) + Difenconazol (125 g/L):2 µl/mL

Fonte: Autor (2023).

Alguns estudos vêm sendo realizados para a utilização do óleo de *L. hybrida* no controle alternativo de doenças fitopatogênicas, mas contra *C. scovillei* são raras as pesquisas. Mourni et al. (2021), avaliaram sete óleos essenciais, sendo eles lavanda (*Lavandula dentada*), lavandin (*L. hybrida*), capim limão (*C. citratus*) e louro (*Laurus nobilis*) para a inibição do crescimento de *Alternaria alternata* e o *Stagonosporopsis cucurbitacearum*, principais patógenos de sementes de cucurbitáceas. Nos resultados, os autores identificaram que o óleo essencial de *L. hybrida* inibiu 71% do crescimento micelial de *A. Alternata* na dose 1 mg/mL, já para *S. cucurbitacearum* os óleos essenciais de lavanda e lavandin inibiram o crescimento micelial em aproximadamente 74% a 1 mg/mL. Esses resultados corroboram com esta pesquisa, indicando o potencial antifúngico deste bioproduto, frente a organismos fitopatogênicos de importância agrícola, e em concentrações baixas.

Ascari (2022) avaliando a eficiência *in vitro* do óleo essencial de lavandin no

controle de *Botrytis* spp. em morango, *Fusarium* spp. em gengibre e *C. gloeosporioides*. na goiaba serrana, confirmou a eficiência do óleo essencial de lavandin no controle de *C. gloeosporioides*, fungos do mesmo gênero de *C. scovillei*. A autora concluiu que o óleo de lavandin, na concentração de 200 µL/mL inibiu em 100% do crescimento de *C. gloeosporioides*, concentração muito alta, em comparação com este experimento.

Nos experimentos de Lorenzetti et al. (2011), buscando o controle alternativo de *Botrytis* spp., agente causador da doença mofo cinzento, em morango foram testados doze óleos, entre eles alecrim (*R. officinalis*), laranja doce (*Citrus sinensis* var. *dulcis*), palmarosa (*C. martinii*) e lavandin (*L. hybrida*), nas concentrações de 125, 250, 500 e 1000 ppm. Todos os tratamentos a base de óleo essencial foram estatisticamente semelhantes ao fungicida comercial recomendado para a cultura. Este estudo é mais uma evidência do potencial antifúngico *in vitro* do óleo essencial de *L. hybrida* no controle alternativo de doenças de plantas, mas contrapõe esta pesquisa devido às semelhanças de efeito entre todos os tratamentos testados de *L. hybrida*. Os dados apresentados nesta pesquisa, mostram que apenas a concentração de 4 µL/mL do óleo foi estatisticamente igual ao fungicida comercial.

O linalol, principal constituinte do óleo essencial de lavandin, nesta pesquisa, na concentração de 1,45 µL/mL inibiu 85,93% do crescimento micelial de *C. scovillei*, enquanto que o acetato de linalol, na maior concentração 24 µL/mL, inibiu 92,53% do crescimento micelial do fungo. O controle negativo apresentou 14,18 e 21,31% de inibição para linalol e acetato do linalol, respectivamente. E o controle positivo apresentou 100% de inibição.

A eficiência da atividade antimicrobiana do composto majoritário linalol também já é comprovada na literatura. De acordo com Pimentel (2014) em sua pesquisa intitulada produção, composição química e atividade antifúngica de óleos essenciais de espécies arbóreas da família Lauraceae, o composto linalol provenientes do óleo essencial de pau-rosa (*Aniba rosaeodora* Ducke), apresentou atividade antifúngica contra fungos fitopatogênicos do gênero *Colletotrichum* spp. na concentração inicial de 20 mg.mL⁻¹, grupo de fungos, ao qual faz parte *C. scovillei*, patógeno controlado pelo linalol, nesta pesquisa.

Outros autores comprovaram a eficiência antimicrobiana do composto linalol,

frente a organismos fitopatogênicos de importância agrícola. De acordo com Li et al. (2022) as concentrações de 0,571 e 1,2 $\mu\text{L}/\text{mL}$ do composto linalol inibem completamente o crescimento de *Aspergillus flavus* em grãos de pós-colheita de trigo. Sugere-se que o linalol inibe o crescimento de *A. flavus*, interrompendo a integridade e permeabilidade das membranas celulares, o transporte de cassete de ligação ao ATP, o ciclo do ácido tricarbóxico e ao induzir disfunção mitocondrial e estresse oxidativo. Em comparação com esta pesquisa, a maior concentração (1,2 $\mu\text{L}/\text{mL}$) do linalol eficiente no controle de *A. flavus* nos experimentos de Li et al. (2022) é próxima a concentração mais eficiente no controle de *C. scovillei* (1,45 $\mu\text{L}/\text{mL}$), determinada neste trabalho.

Li et al. (2023) também sugere potencial fungicida do linalol, na concentração de 1,2 mL/L, corroborando com esta pesquisa, ao comprovar a atividade antifúngica do linalol frente a outro fungo de importância econômica, *Fusarium oxysporum*, com a concentração mais eficiente próxima, só que, em plantas de tomate, da mesma família das pimentas do gênero *Capsicum* e, ainda, sugere que o linalol reduz significativamente a expressão de genes patogênicos, aumentando a resistência da planta à doenças.

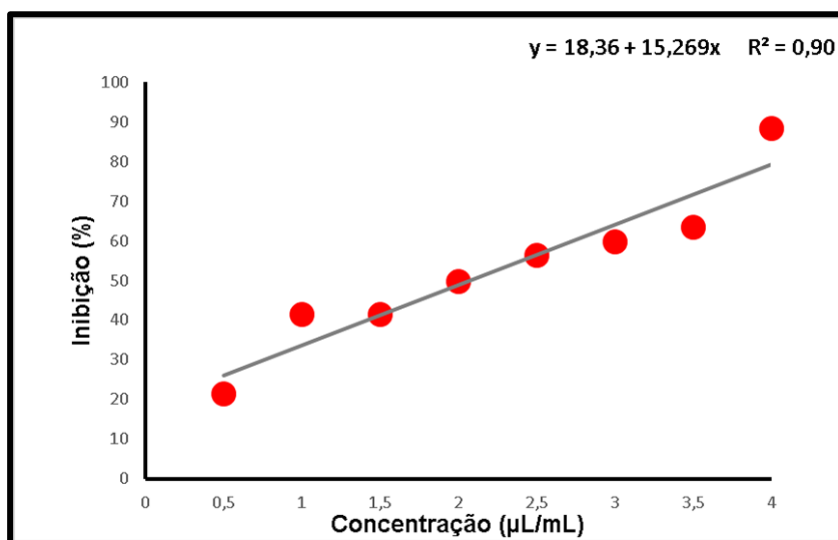
Deepa et al. (2022) comprovou a eficiência antibacteriana do linalol contra *Pseudomonas syringae* em tomate, na concentração de 80 ppm, reduzindo significativamente a taxa de infecção em plantas de tomate *in vivo*. Este estudo corrobora com os dados desta pesquisa ao comprovar a eficiência do linalol no controle de fitopatógenos que afetam a família das solanáceas, que neste caso são as pimentas do gênero *Capsicum*. Os estudos de Balsells-Illauradó et al. (2023) avaliando papéis putativos de linalol e farnesal na resistência da nectarina contra a podridão parda em pêssegos, causada por *Monilinia* spp. sugerem atividade antifúngica *in vitro* contra *Monilinia* spp., mais um indicativo do potencial fungicida deste composto.

A partir destes resultados é possível afirmarmos que o OE de *Lavandula hybrida* e seus componentes majoritários são eficientes na inibição de *C. scovillei*. Dessa forma, se tratando de um produto natural, os resultados apresentam-se atraentes, garantindo segurança alimentar ao consumidor final.

5.3.2. Determinação das concentrações de inibição micelial (CI 50 e CI 90) do óleo essencial de *Lavandula hybrida* Reverchon e de seus componentes majoritários

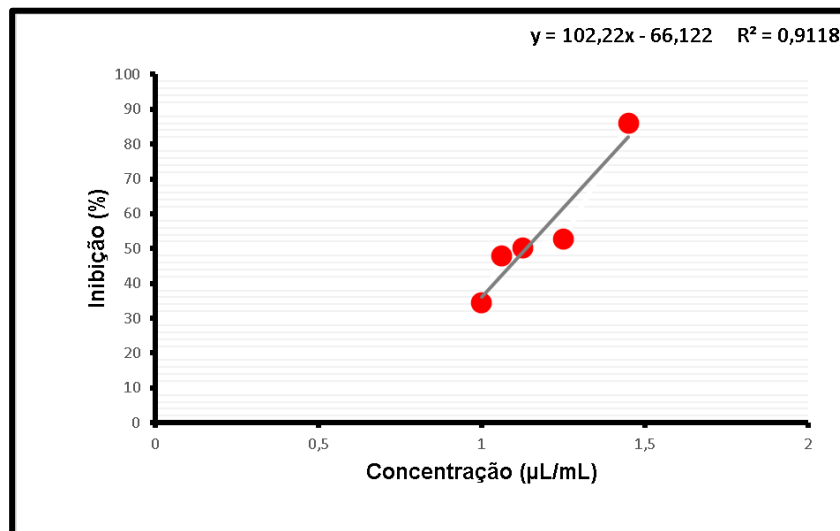
As concentrações do OE de lavandin e dos componentes majoritários linalol e acetato do linalol que inibem 50% e 90% do crescimento micelial de *C. scovillei* foram determinadas a partir das equações presentes nas Figuras 3, 4 e 5.

Figura 3: gráfico utilizado para estimar a CI 50 e CI 90 do OE de Lavandin frente ao crescimento micelial de *C. scovillei*.



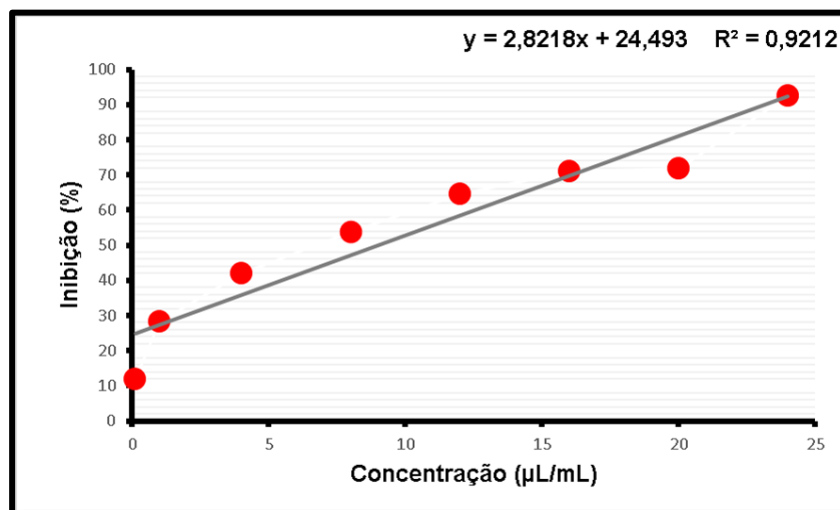
Fonte: o autor, 2023.

Figura 4: gráfico utilizado para estimar a CI 50 e CI 90 do Linalol frente ao crescimento micelial de *C. scovillei*.



Fonte: o autor, 2023

Figura 5: gráfico utilizado para estimar a CI 50 e CI 90 do acetato do linalol frente ao crescimento micelial de *C. scovillei*.



Fonte: o autor, 2023

Através da Tabela 6 foi possível observar que o linalol puro é mais eficaz no controle do crescimento micelial de *C. scovillei*, apresentando a menor CI 50 (1,14 µL/mL) e CI 90 (1,53 µL/mL) quando comparado com o OE de lavandin e o acetato do linalol. O OE de lavandin também apresenta boa atividade inibitória ao crescimento micelial de *C. scovillei*, apresentando CI 50 (2,07 µL/mL) e CI 90 (4,69

$\mu\text{L/mL}$) baixas, mas superiores ao Linalol isolado. Já o acetato do linalol apresenta tanto a CI 50 (9,04 $\mu\text{L/mL}$) quanto a CI 90 (23,21 $\mu\text{L/mL}$) bem superiores ao OE e ao linalol.

Tabela 6: Estimativa da CI 50 e CI 90 frente ao crescimento micelial de *C. scovillei*

Tratamentos	Inibição do micélico fúngico (%)	
	CI 50 ($\mu\text{L/mL}$)	CI 90 ($\mu\text{L/mL}$)
OE de Lavandín	2,07	4,69
Linalol	1,14	1,53
Acetato do Linalol	9,04	23,21

Fonte: o autor, 2023.

5.3.3. Análise da ação exercida pelo óleo essencial de *Lavandula hybrida* Reverchon e de seus componentes majoritários

A atividade do óleo essencial de *Lavandula hybrida* e de seus componentes majoritários foi considerada fungistática, pois, as colônias tratadas com as concentrações consideradas eficientes no teste de inibição do crescimento micelial (CI 50 e CI 90) voltaram a se desenvolver em contato com um novo meio de cultura BDA, assim como os controles positivo e negativo, que também possuem modo de ação fungistática.

5.4. Atividade antifúngica do óleo essencial de *Lavandula hybrida* Reverchon e de seus componentes majoritários no controle da antracnose em frutos de pimentas do gênero *Capsicum*

Ao analisar os dados da média da severidade da antracnose nos frutos verdes da cultivar Ikeda dos dois experimentos realizados, verificou-se que os sintomas da doença apareceram no quarto dia de armazenamento dos frutos da cultivar Ikeda, para todos os tratamentos (Tabela 7). Ao primeiro, segundo, terceiro, quinto, sexto, sétimo,

oitavo, nono e décimo dia de armazenamento dos frutos, todos os tratamentos não diferiram estatisticamente do fungicida comercial, pelo teste de Kruskal Wallis. No quarto dia de armazenamento dos frutos, os T5 e T6 diferiram estatisticamente, comparados ao fungicida comercial.

Tabela 7. Severidade da antracnose pelas diferentes concentrações do óleo essencial de *Lavandula hybrida* e de seus compostos majoritários comparados aos tratamentos controle (Fungicida – C+, Tween 80 – C- e água destilada autoclavada) ao longo dos dias de avaliação de frutos verdes do gênero *Capsicum*, da cultivar Ikeda.

MÉDIA DOS DOIS EXPERIMENTOS REALIZADOS										
Dias após a aplicação dos tratamentos										
TRAT	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
T1	0a	0a	0,9a	1,6 ab	7,55a	17,5a	21,5a	25,25ab	32,75ab	35ab
T2	0a	0a	1,05a	4,83ab	7,35a	22,5a	27,5a	30ab	38ab	44a
T3	0a	0a	0,75a	5,85ab	8,5a	11,35ab	15,94a	21,81ab	29,81ab	36,19ab
T4	0a	0a	0a	0,19a	2,25a	3,35b	10,6a	13,78a	15,5a	17,5b
T5	0a	0a	3a	9,1b	12,25a	17,25ab	21a	37ab	38ab	41a
T6	0a	0a	3a	9,6b	13,35a	20,2ab	27,25a	38b	42b	42ab
T7	0a	0a	1,05a	2,25ab	3,75a	14,25ab	22,5a	27,5ab	32,5ab	35,5ab
T8	0a	0a	0a	0,5a	1,1a	7,75ab	13,75a	18,5ab	21,5ab	25ab
T9	0a	0a	0,35a	4,5ab	12,5a	16ab	20a	21ab	32,5ab	33,5ab

T1: CI 50 do óleo essencial de lavandin. T2: CI 90 do óleo essencial de lavandin. T3: CI 50 do composto majoritário acetato do linalol. T4: CI 90 do composto majoritário acetato do linalol. T5: CI 50 do composto majoritário linalol. T6: CI 90 do composto majoritário linalol. T7: Água destilada autoclavada. T8: Fungicida comercial. T9: Tween 80. *Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Kruskal Wallis a 0,05% de probabilidade.

Fonte: o autor, 2023.

Nesta pesquisa, o óleo essencial de lavandin apresentou baixa eficiência curativa *in vivo* no controle da antracnose em frutos de pimentas. Ao contrário desta pesquisa Sousa et al. (2012), comprovou a eficiência dos óleos essenciais de copaíba, andiroba, eucalipto, semente de uva, coco, neem, amêndoa, hortelã e pau rosa, no controle da antracnose em frutos de pimentas do gênero *Capsicum*.

Os resultados desta pesquisa diferem das pesquisas de Silva (2019), intitulada “Fomulação de fungicida agroecológico a partir de óleos essenciais e seus componentes para controle da antracnose do feijoeiro” ao comprovar a eficiência dos OE’s de cravo, alfavaca no controle da antracnose do feijoeiro.

Os resultados de Oliveira (2019) em sua pesquisa avaliando a fungitoxicidade de óleos essenciais sobre *Colletotrichum theobromicola*, causador da antracnose da cebolinha (*Allium fistulosum* L.), diferem desta pesquisa, ao comprovar a eficiência dos óleos essenciais de algumas espécies do gênero *Piper* e *Lippia* no controle da antracnose da cebolinha.

Sugere-se que a atividade não-linear do óleo essencial e de seus compostos majoritários observadas nesta pesquisa deve-se aos estádios fenológicos dos frutos. De acordo com as pesquisas de Araújo et al. (2022), avaliando uma nova abordagem para quantificar a severidade da antracnose em 11 acessos de *Capsicum* spp., constatou-se que os frutos que permaneceram verdes até o último dia de avaliação apresentaram menor severidade da doença, o que pode ter ocorrido nesta pesquisa. Ainda, segundo os mesmos autores a severidade da doença avaliada por meio de escala de notas é baseada na porcentagem de lesões no tecido dos frutos, gerando uma imprecisão ao utilizar frutos com variações de tamanhos. Com a inoculação com a mesma quantidade e concentração de inóculo, a porcentagem de tecido lesado é maior em frutos menores e menor em frutos maiores.

Em relação ao período de incubação da doença, ou seja, período que compreende da inoculação até o aparecimento dos sintomas da doença, foi possível observar variações para os diferentes tratamentos (Tabela 8). Os dados apresentados indicam que os tratamentos T4 e T8, apresentaram o maior período de incubação na cultivar Ikeda (4 dias). Os tratamentos (T1, T2, T3, T5, T6, T7 e T9) apresentaram o período de incubação de 3 dias. Todos os tratamentos não diferiram estatisticamente do fungicida comercial, pelo teste de Kruskal Wallis.

Tabela 8 - Período de incubação dos frutos da cultivar Ikeda inoculados com suspensão de *C. scovillei* e submetidos às concentrações de OE de *Lavandula hybrida* e seus compostos majoritários, bem como os controles positivo e negativo, além da água destilada autoclavada.

TRATAMENTO	PERÍODO DE INCUBAÇÃO
T1	3 a
T2	3 a
T3	3 a
T4	4 a
T5	3 a
T6	3 a
T7	3 a
T8	4 a
T9	3 a

T1: CI 50 do óleo essencial de lavandin. T2: CI 90 do óleo essencial de lavandin. T3: CI 50 do composto majoritário acetato do linalol. T4: CI 90 do composto majoritário acetato do linalol. T5: CI 50 do composto majoritário linalol. T6: CI 90 do composto majoritário linalol. T7: Água destilada autoclavada. T8:Fungicida comercial . T9: Tween 80. *Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Kruskal Wallis a 0,05% de probabilidade.

Fonte: o autor, 2023.

De acordo com Giacomini et al. (2021) em sua pesquisa, intitulada “Caracterização fenotípica, molecular e patogênica de *Colletotrichum scovillei* infectando espécies de *Capsicum* no Rio de Janeiro, Brasil”, o período de incubação de 51 acessos de *Capsicum* foi de 2 dias, isso mostra que o óleo essencial de lavandin e seus compostos majoritários utilizados nesta pesquisa retardaram os sintomas da doença na cultivar Ikeda, já que nesta pesquisa o menor período de incubação foi de 3 dias.

Os dados de severidade da doença antracnose em frutos verdes da cultivar Ikeda, obtidos nesta pesquisa foram expressos em percentual e apresentados através do cálculo da AACPD. A AACPD da antracnose determinada para os tratamentos (T1, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8 e T9), ao longo do tempo, é apresentada na Tabela 9.

Tabela 9: Área abaixo da curva de progresso da antracnose da pimenta (AACPD), em função das concentrações (CI 50 e CI 90) do óleo essencial de *Lavandula hybrida* e dos seus compostos majoritários, em frutos da cultivar Ikeda, comparados ao fungicida, ao emulsificante Tween 80 e água destilada autoclavada.

TRATAMENTO	AACPD
T1	303,30 a
T2	355,65 a
T3	300,53 a
T4	177,97 a
T5	356,96 a
T6	404,29 a
T7	316,31 a
T8	221,65 a
T9	325,30 a

T1: CI 50 do óleo essencial de lavandin. T2: CI 90 do óleo essencial de lavandin. T3: CI 50 do composto majoritário acetato do linalol. T4: CI 90 do composto majoritário acetato do linalol. T5: CI 50 do composto majoritário linalol. T6: CI 90 do composto majoritário linalol. T7: Água destilada autoclavada. T8: Fungicida comercial. T9: Tween 80. *Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Kruskal Wallis a 0,05% de probabilidade.

Fonte: o autor, 2023

Os dados apresentados na Tabela 9 demonstram que apenas o T4 (177,97) apresentou AACPD inferior ao fungicida comercial (T8) (221,65). Não é possível afirmar qual tratamento é mais eficiente na redução da AACPD, pois, todos os tratamentos não diferiram estatisticamente comparados ao fungicida comercial, pelo teste de Kruskal Wallis.

6. CONCLUSÃO

O óleo essencial de *Lavandula hybrida* e seus componentes majoritários mostraram-se eficientes em condições *in vitro* na inibição de *C. scovillei* nas concentrações 4 µL/mL, 1,45 µL/mL e 24 µL/mL do óleo essencial de lavandin e dos compostos majoritários linalol e acetato de linalol, respectivamente, levando a cerca de 88%, 86% e 93% de inibição do crescimento micelial, respectivamente, apresentando eficiência semelhante ao fungicida comercial. O linalol foi mais eficaz na inibição do crescimento micelial de *C. scovillei*, apresentando as menores CIs (CI 50 e CI 90)

Nas condições experimentais deste trabalho, houve baixa eficiência antifúngica

do óleo essencial de *Lavandula hybrida* no controle de *Colletotrichum scovillei*, *in vivo*. Dessa forma para uso deste produto como fungicida natural para o controle de lesões fúngicas pós-colheita em frutos do gênero *Capsicum*, mais estudos são necessários: protocolos adequados para armazenamento da emulsão, seus mecanismos de ação para garantir efetividade deste produto ecologicamente correto no controle antifúngico e utilização de maiores concentrações.

REFERÊNCIAS

ADAMS, R. P. *et al.* Identification of essential oil components by gas chromatography/mass spectrometry. **Carol Stream, IL: Allured Publishing Corporation**, 2007.

AGROFIT. **Sistema de agrotóxicos fitossanitários.** Disponível em: https://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons. Acesso: 01 Ago. 2022.

AGUILAR, RENÉ; RAFAEL-RUTTE, ROBERT; MARTINEZ-SANTOS, HENRY Y APAZA-APAZA, SILVERIO. Agente causal de la antracnosis en el cultivo de arveja (*Pisum sativum* L.) en el norte de Perú: Sintomatología, aislamiento e identificación, patogenicidad y control. **Scientia Agropecuaria [online]**. 2021, vol.12, n.1, pp.7-14. ISSN 2077-9917. <http://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2021.001>

ALVES, T. D. A. UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO. CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E ENGENHARIAS. PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM GENÉTICA E MELHORAMENTO. **Acessos de *Capsicum* spp. com potencial ornamental e resistência a múltiplas doenças.** [s.l: s.n.]. Disponível em: <https://sappg.ufes.br/tese_drupal//tese_15671_Disserta%E7%E3o%20final%20Thayllo n20220407-143845.pdf>. Acesso em: 12 abr. 2023.

ANDRIOLI, JOEL; SCARIOT, FERNANDO JOEL; DELAMARE, ANA PAULA LONGARAY; ECHEVERRIGARAY, SERGIO. Morphological characterization and molecular identification of *Colletotrichum* species associated to sweet persimmon anthracnose in Southern Brazil. **Ciência Rural**, [S.L.], v. 51, n. 9, p. 1-10, 2021.

APG III: An update of the angiosperm phylogeny group classification for the orders and families of flowering plants: APG III. *Botanical Journal of the Linnean Society*, v.161, p. 105- 121, 2009. **Botanical Journal of the Linnean Society**, Volume 161, Issue 2,

October 2009, Pages 105–121 <https://doi.org/10.1111/j.1095-8339.2009.00996.x>.

ARAÚJO, J. C. L. V. **Perfil de sensibilidade de microrganismos oportunistas de origem clínica e ambiental a óleos essenciais**. 2003. 77 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Produtos Naturais e Sintéticos Bioativos, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2003.

ARAÚJO, M. DO S. B. DE et al. A new approach to quantify anthracnose symptoms in inoculated *Capsicum* spp. fruits. **Tropical Plant Pathology**, v. 47, n. 3, p. 386–401, 7 fev. 2022.

ASCARI, D. **Controle alternativo de fungos fitopatogênicos com uso de óleos essenciais de plantas medicinais**. UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA, CAMPUS DE CURITIBANOS, CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS. CURSO DE GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA. [s.]: s.n.]. Disponível em:https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/242371/TCC_Dalila.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 31 dez. 2022.

BABA, V. Y., CONSTANTINO, L. V., IVAMOTO, S. T., MOREIRA, A. F. P., MADEIRA, T. B., NIXDORF, S. L., GONÇALVES, L. S. A. (2019). *Capsicum-Colletotrichum* interaction: Identification of resistance sources and quantification of secondary metabolites in unripe and ripe fruits in response to anthracnose infection. **Scientia Horticulturae**, 246: 469-477.

BABA, V. Y., POWELL, A. F., IVAMOTO-SUZUKI, S. T., PEREIRA, L. F., VANZELA, A. L., GIACOMIN, R. M., GONÇALVES, L. S. (2020). Capsidiol-related genes are highly expressed in response to *Colletotrichum scovillei* during *Capsicum annuum* fruit development stages. **Scientific reports**, 10(1): 1-14.

BAENAS, N.; BELOVIĆ, M.; ILIC, N.; MORENO, D. A.; GARCÍAVIGUERA, C. Industrial use of pepper (*Capsicum annuum* L.) derived products: Technological benefits and

biological advantages. **Food Chemistry**, v. 274, p. 872–885, 2019.

BALSELLS-LLAURADÓ, M. et al. Transcriptional profiling of the terpenoid biosynthesis pathway and in vitro tests reveal putative roles of linalool and farnesal in nectarine resistance against brown rot. **Plant Science**, v. 327, p. 111558, 1 fev. 2023.

BARBOZA, G. E.; DE BEM BIANCHETTI, L.; STEHMANN, J. R. *Capsicum carassense* (Solanaceae), a new species from the Brazilian Atlantic Forest. **PhytoKeys**, v. 140, p. 125–138, 2020. <https://doi.org/10.3897/phytokeys.140.47071>.

BENTO, C. S., DE SOUZA, A. G., SUDRÉ, C. P., PIMENTA, S., RODRIGUES, R. (2017). Multiple genetic resistances in *Capsicum* spp. **Genetics and molecular research**, 16(3).

BOCK, C. H.; CHIANG, K.-S.; DEL PONTE, E. M. Plant disease severity estimated visually: a century of research, best practices, and opportunities for improving methods and practices to maximize accuracy. **Tropical Plant Pathology**, 22 jun. 2021.

BRAVIM DOS SANTOS, A. T. B. et al. Chemical identification and insecticidal effect of *Tephrosia vogelii* essential oil against *Cerosipha forbesi* in strawberry crop. **Crop Protection**, v. 139, 26 p., 2020.

BRUM, R. B. C. S. et al. Atividade antifúngica de óleos essenciais sobre fungos fitopatogênicos. **Magistra**, [S.L.], v. 26, n. 3, p. 361-371, 2017.

BUSATO, N.V. et al. Estratégias de modelagem da extração de óleos essenciais por hidrodestilação e destilação a vapor. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.44, n.9, p.1574-1582, 2014.

CAMARA SJ. 2020. Extrato de pimenta caiena de engenharia como biostainalternativa

em microscopia. **International Journal of Scientific & Technology Research** 9: 3210-3212.

CARVALHO, J. A. M.; Pinheiro, P. F.; Marques, C. S.; Bastos, L. R.; Bernardes, P. C.; "Composição Química e Avaliação da Atividade Antimicrobiana do Óleo de Pimenta Rosa (*Schinus terebinthifolius*)", p. 59-63 . In: . São Paulo: **Blucher**, 2017.ISSN 2359-1757, DOI 10.5151/SEQUFES2016-014.

CARVALHO, SIC; BIANCHETTI, LB. 2008. Botânica e recursos genéticos. In: RIBEIRO, CSC; CARVALHO, SIC; HENZ, GP; REIFSCHNEIDER, FJB. Pimentas *Capsicum*. Brasília: **Embrapa Hortaliças**. p. 39-53.

CARVALHO, S. I. C.; BIANCHETTI, L. B.; RIBEIRO, C. S. C.; LOPES, C. A. Pimentas do gênero *Capsicum* no Brasil. Brasília, DF: **Embrapa Hortaliças**, 2006. 27p.

CASAGRANDE, K.; DE OLIVEIRA ALÓS, V.; ROSSI, R. C. DESENVOLVIMENTO DE UMA NUTS BAR FUNCIONAL: A pimenta como ingrediente auxiliar na redução da gordura corporal e na prevenção de doenças cardiovasculares. In: Brasil, B. C. C. (Org). Nutrição sob a ótica teórica e prática. Ponta Grossa - PR: **Atena**. 2021. Cap. 8, p. 80-88. Disponível em: . Acesso em: 02 ago. 2022.

CHIANG KS, LIU SH, BOCK CH, GOTTWALD TR (2014) Quais características de intervalo fazem uma boa escala de categoria de avaliação de doenças? **Fitopatologia** 104:575–585.

CLEMENTE, A. D. **Composição química e atividade biológica do óleo essencial da pimenta rosa (*Schinus terebinthifolius* Raddi)**. 2006. 63p. Dissertação (Magister Scientiae em Agroquímica), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, jan. 2006.

COSTA, G, N. et al. Selection of pepper accessions with ornamental potential. **Revista Caatinga**, v. 32, n. 2, p. 566-574, 2019.

COSTA, GÉRSON DO NASCIMENTO et al. SELECTION OF PEPPERACCESSIONS WITH ORNAMENTAL POTENTIAL¹ 1 Extracted from the master dissertation of the first author. **Revista Caatinga** [online]. 2019, v. 32, n. 2.

CUNHA, A. P., NOGUEIRA, M. T., & ROQUE, O. R. (2012). Plantas aromáticas e óleos essenciais: composição e aplicações. Fundação Calouste Gulbenkian. Cunha, A. P., & Roque, O. R. (2013). **Aromaterapia - Fundamentos e Utilização, Lisboa, Fundação Calouste Gulbenkian.**

DE FIGUEIREDO, A. R. DE F.; RODRIGUES DA SILVA, L.; APARECIDA SALGADO DE MORAIS, L. ATIVIDADE ANTIFÚNGICA DE ÓLEOS ESSENCIAIS FRENTE A *Macrophomina phaseolina*. **Nativa**, v. 11, n. 1, p. 75–81, 16 mar. 2023.

DEEPA, N. et al. Linalool reduces the virulence of *Pseudomonas syringae* pv. tomato DC 3000 by modulating the Psyl/PsyR quorum-sensing system. **Microbial Pathogenesis**, v. 173, p. 105884, 1 dez. 2022.

DOURADO, M. T. **Óleos essenciais e oleoresina da pimenta rosa (*Schinus terebinthifolius* Raddi): propriedades químicas e biológicas.** Tese - UFPel, p. 1–121, 2012.

ESPINOSA, M. V; FAYOS, O; PEREDO, A. V. G; BELLIDO, E. E; PALMAS, M; CLAVER; BARBERO, G. F. Changes in capsiate content in four chili pepper genotypes (*capsicum spp.*) at diferente ripening stages. **Agronomy**, Spain, v. 10, n. 4, p. 1337, jul. /set. 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy10091337>.

FAO – **FAOSTAT**, 2020. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/>> Acesso em: 01 de ago. 2022.

FAOSTAT - **Food and agriculture organization of the united nations**. 2021. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC/visualize>. Acesso em 29 de agosto de 2022.

FAO – **FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED STATES**. Faostat. 2021. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#home>. Acesso em: 08 ago. 2022.

FORTUNATO, F. L. G.; RÊGO, E.R.; CARVALHO, M. G.; SANTOS, C. A. P.; RÊGO, M. M. Genetic diversity in ornamental pepper plants. **COMUNICATA SCIENTIAE**, v. 10, p. 364-375, 2019.

FUNGICIDE RESISTANCE ACTION COMMITTEE. PATHOGEN. (FRAC), Risk List. Disponível em: (<https://www.frac.info/docs/default-source/publications/pathogen-risk/frac-pathogen-list2019.pdf>). Acesso em 30 agosto. 2022.

GAN, P., IKEDA, K., IRIEDA, H., NARUSAKA, M., O'CONNELL, R.J., NARUSAKA, Y., TAKANO, Y., KUBO, Y., SHIRASU, K. (2012). Comparative genomic and transcriptomic analyses reveal the hemibiotrophic stage shift of *Colletotrichum* fungi. **New Phytologist**. 197:1236–1249.

GARCIA, I. (2011). **Estudio de mercado de variedades sub-utilizadas de ajíes nativos (Capsicum spp) en el Perú**. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. Programa de Marketing.

GARRUTI, DEBORAH DOS SANTOS et al. Compostos voláteis que contribuem para o odor de uma nova cultivar de pimenta tabasco brasileira analisados por 97 HS-SPME-GC-MS e HS-SPME-GC-O / FID. **Ciência e tecnologia de alimentos** [online]. 2021, v. 41, n. 3.

GARZOLI, S.; TURCHETTI, G.; GIACOMELLO, P.; TIEZZI, A.; LAGHEZZA, M. V.;

OVIDI, E. Liquid and vapour phase of lavandin (*Lavandula x intermedia*) essential oil: Chemical composition and antimicrobial activity. **Molecules**, v. 24, n. 15, p. 2701, 2019.

GIACOMIN, R. M., DE FÁTIMA RUAS, C., BABA, V. Y., DE GODOY, S. M., SUDRÉ, C. P., DOS SANTOS BENTO, C., GONÇALVES, L. S. (2021). Phenotypic, molecular and pathogenic characterization of *Colletotrichum scovillei* infecting *Capsicum* species in Rio de Janeiro, Brazil. **PeerJ**, 9: e10782.

GIACOMIN, R. M. et al. Phenotypic, molecular and pathogenic characterization of *Colletotrichum scovillei* infecting *Capsicum* species in Rio de Janeiro, Brazil. **PeerJ**, v. 9, p. e10782, 27 abr. 2021.

GOIS, F. D. et al. Effect of Brazilian red pepper (*Schinus terebinthifolius* Raddi) essential oil on performance, diarrhea and gut health of weanling pigs. **Livestock Science**, v. 183, p. 24–27, 2016.

GOMES, A. M. D. S et al., O uso indiscriminado de agrotóxicos e suas consequências na saúde humana e no ambiente: revisão bibliográfica | Diversitas Journal. **www.diversitasjournal.com.br**, 19 ago. 2021.

HARP, T. L., PERNEZNY, K., IVEY, M. L. L., MILLER, S. A., KUHN, P. J., DATNOFF, L. (2008). The etiology of recent pepper anthracnose outbreaks in Florida. **Crop Protection**. 27: 1380-1384.

HARP, T., KUHN, P., ROBERTS, P. D., PERNEZNY, K. L. (2014). Management and crossinfectivity potential of *Colletotrichum acutatum* causing anthracnose on bell pepper in Florida. **Phytoparasitica**. 42: 31-39.

HEINZMANN, B. M., SPITZER, V., & SIMÕES, C. M. O. (2016). Óleos voláteis. In: Simões, C. M. O., Schenkel, E. P., de Mello, J. C. P., Mentz, L. A., & Petrovick, P. R. Farmacognosia: do produto natural ao medicamento. **Artmed Editora**.

JAYAWARDENA, R. S., Hyde, K. D., Damm, U., Cai, L., Liu, M., Li, X. H., Yan, J. Y. (2016). Notes on currently accepted species of *Colletotrichum*. ***Mycosphere***. 7: 1192-1260.

JIANU, C. et al. Chemical composition and antimicrobial activity of essential oils of lavender (*Lavandula angustifolia*) and lavandin (*Lavandula x intermedia*) grown in Western Romania. *International Journal of Agriculture & Biology*, v.15, n.4, p. 772-776, 2013.

JÚNIOR, I. T. S.; SALES, N. L. P.; MARTINS, E. R. Efeito fungitóxico de óleos essenciais sobre *Colletotrichum gloeosporioides*, isolado do maracujazeiro amarelo. ***Biotemas***, v. 22, n. 3, p. 77-83, 2009.

KHODAEI et al., 2021. "Karboune, Compositional diversity and antioxidant properties of essential oils: predictive models". ***LWT Food Sci. Technol.*** 138:110684.

KIM, S., Kim, K. T., Kim, D. H., Yang, E. Y., Cho, M. C., Jamal, A., Hwang, J. K. (2010) Identification of quantitative trait loci associated with anthracnose resistance in chili pepper (*Capsicum* spp.). ***Korean Journal of Horticultural Science and Technology***. 28: 1014-1024.

LAFHAL, S. et al. Chemometric analysis of French lavender and lavandin essential oils by near infrared spectroscopy. ***Industrial Crops and Products***, v. 80, p. 156–164, fev. 2016.

LEE, J., HONG, J. H., DO, J. W., YOON, J. B. (2010). Identification of QTLs for resistance to anthracnose to two *Colletotrichum* species in pepper. ***Journal of Crop Science and Biotechnology***, 13: 227-233.

LEONARDI, F. L.; BERNARDO, M. A. T. Óleos essenciais como alternativa sustentável à produção agrícola: uma revisão bibliográfica. **Cadernos de Agroecologia**, v. 15, n. 4, 20 nov. 2020.

LI, Y.-N. et al. Linalool, the main volatile constituent from *Zanthoxylum schinifolium* pericarp, prevents growth of *Aspergillus flavus* in post-harvest grains. **Food Control**, v. 137, p. 108967, jul. 2022.

LI, X. et al. Revealing the Mechanisms for Linalool Antifungal Activity against *Fusarium oxysporum* and Its Efficient Control of Fusarium Wilt in Tomato Plants. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 24, n. 1, p. 458, 1 jan. 2023.

LIMA, S. K.; GALIZA, M.; VALADARES, A.; ALVES, F. Produção e consumo de produtos orgânicos no mundo e no Brasil. Rio de Janeiro: **Ipea**, 2020. 52 p.

LIMA, M. F.; MICHEREFF FILHO, M; RIBEIRO, C. S. C.; CARVALHO, S. T. C. Principais viroses que afetam a pimenteira (*Capsicum* spp.) no Brasil. Brasília, DF: Embrapa Hortaliças, 2019. 42 p. (**Embrapa Hortaliças**. Circular técnica, 169). Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1112701> Acesso em: 20 ago. 2022.

LOPEZ, ANA MARIA QUEIJEIRO; LUCAS, JOHN ALEXANDER. Cytological aspects of compatible and incompatible interactions between cashew (*Anacardium occidentale* L.) seedlings and isolates of *Colletotrichum gloeosporioides* (Penz.) complex. **Revista Brasileira de Fruticultura**, [S.L.], v. 43, n. 2, p. 1- 18, fev. 2021. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/0100-29452021701>.

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

LU, M., CHEN, C., LAN, Y., XIAO, J., LI, R., HUANG, J., HO, C. T. (2020). Capsaicin—the major bioactive ingredient of chili peppers: Bio-efficacy and delivery systems. **Food & function**, 11(4): 2848-2860.

MAHASUK P, Khumpeng N, Wasee S, Taylor PWJ, Mongkolporn O (2009a) Herança da resistência à antracnose (*Colletotrichum capsici*) em estágios de plântula e frutificação em pimenta malagueta (*Capsicum* spp.). **Melhoramento de Plantas** 128:701-706.

MAIA, T. F.; DONATO, A.; FRAGA, M. E. Atividade antifúngica de óleos essenciais de plantas. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campinas, v. 1, n. 17, p. 105-116, 2015.

MANCIANTI, F., EBANI, V.V., 2020. “Biological activity of essential oils”. **Molecules** 25(3):678.

MARACAHIPES, Á. C., TAVEIRA, G. B., MELLO, E. O., CARVALHO, A. O., RODRIGUES, R., PERALES, J., GOMES, V. M. (2019). Biochemical analysis of antimicrobial peptides in two different *Capsicum* genotypes after fruit infection by *Colletotrichum gloeosporioides*. **Bioscience reports**. 39(4).

MARACAHIPES, Á. C., TAVEIRA, G. B., SOUSA-MACHADO, L. Y., MACHADO, O. L. T., RODRIGUES, R., CARVALHO, A. O., GOMES, V. M. (2019). Characterization and antifungal activity of a plant peptide expressed in the interaction between *Capsicum annuum* fruits and the anthracnose fungus. **Bioscience reports**. 39(12).

MARTINS, M. R, ARANTES, S., CANDEIAS, F., TINOCO, M. T., CRUZ-MORAES, J. Antioxidant, antimicrobial and toxicological properties of *Schinus molle* L. essential oils. **Journal of Ethnopharmacology**, v.151, p. 485–492, 2014.

MCCLEMENTS, D. Critical Review of Techniques and Methodologies for Characterization of Emulsion Stability. **Critical Reviews in Food Science and**

Nutrition, v. 47, p. 611–649, 2007.

MEIRELES, M.A.A. **Extracting bioactive compounds for food products: theory and applications**. Boca Ranton: CRC, 2009. 464p.

MONGKOLPORN, O., TAYLOR, P. W. J. (2018). Chili anthracnose: *Colletotrichum* taxonomy and pathogenicity. ***Plant Pathology***, 67(6): 1255-1263.

MONTRI, P.; TAYLOR, P.W.J.; MONGKOLPORN, O. (2009) Pathotypes of *Colletotrichum capsici*, the causal agent of chili anthracnose, in Thailand. ***Plant Disease*** **93**: p. 17–20.

MOREIRA, A.F.P., Ruas, P.M., Fátima, R.C., Baba, V.Y., Giordani, W., Arruda, I.M., Rodrigues, R., Gonçalves, L.S.A. (2018) Genetic diversity, population structure and genetic parameters of fruit traits in *Capsicum chinense*. ***Sci Hortic***. 236:1–9.

MOUMNI, M et al. Antifungal activity and chemical composition of seven essential oils to control the main seedborne fungi of cucurbits. ***Antibiotics***, v.10, n.104, 2021.

NASCIMENTO, NAYSA FLÁVIA F do et al. Evaluation of production and quality traits in interspecific hybrids of ornamental pepper. ***Hortic. Bras.***, Vitoria da Conquista , v. 37, n. 3, p. 315-323, July 2019.

NASEEF, H. et al. Phytochemical characterization and assessments of antimicrobial, cytotoxic and anti-inflammatory properties of *Lavandula coronopifolia* Poir. volatile oil from Palestine. ***Arabian Journal of Chemistry***, v. 15, n. 9, p. 104069, 1 set. 2022.

NAVES, E. R. et al. Capsaicinoids: pungency beyond *Capsicum*. ***Trends in Plant Science***, v. 24, n. 2, p. 109-120, 2019.

NEITZKE, RAQUEL S et al. Pimentas ornamentais: aceitação e preferências do público consumidor. **Horticultura Brasileira** [online]. 2016, v. 34, n. 1.

NIETO-ANGEL, Daniel et al. PRIMER REPORTE DE *Colletotrichum coccodes* EN FRUTOS DE TOMATE (*Solanum lycopersicum*) EN MÉXICO. **Rev. fitotec. mex**, Chapingo, v. 42, n. 3, p. 195-200, sept. 2019.

NOBRE. J, O, S. **Métodos alternativos para o controle *in vitro* de *Colletotrichum gloeosporioides* agente causal da antracnose em pimenta Dedo-de-moça.** INSTITUTO FEDERAL GOIANO -CAMPUS CERES BACHARELADO EM AGRONOMIA. CERES -GO 2021. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<https://repositorio.ifgoiano.edu.br/bitstream/prefix/1601/1/TC%20-%20JAKELINE%20OLIVEIRA%20SHNEIDER%20NOBRE.pdf>>. Acesso em: 15 maio. 2023.

O'CONNELL, R. J., THON, M. R., HACQUARD, S., AMYOTTE, S. G., KLEEMANN, J., TORRES, M. F., DAMM, U., BUIATE, E. A., EPSTEIN, L., ALKAN, N. (2012). Lifestyle transitions in plant pathogenic *Colletotrichum* fungi deciphered by genome and transcriptome analyses. **Nature Genetics**. 44: 1060–1065.

OLIVEIRA, S. D. A. **INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS DA AMAZÔNIA - INPA PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA NO TRÓPICO ÚMIDO - PPG - ATU/INPA.** [s.l: s.n.]. Disponível em: <https://repositorio.inpa.gov.br/bitstream/1/33600/1/Samara%20da%20Silva%20Oliveira_Vers%C3%A3o%20final%20.pdf>.

OLIVEIRA, E. S.; VIANA, F. M. P.; MARTINS, M. V. V. Alternativas a fungicidas sintéticos no controle da antracnose da banana. **Summa Phytopathologica**, v. 42, n. 4, p. 340-350, 2016

OLIVEIRA, D. S.; SILVA, L. P.; MAROSTEGA, T. N.; JESUS, J. G.; PREISIGKE, S. C.;

GILIO, T. A. S.; ARAUJO, L.K.; NEVES, L. G. Taxa de pegamento de frutos em cruzamentos intraespecíficos de *capsicum frutescens*. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 7, n. 2, p. 15727-15735, fev. 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.34117/bjdv7n2-273>

OLIVEIRA, C.V.S.; MATOS, K.S.; ALBUQUERQUE, D.M.C.; HANADA, R.E.; SILVA, G.F. Identification of *Colletotrichum* isolates from *Capsicum chinense* in Amazon. **Genetics and Molecular Research.**, v.16, n.2, p. 1-10, 2017.

OLIVEIRA JUNIOR, L. F. G. *et al.* Efeito fungitóxico do óleo essencial de aroeira da praia (*Schinus terebinthifolius* RADDI) sobre *Colletotrichum gloeosporioides*. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 15, n. 1, p. 150-157, 2013.

OOTANI, M. A. *et al.* Utilização de óleos essenciais na agricultura. **Journal of Biotechnology and Biodiversity**, Gurupi, v. 4, n. 2, p.162-175, 2013.

PAKDEEVARAPORN, P., Wasee, S., Taylor, P. W. J., Mongkolporn, O. (2005). Inheritance of Resistance to Anthracnose Caused by *Colletotrichum capsici* in *Capsicum*. **Plant Breeding**; 124(2): 206-208.

PESSOA, ANGELA MARIA DOS SANTOS; RÊGO, ELIZANILDA RAMALHO DO; SILVA, ANA PAULA GOMES DA; MESQUITA, JÚLIO CARLOS POLIMENI DE; SILVA, ANDERSON RODRIGO DA; RÊGO, MAÍLSON MONTEIRO DO. Genetic diversity in F3 population of ornamental peppers (*Capsicum annuum* L.). **REVISTA CERES**, v. 66, p. 442-450, 2019a.

PIGNATI, W. A. *et al.* Distribuição espacial do uso de agrotóxicos no Brasil: uma ferramenta para a Vigilância em Saúde. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 22, n. 10, p. 3281-3293, 2017.

PIMENTEL, R. B. Q.; Tese: **Produção, composição química e atividade antifúngica**

de óleos essenciais de espécies arbóreas da família Lauraceae. INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS DA AMAZÔNIA - INPA PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DE FLORESTAS TROPICAIS – CFT. 2014.

PIMENTEL, R. B. D.Q. **Produção, composição química e atividade antifúngica de óleos essenciais de espécies arbóreas da família Lauraceae.** INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS DA AMAZÔNIA -INPA PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DE FLORESTAS TROPICAIS -CFT. [s.l: s.n.]. Disponível em: <https://repositorio.inpa.gov.br/bitstream/1/4984/1/Renah_Pimentel.pdf>.

PRUSKY, D., ALKAN, N., MENGISTE, T., FLUHR, R. (2013). Quiescent and necrotrophic lifestyle choice during postharvest disease development. ***Annual Review of Phytopathology***. 51: 155–176.

R Core Team (2019) R: A language and environment for statistical computing. **R Foundation for Statistical Computing**, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

RANI, L.; THAPA, K.; KANOJIA, N.; SHARMA, N.; SINGH, S.; GREWAL, A. S.; SRIVASTAV, A. L.; KAUSHAL, J. An extensive review on the consequences of chemical pesticides on human health and environment. **Journal of cleaner production**, v. 283, p. 1-33, 2021.

RASOOLI, I. Food preservation—a biopreservative approach. **Food**, v. 1, n. 2, p. 111-136, 2007.

RAUT, J.S.; KARUPPAYIL, S.M. A status review on the medicinal properties of essential oils. **Industrial Crops and Products**, v. 62, p. 250-264, 2014.

RAVEAU, R.; FONTAINE, J.; SAHRAOUI, A. L-H. Essential oils as potential alternative biocontrol products against plant pathogens and weeds: **A Review. Foods**, v. 9, n. 365, p. 1-31, 2020.

REIFSCHNEIDER, F. J. B. (Org.) Capsicum: pimentas e pimentões no Brasil. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia. **Embrapa Hortaliças**, 2000. 113p.

REIS, D. R; BARBOSA, C. M. D.; SILVA, A. G. P.; SOARES, E. J. O. Caracterização biométrica e físico-química de pimenta variedade biquinho. **ENCICLOPÉDIA BIOSFERA**, Goiânia, v. 11, n 21, p. 455, abr./jul. 2015. Disponível em: <https://conhecer.org.br/ojs/index.php/biosfera/article/view/1765>. Acesso em: 12 ago. 2022.

RIBEIRO, CSC; LOPES, AC; CARVALHO, SI; HENZ, GP; REIFSCHNEIDER, FJB. 2008. Pimentas *Capsicum*. Brasília: **Embrapa Hortaliças**. p. 39-54.

SAFITRI et al., 2020. "Refining citronella oil (*Cymbopogon nardus* L) by utilizing sunlight using solar cells (photovoltaics)". **IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.** 854:12051.

SAHITYA, U. L., Deepthi, S., Kasim, P., Suneetha, P., Krishna, M. S. R. (2014) Anthracnose, a prevalent disease in *Capsicum*. **Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences**. 5(3): 1583-1604.

SANTOS, F. D. **Potencial de inibição de óleos essenciais alecrim (*Rosmarinus officinalis*) e citronela (*Cymbopogon winterianus*) para controle *in vitro* do fungo *Colletotrichum gloeosporioides***. 2017. 53 f. Trabalho de Conclusão de Curso - Curso de Farmácia, Faculdade Maria Milza, Governador Mangabeira, 2017.

SANTOS, LARYSSA ANDRADE DA LUZ; PINHEIRO, LUCIANO RICARDO BRAGA; ROCHA, LEANDRO DE SOUZA; BRAGANÇA, CARLOS AUGUSTO DÓREA; SILVA,

HARLLEN SANDRO ALVES. Biocontrole da antracnose em frutos de mamoeiro por bactérias epifíticas formadoras de biofilme. **Summa Phytopathologica**, [S.L.], v. 47, n. 1, p. 45-53, mar. 2021. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/0100-5405/216998>.

SAXENA, A. , RAGHUWANSHI, R. , & SINGH, HB (2014). Variabilidade molecular, fenotípica e patogênica em isolados de *Colletotrichum* da região subtropical do nordeste da Índia, causando podridão de frutos de pimenta . **Journal of Applied Microbiology** , 117 , 1422-1434 .

SCARIOT, E. J. **Identificação de espécies de *Colletotrichum* associadas com videiras e atividade antifúngica de monoterpenos sobre *Colletotrichum* spp. e *Saccharomyces cerevisiae***. UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE INSTITUTO DE BIOTECNOLOGIA PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOTECNOLOGIA. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<https://repositorio.ucs.br/xmlui/bitstream/handle/11338/9726/Tese%20Fernando%20Joel%20Scariot.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 13 abr. 2023.

SCHWENGBER, R. P. et al. Óleo essencial das folhas e frutos de *Schinus terebinthifolius* Raddi no controle de *Pratylenchus zeae*. **Arq. Ciênc. Vet. Zool.** UNIPAR, Umuarama, v. 20, n. 3, p. 153-159, jul./set. 2017.

SHARMA, C., Chowdhary, A. (2017) Moleculares bases of antifungal resistance in filamentous fungi. **Elsevier B.V.**, 607-616p.

SILVA, A. A. **Formulação de fungicida agroecológico a partir de óleos essenciais e seus componentes para controle da antracnose do feijoeiro**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<https://www.locus.ufv.br/bitstream/123456789/27706/1/texto%20completo.pdf>>. Acesso em: 26 maio. 2023.

SILVA, A. C. D.; SALES, N. D. L. P.; ARAÚJO, A. V. D.; CALDEIRA JÚNIOR, C. F. In

vitro effect of plant compounds on the fungus *Colletotrichum gloeosporioides* Penz: isolated from passion fruit. **Ciência e agrotecnologia**, Lavras, v. 33, p.1853-1860, 2009.

SILVA, J. M.; SANTOS, J. O; MENDES, I. S; OLIVEIRA, R. V; LIMA, A. T. M.; MOURA, M. C. C. L; MOULIN, M. M. Caracterização morfológica de acessos de pimentas (*Capsicum spp.*) conservados no estado do Maranhão. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v.7, n.3, p. 21358-21373, mar. 2021. DOI: <https://doi.org/10.34117/bjdv7n3-039>.

SILVA, S. A., RODRIGUES, R., GONÇALVES, L. S., SUDRÉ, C. P., BENTO, C. S., CARMO, M. G., MEDEIROS, A. M. (2014). Resistance in *Capsicum* spp. to anthracnose affected by different stages of fruit development during pre-and post-harvest. **Tropical Plant Pathology**, 39: 335-341.

SILVA, J. R., CHAVES, T. P., DA SILVA, A. R., BARBOSA, L. D. F., COSTA, J. F., RAMOS-SOBRINHO, R., ASSUNÇÃO, I. P. (2017). Molecular and morpho-cultural characterization of *Colletotrichum* spp. associated with anthracnose on *Capsicum* spp. in northeastern Brazil. **Tropical Plant Pathology**, 42(4): 315-319.

SILVEIRA, S.M.; CUNHA Jr., A.; SCHEUEMANN, G.N.; SECCHI, F.L.; VERRUCK S.; KROHN M.; VIEIRA, C.R.W. Composição química e atividade antibacteriana dos óleos essenciais de *Cymbopogon winterianus* (citronela), *Eucalyptus paniculata* (eucalipto) e *Lavandula angustifolia* (lavanda). **Revista do Instituto Adolfo Lutz**. v.71, n. 3, p.471-480, 2012. Disponível em: . Acesso em: 07 ago de 2022.

SOUTO DE SOUSA, R.; RIBEIRO DE SOUZA SERRA, I.; ANCHIETA DE MELO, T. **Summa Phytopathol**, n. 2, p. 42–47, 2012.

SOUSA, R. M. S. DE; SERRA, I. M. R. DE S.; MELO, T. A. DE. Efeito de óleos essenciais como alternativa no controle de *Colletotrichum gloeosporioides*, em pimenta. **Summa Phytopathologica**, v. 38, n. 1, p. 42–47, mar. 2012.

SOUZA, LEONOR CRISTINA SILVA; HANADA, ROGERIO EIJI; ASSIS, LUIZ ALBERTO GUIMARÃES; CAMELO-GARCÍA, VIVIANA M.; REZENDE, JORGE ALBERTO MARQUES; YUKI, VALDIR A.; KITAJIMA, ELLIOT W. Occurrence of *Pepper yellow mosaic virus* and cucumber mosaic virus on *Capsicum chinense* in the state of Amazonas, Brazil. **Acta Amazonica**, [S.L.], v. 50, n. 1, p. 5-7, mar. 2020. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4392201903510>.

ULIANA, M. P. et al. Composition and biological activity of Brazilian rose pepper (*Schinus terebinthifolius* Raddi) leaves. **Industrial Crops and Products**, v. 83, p. 235–240, 2016.

VON MÜHLEN, C. Índices de retenção em cromatografia gasosa bidimensional abrangente. **Sci Chromatogr**, v. 1, n. 3, p. 21-8, 2009.