

**INSTITUTO FEDERAL GOIANO DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E
TECNOLOGIA, PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E
INOVAÇÃO, CENTRO DE EXCELÊNCIA EM BIOINSUMOS
COORDENAÇÃO DE CAPACITAÇÃO EM BIOINSUMOS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO *LATO SENSU* EM BIOINSUMOS-
CAMPUS IPORÁ**

SÂMELLA FERREIRA MOURA RIBEIRO

**Óleo essencial de *Piper aduncum* no controle *in vitro* de fungos
fitopatogênicos *Fusarium oxysporum* e *Macrophomina phaseolina***

IPORÁ, GO

2025

SÂMELLA FERREIRA MOURA RIBEIRO

**Óleo essencial de *Piper aduncum* no controle *in vitro* de fungos
fitopatogênicos *Fusarium oxysporum* e *Macrophomina phaseolina***

Monografia apresentada à Banca Examinadora do Curso de Especialização em Bioinsumos do Instituto Federal Goiano, como exigência parcial para a obtenção do título de especialista.

Orientadora: Profa. Dra. Marcela Christofoli.
Coorientador: Prof. Dr. Estenio Moreira Alves.

IPORÁ, GO

2025

**Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do
Programa de Geração Automática do Sistema Integrado de Bibliotecas do IF Goiano - SIBi**

R484	<p>Ferreira Moura Ribeiro, Sâmella ÓLEO ESSENCIAL DE PIPER ADUNCUM NO CONTROLE IN VITRO DE FUNGOS FITOPATOGÊNICOS FUSARIUM OXYSPORUM E MACROPHOMINA PHASEOLINA / Sâmella Ferreira Moura Ribeiro. Iporá 2025.</p> <p>31f. il.</p> <p>Orientadora: Profª. Dra. Marcela Christofoli. Coorientador: Prof. Dr. Estenio Moreira Alves. Monografia (Especialista) - Instituto Federal Goiano, curso de 0530426 - Especialização em Bioinsumos - Iporá (Campus)</p> <p>1. Antifúngico. 2. Controle biológico. 3. Óleo essencial. 4. Piper aduncum. I. Título.</p>
------	---

ERRATA

Trabalho intitulado:

Óleo essencial de *Piper aduncum* no controle *in vitro* de fungos fitopatogênicos *Fusarium oxysporum* e *Macrophomina phaseolina*

Autora: Samella Ferreira Moura Ribeiro

Curso: Pós-graduação *lato sensu* em Bioinsumos

Instituição: Instituto Federal Goiano

Ano: 2025

Página	Item	Onde se lê	Leia-se
Capa	Cabeçalho	Cabeçalho contendo 4 linhas	Cabeçalho contendo 6 linhas, conforme modelo institucional
4	ATA	Print de tela da ATA	ATA oficial da defesa, inserida na íntegra
5	TCA	Ausência do Termo de Ciência e Autorização	Inserção do Termo de Ciência e Autorização (TCA) após a ATA
Final	Anexos	Declaração de correção, termo e print de tela da ATA	Documentos removidos conforme normas do repositório
Corpo do texto	Declaração	Declaração de conclusão inserida no corpo do trabalho	Declaração de conclusão removida do corpo do trabalho

Regulamento de Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) – IF Goiano - Campus Iporá**ANEXO V - ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CURSO**

Aos 12 dias do mês de setembro de dois mil e vinte e cinco, às 14 horas, reuniu-se a Banca Examinadora composta por: Prof. Marcela Christofoli (orientadora), Técnico Administrativo Estênio Moreira Alves (membro interno) e Profª. Erika Crispim Resende (membro interno), para examinar o Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) intitulado "ÓLEOS ESSENCIAIS NO CONTROLE DE FUNGOS FITOPATOGÊNICOS" de **Samella Ferreira Moura Ribeiro**, estudante do curso de PÓS-GRADUAÇÃO LATO SENSU EM BIOINSUMOS do IF Goiano – Campus Iporá, sob Matrícula nº 2024105304260005. A palavra foi concedida ao(à) estudante para a apresentação oral do TC, em seguida houve arguição do candidato pelos membros da Banca Examinadora. Após tal etapa, a Banca Examinadora decidiu pela **APROVAÇÃO** do(a) estudante. Ao final da sessão pública de defesa foi lavrada a presente ata, que, após apresentação da versão corrigida do TC, foi assinada pelos membros da Banca Examinadora.

Iporá, 12 de setembro de 2025.

(Assinado eletronicamente)

Marcela Christofoli

Orientador(a)

(Assinado eletronicamente)

Estênio Moreira Alves

Membro da Banca Examinadora

(Assinado eletronicamente)

Erika Crispim Resende

Membro da Banca Examinadora

Documento assinado eletronicamente por:

- **Marcela Christofoli**, 905.914.451-15 - **Usuário Externo**, em 08/10/2025 13:57:47.
- **Estênio Moreira Alves**, **ENGENHEIRO AGRONOMO**, em 13/10/2025 18:34:30.
- **Erika Crispim Resende**, **PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLÓGICO**, em 21/10/2025 09:19:10.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 16/09/2025. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 744950
Código de Autenticação: be85925078



TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610, de 19 de fevereiro de 1998, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano a disponibilizar gratuitamente o documento em formato digital no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

IDENTIFICAÇÃO DA PRODUÇÃO TÉCNICO-CIENTÍFICA

- | | |
|---|---|
| <input type="checkbox"/> Tese (doutorado)
<input type="checkbox"/> Dissertação (mestrado)
<input checked="" type="checkbox"/> Monografia (especialização)
<input type="checkbox"/> TCC (graduação) | <input type="checkbox"/> Artigo científico
<input type="checkbox"/> Capítulo de livro
<input type="checkbox"/> Livro
<input type="checkbox"/> Trabalho apresentado em evento |
|---|---|

☐ Produto técnico e educacional - Tipo:

 Nome completo do autor:
Sâmella Ferreira Moura Ribeiro

 Matrícula:
2024105304260005

Título do trabalho:

Óleo essencial de Piper aduncum no controle in vitro de fungos fitopatogênicos Fusarium oxysporum e Macrophomina phaseolina

RESTRIÇÕES DE ACESSO AO DOCUMENTO

 Documento confidencial: ☒ Não ☐ Sim, justifique:

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: 01 / 10 / 2025

 O documento está sujeito a registro de patente? ☐ Sim ☒ Não

 O documento pode vir a ser publicado como livro? ☐ Sim ☒ Não

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O(a) referido(a) autor(a) declara:

- Que o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- Que obteve autorização de quaisquer materiais incluídos no documento do qual não detém os direitos de autoria, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- Que cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Documento assinado digitalmente

 SAMELLA FERREIRA MOURA RIBEIRO
 Data: 01/10/2025 12:57:08-0300
 Verifique em <https://validar.ifg.gov.br>

Iporá

Local

01 / 10 / 2025

Data

Assinatura do autor e/ou detentor dos direitos autorais

Ciente e de acordo:

Assinatura do(a) orientador(a)

Documento assinado digitalmente

 MARCELA CRISTOFOLI
 Data: 01/10/2025 21:07:39-0300
 Verifique em <https://validar.ifg.gov.br>

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Instituto Federal Goiano pela estrutura oferecida por meio do Programa de Pós-Graduação Lato Sensu em Bioinsumos, e pelo suporte institucional essencial para a realização deste trabalho. Ao Laboratório de Bioprospecção e Bioinsumos (LLBio), da Universidade Estadual de Goiás-UnU-Iporá, expresso minha gratidão pelo espaço cedido para a condução dos experimentos e pelo apoio técnico e logístico durante todas as etapas da pesquisa. Agradeço, em especial, a toda a equipe do laboratório, cuja colaboração e disponibilidade foram fundamentais para o desenvolvimento deste estudo. Aos meus orientadores, Dra. Marcela Christofoli e Dr. Estênio Moreira, agradeço pela orientação científica, pela confiança no trabalho proposto e pelo acompanhamento dedicado durante todo o processo. Gostaria ainda de expressar minha sincera gratidão às instituições que contribuíram, direta ou indiretamente para a realização deste trabalho, FAPEG, FUNAPE e CEBIO.



BIOGRAFIA DA ALUNA

Sâmella Ferreira Moura Ribeiro, natural de Iporá-Goiás, casada com Danilo Santos Ribeiro, filha de Sonia da Silva Ferreira Moura e Silvio Alves de Moura. É graduada em Licenciatura em Ciências Biológicas pela Universidade Estadual de Goiás-UnU-Iporá, onde também atuou por dois anos como bolsista de iniciação científica, desenvolvendo pesquisas na área de bioacústica de cigarras. Atua como professora de Ciências e Biologia na rede privada de ensino, com experiência em educação básica e desenvolvimento de projetos voltados à educação ambiental e ensino de Ciências.

RESUMO

O aumento da resistência das plantas a fungicidas sintéticos e a preocupação com a sustentabilidade ambiental têm impulsionado a pesquisa por alternativas naturais para o controle de patologias vegetais. O gênero *Piper* com ampla ocorrência na flora neotropical, é uma fonte promissora de metabólitos secundários com atividade antifúngica. O objetivo foi avaliar a atividade antifúngica do óleo essencial de *P. aduncum* (OEPA) contra os fitopatógenos *Fusarium oxysporum* e *Macrophomina phaseolina* com o intuito de propor uma alternativa sustentável para o manejo em culturas agrícolas. O material vegetal foi coletado na cidade de Iporá e a extração do óleo essencial das inflorescências de *P. aduncum* foi realizada por hidrodestilação em aparelho Clevenger. Para a análise química do óleo essencial foi utilizado um cromatógrafo a gás com detector de massas (Shimadzu GC QP 5000) equipado com coluna capilar de sílica fundida (OPTIMA®-5-0,25 μm , 30 m \times 0,25 mm). A identificação dos compostos foi feita por meio de comparação dos índices de retenção a partir da co-injeção de padrões de n-alcanos (C7–C40) e de valores descritos na literatura. A atividade antifúngica *in vitro* do óleo essencial de *P. aduncum* nas concentrações de 1,0; 0,5 e 0,1 $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ foi verificada sobre as cepas de *M. phaseolina* e *F. oxysporum* por método de difusão em disco em meio de cultura BDA (batata dextrose ágar), tendo a água como controle positivo e o fungicida comercial Standak Top® como controle negativo, totalizando cinco tratamentos e quatro repetições. As amostras foram incubadas em câmara BOD a 25 ± 2 °C, e fotoperíodo de 12 horas. O crescimento micelial foi medido diariamente até que os fungos atingissem o crescimento total nas placas de controle positivo (que ocorreu após 4 dias para *Fusarium* e 7 dias para *Macrophomina*). O percentual de inibição do crescimento micelial (ICM) foi calculado para cada tratamento. Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e em teste de Tukey a 5% de significância por meio do *software* SISVAR. O rendimento percentual do óleo essencial foi de $0,4\% \pm 0,02$. A análise química do óleo essencial resultou em dezenove compostos químicos, tendo os majoritários: cariofileno (18,79%), Copaeno 11,52%, 1,4,7 – Ciclodectrieno – 1,5,9,9 – tetrametil, Z, Z, Z, (10,95%), β -Pino (8,44%) e Metil 4-(3-hidroxi-3-metilbut-1-en-1-il)-benzoato (8,33%). O óleo essencial de *Piper aduncum* mostrou eficácia na inibição do crescimento micelial dos fungos. Na concentração de 1 $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$, a inibição foi de 95,11% para *F. oxysporum* e 34,45% para *M. phaseolina*. Concentração de 0,5 $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ apresentou resultados semelhantes, com 93,92% e 32,44% de inibição, respectivamente. Mesmo na menor concentração (0,1 $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$), houve efeito sobre *F. oxysporum* em 75,36%.

Palavras-chave: Antifúngico. Controle biológico. Óleo essencial. *Piper aduncum*.

ABSTRACT

The increasing resistance of plants to synthetic fungicides, along with growing concerns about environmental sustainability, has driven research into natural alternatives for the control of plant diseases. The genus *Piper*, widely distributed in Neotropical flora, is a promising source of secondary metabolites with antifungal properties. This study aimed to evaluate the antifungal activity of *Piper aduncum* essential oil (PAEO) against the phytopathogens *Fusarium oxysporum* and *Macrophomina phaseolina*, with the goal of proposing a sustainable alternative for crop management. Plant material was collected in the municipality of Iporá (Brazil), and essential oil was extracted from inflorescences by hydrodistillation using a Clevenger apparatus. Chemical composition was analyzed by gas chromatography coupled to mass spectrometry (Shimadzu GC QP 5000) equipped with a fused silica capillary column (OPTIMA®-5-0.25 μm , 30 m \times 0.25 mm). Compounds were identified by comparing retention indices with n-alkane standards (C7–C40) and literature data. In vitro antifungal activity was tested at concentrations of 1.0, 0.5, and 0.1 g·L⁻¹ using the disk diffusion method on PDA medium, with water as the positive control and the commercial fungicide Standak Top® as the negative control. Samples were incubated in a BOD chamber at 25 \pm 2 °C with a 12 h photoperiod, and mycelial growth was measured daily until full growth occurred in the positive controls (4 days for *Fusarium* and 7 days for *Macrophomina*). The percentage of mycelial growth inhibition (MGI) was calculated for each treatment. Data were analyzed using ANOVA followed by Tukey's test at 5% significance in SISVAR software. The oil yield was 0.4% \pm 0.02. Nineteen compounds were identified, with the main constituents being caryophyllene (18.79%), copaene (11.52%), 1,4,7-cyclodecatriene-1,5,9,9-tetramethyl, Z,Z,Z (10.95%), β -pinene (8.44%), and methyl 4-(3-hydroxy-3-methylbut-1-en-1-yl)-benzoate (8.33%). PAEO effectively inhibited fungal growth, reaching 95.11% inhibition of *F. oxysporum* and 34.45% of *M. phaseolina* at 1.0 g·L⁻¹. Similar results were obtained at 0.5 g·L⁻¹ (93.92% and 32.44%, respectively). Even at the lowest concentration (0.1 g·L⁻¹), *F. oxysporum* growth was reduced by 75.36%. These findings demonstrate the potential of *P. aduncum* essential oil as a natural and sustainable alternative for managing phytopathogens in agricultural systems.

Keywords: Antifungal; Biological control; Essential oil; *Piper aduncum*.

LISTA DE FIGURAS/ TABELAS

Figura 1 - Inflorescência de <i>Piper aduncum</i>	17
Figura 2 - Ampliação do cromatograma.....	19
Figura 3 - Fórmula estrutural	20
Figura 4 - Halos de crescimento.....	24
Tabela 1 - Constituintes químicos.....	20
Tabela 2 - Atividade antifúngica	22

LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS E ABREVIATURAS

µm - Micrômetro

ANOVA - Análise de Variância

BDA - Batata Dextrose Ágar (meio de cultura)

BOD - Biochemical Oxygen Demand

CEBIO - Centro de Estudos em Bioinsumos

CG - Cromatografia Gasosa

CV - Coeficiente de Variação

FAPEG - Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás

FUNAPE - Fundação de Apoio à Pesquisa

GC - Gas Chromatography (Cromatografia Gasosa)

GC-MS - Gas Chromatography–Mass Spectrometry (Cromatografia Gasosa acoplada à Espectrometria de Massas)

HI - Hidrolato

ICM - Inibição do Crescimento Micelial

in vitro - Ensaios realizados em laboratório

in vivo - Ensaios realizados em organismos vivos

IR exp. - Índice de Retenção experimental

LLBio - Laboratório de Bioprospecção e Bioinsumos

m - Metro (unidade de comprimento)

mm - Milímetro

NIST - National Institute of Standards and Technology

OE - Óleo essencial

OEPA - Óleo essencial de *Piper aduncum*

QP - Quadrupole (Detector de massas em cromatografia)

ROS - Reactive Oxygen Species (Espécies Reativas de Oxigênio)

SEM - Standard Error of the Mean (Erro Médio Padrão)

TCC - Trabalho de Conclusão de Curso

UEM - Universidade Estadual de Maringá

UnU - Unidade Universitária (referente à UEG-UnU-Iporá)

Sumário

1. INTRODUÇÃO	13
2. OBJETIVOS	17
2.1 Objetivo Geral	17
2.2 Objetivos Específicos	17
3. METODOLOGIA	18
3.1 Coleta do material vegetal	18
3.2 Extração Óleo Essencial (OE)	18
3.3 Análise química do óleo essencial de <i>P. aduncum</i>	19
3.4 Ensaio antifúngico	19
3.5 Análise estatística	20
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	21
4.1 Extração do óleo essencial	21
4.2 Análise química do óleo essencial	21
4.3 Ensaio antifúngico	23
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	28
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	29

1.INTRODUÇÃO

A segurança alimentar e a conservação de alimentos são preocupações globais que impactam diretamente a saúde pública e a economia. A contaminação por fungos, em particular, representa um risco significativo ao longo da cadeia de abastecimento, desde a colheita até o armazenamento. Os bolores e seus subprodutos tóxicos, as micotoxinas, são responsáveis por parte considerável das perdas de alimentos agrícolas em todo o mundo (Abd Rashed, 2021; Abdi-Moghandam, 2023).

Segundo Allagui (2024), a contaminação fúngica não apenas afeta a qualidade e a comercialização dos produtos alimentícios, mas também apresenta sérios riscos à saúde, uma vez que algumas micotoxinas podem ser letais, carcinogênicas, mutagênicas e imunossupressoras para animais.

Os fungos fitopatogênicos, como os dos gêneros *Fusarium* e *Macrophomina*, causam perdas econômicas significativas em diversas culturas agrícolas. A *Macrophomina phaseolina* por exemplo, é agente causador da podridão de carvão (charcoal rot), doença que se manifesta principalmente em condições de altas temperaturas e déficit hídrico. Este fitopatógeno ataca diversas culturas, incluindo soja, sorgo, milho e girassol, resultando em sintomas de murcha, necrose radicular e morte prematura das plantas, o que compromete severamente o rendimento final das lavouras (Marquez *et al.*, 2021; Noor *et al.*, 2024).

A fusariose é uma das doenças mais relevantes associadas ao gênero *Fusarium*, causada principalmente por *Fusarium oxysporum*. Caracteriza-se pela colonização dos vasos condutores da planta, provocando obstrução e dificultando o transporte de água e nutrientes. Como consequência, observa-se murcha progressiva, clorose foliar, necrose e, em muitos casos, morte precoce da planta. Essa fitopatia acomete diversas culturas, como tomate, algodão, feijão, banana e melancia, ocasionando perdas expressivas de produtividade. Além do impacto direto no rendimento agrícola, cepas de *Fusarium* podem produzir micotoxinas que comprometem a qualidade dos produtos colhidos (Diakitê *et al.*, 2022; Bugingo *et al.*, 2025). Assim, ambos os fungos se configuram como importantes limitadores da produtividade agrícola.

Os fungicidas sintéticos têm sido amplamente utilizados no manejo de tais doenças, devido à sua eficácia rápida e ampla ação contra diversos patógenos, incluindo espécies de *Fusarium* e *Macrophomina*. No entanto, o uso contínuo e intensivo desses produtos tem gerado desafios significativos, como o desenvolvimento de resistência por

parte dos fungos, redução da diversidade de microrganismos benéficos do solo, impactos ambientais e à saúde humana. Além disso, a necessidade de aplicações frequentes para manter a eficácia aumenta os custos de produção e também pode comprometer a sustentabilidade do plantio (Plaza *et al.*, 2004).

Fatores do tipo, têm impulsionado a busca por alternativas naturais, incluindo o uso de bioinsumos e controle biológico, que reduzam a pressão desses fitopatógenos (Jaywardana *et al.*, 2024; Gomes *et al.*, 2024).

Os óleos essenciais, apresentam uma grande variedade de atividades biológicas. Entre as espécies vegetais com potencial bioativo, o gênero *Piper* (família Piperaceae) se destaca por produzir óleos essenciais com reconhecida atividade antimicrobiana, antitumoral e inseticida (Embrapa, 2021). As plantas desse gênero podem ser ervas, arbustos ou trepadeiras, geralmente com caule herbáceo a lenhoso, folhas simples, alternas e de nervação pinnada, frequentemente aromáticas devido à presença de glândulas secretoras de óleos essenciais.

As inflorescências são geralmente espigas axilares ou terminais, com flores pequenas e pouco vistosas, sendo hermafroditas ou monoicas, adaptadas à polinização por insetos. O fruto é tipicamente uma drupa pequena e seca, contendo uma ou duas sementes. A espécie *Piper aduncum*, é amplamente estudada, caracteriza-se por folhas ovadas a lanceoladas, pecíolo curto, e alta produção de óleos essenciais nas folhas e inflorescências. Esses óleos são ricos em compostos como cariofileno, β -pineno e copaeno, conferindo propriedades antifúngicas e bactericidas, o que torna a espécie promissora para aplicações em controle biológico de fitopatógenos e em práticas agrícolas sustentáveis, e ainda como aditivos naturais em alimentos e produtos alimentícios. (Marquez *et al.*, 2021; Dikité *et al.*, 2022).

A *Piper aduncum*, recebe diversos nomes populares, dependendo da região onde ocorre. Alguns deles são: pimenta-de-macaco; pimenta-longa; pimenta-d'água; pimenta-de-cachorro; pau-de-junta; jaborandi (em algumas localidades, embora este nome também seja usado para outras espécies); cordoncillo (na América Central e no Caribe); matico, nome bastante usado no Peru e em países andinos (Lobato *et al.*, 2007; Maia e Andrade, 2009).

Contudo, os óleos essenciais (OEs) surgem como uma solução promissora. São produtos naturais, também chamados de óleos voláteis, aromáticos ou etéreos, obtidos de diversas partes de plantas. O uso desses compostos tem um longo histórico, que remonta a civilizações antigas, onde eram utilizados na medicina popular e para a preservação de

alimentos. O próprio termo "Óleo Essencial" foi cunhado no século XVI por Paracelsus von Hohenheim (Nazzaro *et al.*, 2017).

Estudos recentes, como o de Martins e Bicas (2024), destacam as atividades antifúngicas de óleos essenciais de melaleuca, orégano, tomilho e canela, descrevendo que seus mecanismos de ação incluem, a perfuração da parede celular, interrupção das hifas e a liquefação da membrana celular. Ainda, Oliveira Filho *et al.* (2021), analisou a atividade antifúngica dos óleos de *Mentha piperita*, *Cymbopogon martinii*, *Mentha spicata* e *Cinnamomum camphor*, contra o fungo de armazenamento pós-colheita *Rhizopus stolonifer*.

Também, Allagui (2024) avaliou trinta óleos essenciais contra fungos de deterioração pós-colheita como: *Alternaria alternata*, *Botrytis cinerea* e *Penicillium italicum*, e concluiu que óleos essenciais extraídos das espécies *Cinnamomum verum* e *Syzygium aromaticum*, apresentaram uma taxa considerável de inibição do crescimento micelial desses fungos.

Esses resultados reforçam que os óleos essenciais representam alternativas promissoras no manejo de fitopatógenos, por apresentarem múltiplos mecanismos de ação e podendo atuar de forma eficaz contra diferentes espécies fúngicas de importância agrícola. Dessa forma, o uso de metabólitos naturais extraídos de plantas surge como uma estratégia sustentável para reduzir a dependência de fungicidas sintéticos e contribuir para práticas agrícolas mais seguras e ambientalmente responsáveis, pois os óleos essenciais se destacam por apresentarem baixa persistência residual no ambiente e elevada especificidade frente aos organismos-alvo, reduzindo riscos para a saúde humana e para organismos não alvo.

Assim, considerando a relevância dos fitopatógenos no mercado de alimentos, novas pesquisas são necessárias para viabilizar a utilização das ações antifúngicas do óleo essencial de *P. aduncum* no possível controle biológico de *F. oxysporum* e *M. phaesolina*.

A relevância científica do tema é reforçada pela capacidade dos óleos essenciais de combater a resistência por parte dos fungos e de oferecer um vasto espectro de ação devido às suas diversas composições químicas (Oliveira Filho *et al.*, 2021). A relevância social, por sua vez, manifesta-se na possibilidade de reduzir a perda de alimentos, e de garantir a segurança e a qualidade dos produtos para o consumo humano. O grande número de estudos já conduzidos viabiliza a pesquisa, pois demonstram o interesse da comunidade científica em explorar as propriedades antifúngicas dos óleos essenciais através de abordagens *in vitro*, e no desenvolvimento de novas formulações.

Portanto, o presente trabalho tem como objetivo geral proporcionar uma visão abrangente sobre o potencial do óleo essencial de *P. aduncum* como agente antifúngico. A justificativa para esta pesquisa reside na necessidade de encontrar substitutos naturais e biodegradáveis para os fungicidas químicos, minimizando os riscos para a saúde do consumidor e o meio ambiente.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Avaliar a atividade antifúngica do óleo essencial de *P. aduncum* contra os fitopatógenos *F. oxysporum* e *M. phaesolina* com o intuito de propor uma alternativa sustentável para o manejo em culturas agrícolas.

2.2 Objetivos Específicos

- Extrair o óleo essencial da inflorescência de *P. aduncum*;
- Realizar a análise química do óleo essencial de *P. aduncum*;
- Avaliar a atividade antifúngica do óleo essencial de *P. aduncum* sobre cepas dos fungos *F. oxysporum* e *M. phaesolina*.

3. METODOLOGIA

3.1 Coleta do material vegetal

As inflorescências de *P. aduncum* foram coletadas no município de Iporá-GO, em área urbana, Lago Pôr-do-Sol, região úmida classificada como brejo (Figura 1), coordenadas 15° 22' 08" S 51° 11' 49" W, nos meses de abril e maio de 2025, no início da manhã. Todo o material vegetal foi cuidadosamente embalado em sacos plásticos e recebeu identificação apropriada, visando assegurar sua conservação e prevenir possíveis danos ou perdas. Aqueles materiais que não foram processados no dia da coleta foram armazenados em sacos plásticos rotulados e conservados na geladeira por um período de 7 dias.



Figura 1: Inflorescência de *Piper aduncum* (A) e visão geral da planta no local de coleta (B), mostrando o porte da espécie e o ambiente natural onde foi obtida a amostra.

3.2 Extração Óleo Essencial (OE)

Para extração do óleo essencial foi utilizada a técnica de hidrodestilação, em um aparelho Clevenger. Para isso, foi adicionada 1,5 L de água destilada à cerca de 500 g de inflorescências de *P. aduncum*, que foram previamente triturados em um liquidificador. Após a trituração, o material foi transferido para um balão de fundo redondo de 3 litros de capacidade, colocado sobre uma manta aquecedora e submetido ao processo de hidrodestilação por cerca de três horas.

Após a extração, o óleo essencial obtido foi coletado utilizando uma pipeta para ser separado do hidrolato (HI) e armazenado em recipientes de vidro âmbar, sendo posteriormente mantido em freezer para análises futuras. A relação entre a massa de óleo obtido e a massa do material vegetal fresco empregado na extração foi considerada para cálculo do rendimento percentual do óleo essencial.

3.3 Análise química do óleo essencial de *P. aduncum*

A análise química do constituinte do óleo essencial utilizou-se um sistema de cromatografia gasosa Shimadzu GC QP 5000, equipado com coluna capilar de sílica fundida OPTIMA®-5-0,25 μm (30 m \times 0,25 mm) e detector de íons por impacto eletrônico (IE) a 70 eV, em parceria com o Laboratório de Química de Produtos Naturais da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar).

O *software* GCMS Real Time Analysis® foi utilizado para processamento e interpretação dos dados. A comparação dos índices de retenção, determinados a partir da co-injeção de padrões de n-alcenos (C7–C40), com valores descritos na literatura (Van Den Dool & Kratz, 1963), bem como na análise dos espectros de massa obtidos e confrontados com as informações contidas na biblioteca do *National Institute of Standards and Technology* (NIST 2011), foram utilizados para identificação dos compostos presentes no óleo essencial.

3.4 Ensaio antifúngico

A atividade antifúngica do óleo essencial de *P. aduncum* sobre as cepas de *M. phaseolina* e *F. oxysporum* foi investigada *in vitro* por contato direto conforme o método de difusão em disco descrito por Oliveira Filho *et al.* (2021) e Plaza *et al.* (2004), com adaptações.

Para o experimento, ao óleo essencial extraído da inflorescência de *P. aduncum*, nas concentrações de 1; 0,5 e 0,1 $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ foram incorporados ao meio de cultura BDA (batata dextrose ágar) e vertidos em placas de Petri previamente esterilizadas. Como controles, foram utilizadas placas contendo apenas água (controle positivo) e placas contendo o fungicida comercial Standak Top® na concentração de 1 $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ (controle negativo), totalizando cinco tratamentos e quatro repetições. O Standak Top® foi escolhido por ser um fungicida e inseticida de ação protetora (Piraclostrobina - 25 $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$), sistêmico (Tiofanato Metílico – 225 $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$) e de contato e ingestão (Fipronil – 250 $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$), e sua concentração foi equivalente a maior dose de óleo essencial utilizada (1 $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$).

Após a solidificação do meio de cultura, discos de 5 mm de diâmetro, contendo micélio com 10 dias de crescimento, foram posicionados no centro de cada placa. As amostras foram incubadas em câmara BOD (*Biochemical Oxygen Demand*) a 25 ± 2 °C, e fotoperíodo de 12 horas, sendo o crescimento micelial medido diariamente até que o fungo atingisse o crescimento total nas placas de controle positivo. Em média, *Fusarium oxysporum* completou o crescimento das placas em 4 dias, enquanto *Macrophomina phaseolina* atingiu o crescimento total em aproximadamente 7 dias. O percentual de inibição do crescimento micelial (ICM) foi determinado pela fórmula:

$$\text{ICM}(\%) = \frac{(\text{crescimento controle} - \text{crescimento do tratamento})}{\text{crescimento controle}} * 100$$

3.5 Análise estatística

Com delineamento experimental inteiramente casualizado, cinco tratamentos e quatro repetições, os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e as médias dos tratamentos foram avaliadas por meio do teste de Tukey a 5% de significância pelo software SISVAR[®] (Ferreira, 2011).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Extração Óleo Essencial (OE)

Um total de 4 mL de óleo essencial da inflorescência de *P. aduncum* foi obtido, com aspecto translúcido e baixa viscosidade. O rendimento percentual de $0,4\% \pm 0,02$.

4.2 Análise química do óleo essencial de *P. aduncum*

A análise química do óleo essencial da inflorescência de *P. aduncum* identificou dezenove compostos químicos conforme representado no cromatograma na Figura 2.

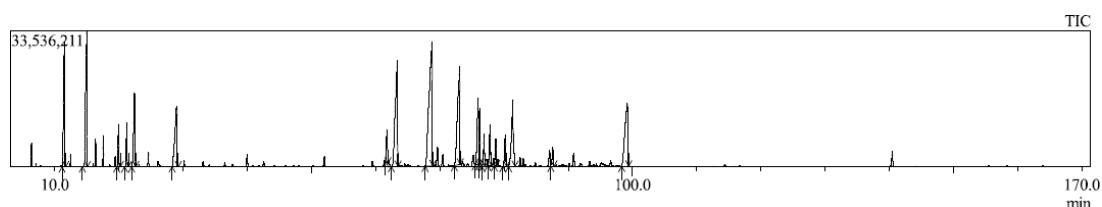


Figura 2: Cromatograma obtido por CG-EM para o óleo essencial extraído das inflorescências de *Piper aduncum*.

Os compostos majoritários identificados no óleo essencial da inflorescência de *P. aduncum* foram Cariofileno com 18,79% (Figura 3 A), Copaeno correspondendo 11,52% (Figura 3 B) o composto 1,4,7 – Ciclodectrieno – 1,5,9,9 – tetrametil, Z, Z, Z, com 10,95% (Figura 3 C), β -Pineno com 8,44% (Figura 3 D) e o composto Metil 4-(3-hidroxi-3-metilbut-1-en-1-il)-benzoato com 8,33% (Figura 3 E).

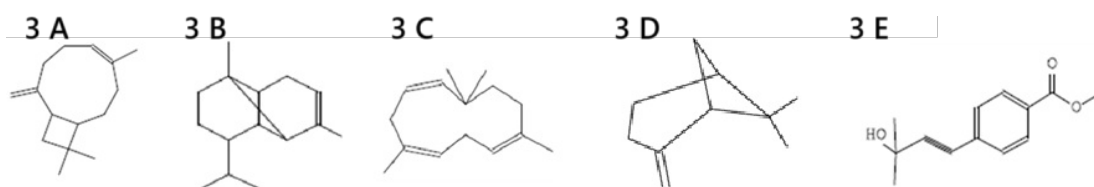


Figura 3: Fórmula estrutural dos principais compostos químicos encontrados na inflorescência de *Piper aduncum*.

A lista de todos os compostos identificados na inflorescência de *P. aduncum* estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1: Constituintes químicos do óleo essencial da inflorescência de *Piper aduncum*.

Pico	TR (min)	Composto	Área (%) CG-MS	IR exp.*
1	11,49	2,6,6 -Trimetilbíciclo	5,27	948
2	15,00	β-Pineno	8,44	943
3	19,95	D-Limoneno	1,60	1018
4	21,24	Ocimenos	1,73	976
5	22,43	1,3,6-Octatrieno	3,86	976
6	29,00	Linalol	6,38	1082
7	61,76	1,2,4-Meteno-1H-ideno	1,71	1125
8	63,37	Copaeno	11,52	1221
9	68,75	Cariofileno	18,79	1494
10	73,05	1,4,7 – Ciclododecatríeno – 1,5,9,9 – tetrametil, Z, Z, Z	10,95	1579
11	75,93	γ-Muuroleno	4,37	1435
12	76,18	γ-Muuroleno	2,71	1435
13	76,87	Naftaleno	1,64	1469
14	77,69	α-Eremofila	2,33	1474
15	78,69	α-Muuroleno	1,31	1440
16	80,18	γ-Cadineno	1,79	1435
17	81,35	δ-Cadineno	6,23	1469
18	87,59	Oxido Cariofileno	1,04	1507
19	99,20	Metil 4-(3-hidroxi-3-metilbut-1-en-1-il) -benzoato	8,33	1680

* = índice de retenção calculado usando a equação de Van den Dool e Kratz.

O cariofileno destacou-se como o composto majoritário no óleo essencial de *P. aduncum*. Esse sesquiterpeno já foi descrito em diferentes espécies do gênero *Piper* e está associado a propriedades anti-inflamatórias, antioxidantes e antimicrobianas relevantes (Ferreira *et al.*, 2016).

Sua presença em 18,79 % no óleo essencial analisado sugere que o cariofileno pode ser um dos principais responsáveis pela atividade antifúngica, corroborando achados prévios que relatam o potencial terapêutico e agrobiológico deste composto (Di Sotto *et al.*, 2020).

Contudo, estudos apontam que tal composto, pode atuar em conjunto com outros constituintes do óleo essencial de *P. aduncum*, potencializando seus efeitos biológicos. Assim, essa interação é particularmente importante em ensaios antifúngicos e inseticidas, nos quais a combinação de sesquiterpenos e fenilpropanóides resulta em maior eficácia do que compostos isolados (Dahham *et al.*, 2015; Di Sotto *et al.*, 2020; Ruiz-Vásquez *et al.*, 2022).

Dessa forma, a presença de 18,79% do Cariofileno na amostra analisada não apenas reforça seu papel individual, mas também destaca sua contribuição no conjunto das atividades atribuídas ao óleo essencial de *P. aduncum*.

4.3 Ensaio antifúngico

A análise da atividade antifúngica dos óleos essenciais obtidos das inflorescências de *P. aduncum*, evidenciou efeito expressivo contra os fitopatógenos *F. oxysporum* e *M. phaseolina* (Tabela 2).

No caso do óleo essencial, a concentração de 1 g·L⁻¹ promoveu inibição importante do crescimento micelial de ambas as espécies de fungos, resultando em 95,11% de inibição para o *F. oxysporum* e 34,45% para o *M. phaseolina*. O óleo essencial de *P. aduncum* na concentração de 0,5 g·L⁻¹ também apresentou interrupção de 93,92% e 32,44% para os fungos *F. oxysporum* e *M. phaseolina*, respectivamente, não diferenciando estatisticamente do tratamento com maior concentração (1 g·L⁻¹). Na concentração de 0,1 g·L⁻¹, observou-se um retardo ainda relevante, correspondendo a 75,36% para *F. oxysporum* e 10,12% para *M. phaseolina*. Esses resultados demonstram a elevada eficiência do óleo essencial, especialmente nas concentrações de 1 g·L⁻¹ avaliadas, apresentando desempenho similar ao do fungicida comercial Standak Top[®] sobre as cepas de *F. oxysporum*.

A análise estatística revelou diferenças significativas ($p < 0,05$) entre os tratamentos e o controle, demonstrando que a atividade antifúngica observada foi resultado da ação efetiva dos óleos essenciais e não de variações aleatórias. Esse achado é reforçado pelo baixo coeficiente de variação (CV) registrado nas concentrações 1 g·L⁻¹ e 0,5 g·L⁻¹, indicando consistência e reprodutibilidade dos dados.

Conforme mostrado na Figura 4A, o crescimento micelial de *F. oxysporum* foi expressivamente inibido nas concentrações de 0,5 e 1 g·L⁻¹ do óleo essencial de *P. aduncum*. Esse efeito pode estar relacionado à ação de compostos majoritários, como cariofileno (18,79%), copaeno (11,52%), e derivados aromáticos oxigenados, capazes de desestabilizar a membrana plasmática dos fungos, aumentando sua permeabilidade e levando à perda de íons e metabólitos essenciais (Bakkali *et al.*, 2008; Martins e Bicas, 2024; Nazzaro *et al.*, 2017; Yuan *et al.*, 2024). Além desses mecanismos relatados por estes autores para a atividade antifúngica desses compostos de interação com a membrana celular, moléculas hidrofóbicas, presente nos composto cariofileno (18,79%) e o copaeno (11,52%), podem se inserir na bicamada lipídica dos fungos, causando desorganização

estrutural, perda de íons essenciais, extravasamento de metabólitos e colapso do potencial de membrana segundo Baser e Buchbauer, 2020. Tais danos estruturais comprometem o equilíbrio osmótico e podem levar à morte celular.

Tabela 2: Atividade antifúngica do óleo essencial de *Piper aduncum*.

Halos de crescimento (mm) e porcentagem de inibição de crescimento de <i>Fusarium oxysporum</i> e <i>Macrophomina phaesolina</i> na presença do óleo essencial de <i>Piper aduncum</i>.				
	<i>Fusarium oxysporum</i>		<i>Macrophomina phaesolina</i>	
	Média de crescimento	% de Inibição de crescimento micelial	Média de crescimento	% de Inibição de crescimento micelial
Controle	79,39 a3	-	93,52 a3	-
Standak Top ®	12,97 a1 a2	83,66	9,52 a1	89,83
1 g/L	3,88 a1	95,11	61,31 a2	34,45
0,5 g/L	4,83 a1	93,92	63,19 a2	32,44
0,1 g/L	19,56 a2	75,36	84,06 a3	10,12
CV	15,09		11,08	
Valor de p	0,00		0,00	
SEM	2,1		3,98	

CV: Coeficiente de variação, SEM: erro médio padrão.

Outro aspecto relevante é a capacidade dos compostos fenólicos e terpenoides oxigenados, como o metil 4-(3-hidroxi-3-metilbut-1-en-1-il)-benzoato (8,33%), de induzir estresse oxidativo nas células fúngicas. Esse processo está associado à geração de espécies reativas de oxigênio (ROS), que danificam proteínas, lipídios e ácidos nucleicos, resultando em perda de viabilidade celular (Pavela e Benelli, 2016). Além da desestabilização da membrana, há evidências de que componentes dos óleos essenciais também podem interferir em enzimas-chave do metabolismo energético e na síntese da parede celular, dificultando a deposição de quitina e β -glucanos, fundamentais para a integridade celular dos fungos (Hyltdgaard; Mygind; Meyer, 2012; Yuan *et al.*, 2024; Ruiz Medina e Rualles, 2025). Essa ação pode explicar o percentual de inibição micelial observado para *F. oxysporum*, que apresentou sensibilidade semelhante ao fungicida e inseticida de ação protetora (Piraclostrobina), sistêmico (Tiofanato Metílico) e de contato

e ingestão (Fipronil), Standak Top®, indicando que o óleo essencial de *P. aduncum* possui potencial como biofungicida.

De forma semelhante, os resultados obtidos para *M. phaseolina* (Figura 4B) indicaram redução significativa na taxa de crescimento nas concentrações 0,5 e 1 g·L⁻¹. Contudo, na dose de 0,1 g·L⁻¹, observou-se apenas inibição parcial do micélio, sugerindo que a quantidade de moléculas bioativas presentes não foi suficiente para causar danos irreversíveis às estruturas celulares, permitindo que o fungo mantivesse parte de sua atividade metabólica. Esses resultados corroboram a ideia de que a eficácia antifúngica dos óleos essenciais depende não apenas da presença de compostos ativos, mas também da concentração utilizada, uma vez que diferentes níveis de exposição podem desencadear efeitos desde alterações fisiológicas moderadas até completa inviabilidade celular (Allagui *et al.*, 2024; Raut; Karuppayil, 2014).

Assim, os dados obtidos neste estudo confirmam o potencial do óleo essencial de *P. aduncum* como agente natural para o controle de fitopatógenos, sugerindo que sua ação está associada a mecanismos bioquímicos que comprometem a integridade da membrana e a homeostase celular dos fungos.

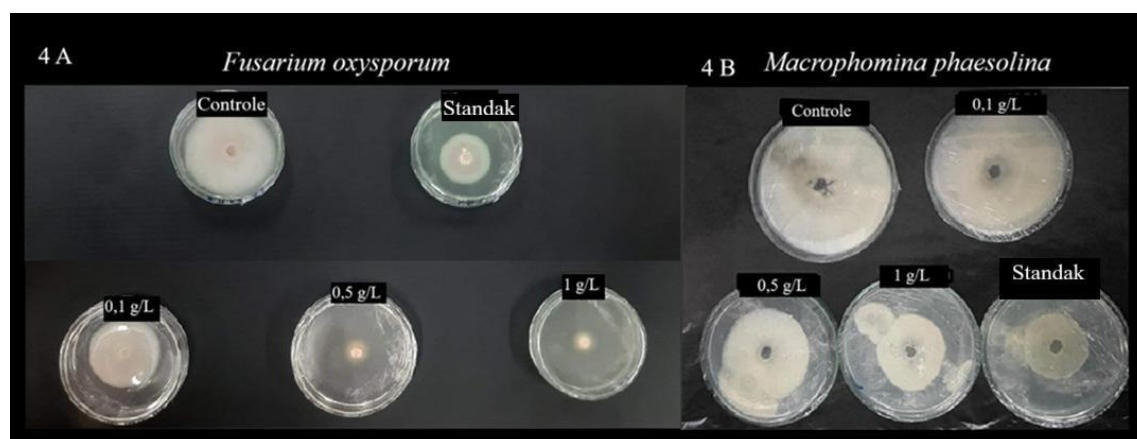


Figura 4: Halos de crescimento de *Fusarium oxysporum* (A) e *Macrophomina phaseolina* (B) em contato com óleo essencial da inflorescência de *Piper aduncum*. Controle positivo: placas sem óleo essencial (crescimento completo do fungo); Controle negativo: Standak Top®: fungicida comercial de referência; Tratamentos com óleo essencial: diferentes concentrações (0,1; 0,5 e 1 g/L) indicando o grau de inibição do crescimento micelial.

Os resultados obtidos indicam que o óleo essencial de *P. aduncum* possui atividade antifúngica significativa, evidenciada pela inibição do crescimento das cepas

fúngicas testadas, enquanto o fungicida Standak Top[®] apresentou inibição acima de 80% em todas as cepas, validando a sensibilidade dos microrganismos e a eficácia da metodologia empregada.

Apesar do ensaio ter sido realizado com uma equivalência direta entre as concentrações do óleo essencial e as do fungicida, observa-se que a inibição de 95,11% do crescimento micelial de *F. oxysporum* obtida com o óleo essencial a 1 g·L⁻¹ foi superior àquela do Standak Top[®] (83,66%), sugerindo que, nessa condição, o óleo essencial apresenta desempenho equiparável ou até superior ao produto comercial.

A relação dose-dependente observada entre a concentração do óleo essencial e o aumento da inibição do crescimento micelial reforça a presença de compostos bioativos, cuja eficácia é proporcional à sua concentração no meio de cultura. Estudos anteriores também relataram atividade antifúngica significativa de óleos essenciais de espécies do gênero *Piper* contra diversas espécies de fungos, incluindo *F. oxysporum* (Nurmansyah *et al.*, 2022) e *Sclerotinia sclerotiorum* (Valadares *et al.*, 2018).

A variação na sensibilidade das cepas fúngicas ao óleo essencial pode ser atribuída a diferenças na composição da parede celular, mecanismos enzimáticos ou vias de fluxo de substâncias de cada microrganismo. Essa variabilidade é comumente observada em estudos de atividade antifúngica, como o de Dahham *et al.* (2015), que relataram diferentes níveis de sensibilidade de cepas de *Aspergillus niger*, *Penicillium citrinum*, *Rhizopus oryzae* e *Trichoderma reesei* a sesquiterpenos como β -Cariofileno, composto encontrado em grande quantidade no óleo essencial das inflorescências de *Piper aduncum*.

Embora a atividade do óleo essencial sobre *M. phaesolina* seja inferior ao do Standak Top[®], é importante ressaltar que o óleo essencial é uma mistura complexa de compostos fitoquímicos, e a diversidade de compostos presentes no óleo essencial pode atuar sinergicamente, potencializando sua atividade antifúngica. Por outro lado, o Standak Top[®] é uma formulação multifuncional composta por três princípios ativos: piraclostrobina, tiofanato metílico e fipronil, que atuam por mecanismos distintos e complementares.

A piraclostrobina pertence ao grupo das estrobilurinas, inibidores da respiração mitocondrial, atuando especificamente sobre o complexo III (citocromo bc1) da cadeia transportadora de elétrons, o que bloqueia a transferência de elétrons e reduz a produção de ATP, levando à interrupção da respiração celular dos fungos (FRAC, 2024; Balba, 2007). Já o tiofanato metílico é um fungicida sistêmico do grupo dos benzimidazóis que

atua sobre a divisão celular, inibindo a polimerização da β -tubulina e, consequentemente, a formação dos microtúbulos, o que impede a mitose e o crescimento fúngico (Avenot e Michailides, 2007). Por sua vez, o fipronil é um inseticida de ação de contato e ingestão, cuja principal atividade é o bloqueio dos canais de cloro mediados pelo ácido gama-aminobutírico (GABA) nos insetos, resultando em hiperexcitação nervosa e morte; embora seu papel no controle de fungos seja indireto, ele contribui para a proteção das sementes contra pragas e agentes contaminantes (Simon-Delso et al., 2015).

Em contraste, os óleos essenciais apresentam um modo de ação multifatorial e não específico, o que reduz a possibilidade de desenvolvimento de resistência microbiana. No caso do óleo essencial de *P. aduncum*, a presença de compostos como cariofileno, copaeno e derivados fenólicos oxigenados promove danos estruturais e funcionais à membrana plasmática dos fungos, desestabilizando sua permeabilidade, provocando extravasamento de íons e metabólitos e, por consequência, a perda de viabilidade celular (Bakkali et al., 2008; Baser e Buchbauer, 2020). Além disso, compostos como o metil 4-(3-hidroxi-3-metilbut-1-en-1-il)-benzoato podem induzir a formação de espécies reativas de oxigênio (ROS), gerando estresse oxidativo e danificando proteínas e ácidos nucleicos (Pavela e Benelli, 2016). Tais efeitos são amplificados por possíveis interações sinérgicas entre os diferentes componentes voláteis, o que resulta em uma resposta antifúngica abrangente (Hyldgaard; Mygind; Meyer, 2012).

Portanto, enquanto o Standak Top[®] atua por mecanismos específicos e bem definidos sobre alvos moleculares, proporcionando uma ação rápida e direcionada, o óleo essencial de *P. aduncum* exerce uma ação multialvo, afetando simultaneamente processos estruturais e metabólicos. Essa diferença é fundamental para o manejo integrado de doenças, visto que o uso de bioinsumos à base de óleos essenciais pode contribuir para reduzir o risco de resistência fúngica e diminuir a carga química no ambiente (Martins e Bicas, 2024; Yuan et al., 2024). Assim, a integração de produtos naturais e sintéticos em estratégias complementares pode representar uma abordagem eficaz e sustentável para o controle de fitopatógenos.

Dessa forma, os resultados obtidos reforçam que a atividade antifúngica do óleo essencial de *P. aduncum* é consequência da ação sinérgica de diferentes metabólitos, os quais atuam tanto de forma física, comprometendo a integridade da membrana, quanto bioquímica, inibindo rotas metabólicas vitais e desencadeando estresse oxidativo. Esse conjunto de mecanismos torna o óleo essencial uma alternativa promissora ao uso de fungicidas sintéticos no manejo de doenças causadas por fungos fitopatogênicos.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos confirmam que o óleo essencial de *P. aduncum* apresenta atividade antifúngica significativa contra *F. oxysporum* e *M. phaseolina*, indicando seu potencial como alternativa natural no manejo de fitopatógenos em sistemas agrícolas.

A presença predominante de cariofileno e de outros compostos bioativos sugere que a eficácia do óleo essencial é resultado da ação sinérgica de múltiplos constituintes, reforçando a importância de estudos sobre interações químicas em óleos essenciais.

Embora o efeito antifúngico não supere completamente fungicidas sintéticos, o uso do óleo essencial representa uma estratégia promissora para práticas agrícolas mais sustentáveis, com menor impacto ambiental. Essas evidências justificam a continuidade da pesquisa, especialmente na identificação dos compostos responsáveis pela atividade antifúngica, avaliação de formulações e testes em condições de campo.

Contudo, o presente estudo contribui para o desenvolvimento de alternativas naturais e sustentáveis para o controle de doenças em plantas, ampliando o conhecimento sobre o potencial agrobiológico de *Piper aduncum*.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABD RASHED, A.; RATHI, D. G.; AHMAD NASIR, N. A. H.; ABD RAHMAN, A. Z. Antifungal Properties of Essential Oils and Their Compounds for Application in Skin Fungal Infections: Conventional and Nonconventional Approaches. **Molecules**, v. 26, n. 4, 1093, 2021. DOI: 10.3390/molecules26041093.

ABDI-MOGHADAM, Z. et al. The significance of essential oils and their antifungal properties in the food industry: A systematic review. **Heliyon**, v. 9, n. 11, e21386, 2023.

ALLAGUI, M. B.; MOUMNI, M.; ROMANAZZI, G. Antifungal Activity of Thirty Essential Oils to Control Pathogenic Fungi of Postharvest Decay. **Antibiotics**, v. 13, n. 1, 28, 2024.

AVENOT, H. F.; MICHAILIDES, T. J. Resistance to boscalid fungicide in populations of *Alternaria alternata* causing Alternaria late blight of pistachio in California. **Plant Disease**, v. 94, n. 6, p. 751–756, 2007.

BAKKALI, F. et al. Biological effects of essential oils – a review. **Food and Chemical Toxicology**, v. 46, n. 2, p. 446–475, 2008.

BALBA, H. Review of strobilurin fungicide chemicals. **Journal of Environmental Science and Health, Part B**, v. 42, n. 4, p. 441–451, 2007.

BASER, K. H. C.; BUCHBAUER, G. **Handbook of Essential Oils: Science, Technology, and Applications**. 2. ed. Boca Raton: CRC Press, 2020.

BUGINGO, C. et al. From morphology to multi-omics: a new age of *Fusarium*. **Frontiers in Fungal Biology**, v. 6, p. 1518969, 2025. DOI: <https://doi.org/10.3389/ffunb.2025.1518969>.

DAHAM, S. S. et al. The Anticancer, Antioxidant and Antimicrobial Properties of the Sesquiterpene β -Caryophyllene from the Essential Oil of *Aquilaria crassna*. **Molecules**, v. 26, n. 20(7), p.11808-29, 2015. DOI: 10.3390/molecules200711808.

DANTAS TDS, MACHADO JCB, FERREIRA MRA, SOARES LAL. Bioactive Plant Compounds as Alternatives Against Antifungal Resistance in the *Candida* Strains. **Pharmaceutics**. 23;17(6):687, 2025. doi: 10.3390/pharmaceutics17060687.

DI SOTTO, A. et al. Chemopreventive Potential of Caryophyllane Sesquiterpenes: An Overview of Preliminary Evidence. **Cancers (Basel)**. V. 18, n. 12(10), p. 3034, 2020. DOI: 10.3390/cancers12103034.

DIAKITÉ, S. et al. Yield losses of cereal crops by *Fusarium* Link: a review on the perspective of biological control practices. **Research on Crops**, v. 23, n. 2, p. 418-436, 2022. DOI: <https://doi.org/10.31830/2348-7542.2022.057>.

DIAS, L. R. C. et al. Óleo essencial de *Lippia sidoides* Cham. (alecrim-pimenta) no controle de *Macrophomina phaseolina* em feijão-caupi. **Revista Cubana de Plantas Medicinales**, Havana, v. 18, n. 1, p. 1-10, 2013.

EMBRAPA. Óleo essencial de pimenta-de-macaco tem potencial para tratar doenças de peixes. **Portal Embrapa**, 17 ago. 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/64174171/oleo-essencial-de-pimenta-de-macaco-tem-potencial-para-tratar-doencas-de-peixes>. Acesso em: 12 ago. 2025.

FERREIRA, D. F. SISVAR: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.

FERREIRA, R. G. et al. Antifungal Action of the Dillapiole-Rich Oil of *Piper Aduncum* Against Dermatomycoses Caused by Filamentous Fungi. **Journal of Advances in Medicine and Medical Research**, v.15, n.12, p. 1-10, 2016. <https://doi.org/10.9734/BJMMR/2016/26340>.

FRAC – Fungicide Resistance Action Committee. *FRAC Code List 2024: Fungicides sorted by mode of action (including FRAC Code numbering)*. Disponível em: <https://www.frac.info/>. Acesso em: 06 out. 2025.

GOMES, A. S. L. P. B.; WEBER, S. H.; LUCIANO, F. B. Resistance of transgenic maize cultivars to mycotoxin production — systematic review and meta-analysis. **Toxins**, v. 16, n. 8, p. 373, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/toxins16080373>.

HYLDGAARD, M.; MYGIND, T.; MEYER, R. L. Essential oils in food preservation: mode of action, synergies, and interactions with food matrix components. **Frontiers in Microbiology**, v. 3, p. 1–24, 2012.

JAYAWARDANA, M. A. et al. The mechanisms of developing fungicide resistance in plant pathogenic fungi: a review. **Plant Pathology Journal**, v. 40, n. 3, p. 215–230, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1111/ppj.14478>.

LOBATO, A. K. DA S. et al. Ação do Óleo Essencial de *Piper aduncum* L. Utilizado como Fungicida Natural no Tratamento de Sementes de *Vigna unguiculata* (L.) Walp. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 5, n. 2, p. 915-917, 2007.

MAIA, J. G. S.; ANDRADE, E. H. **Ação antimicrobiana do óleo essencial de *Piper aduncum* e dilapiol em infecções de pele**. 2009. Dissertação (Mestrado em Química e Bioquímica) - Universidade Federal do Pará, Belém, 2009.

MARQUEZ, N.; GIACHERO, M. L.; DECLERCK, S.; DUCASSE, D. A. *Macrophomina phaseolina*: general characteristics of pathogenicity and methods of control. **Frontiers in Plant Science**, v. 12, p. 634397, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.634397>.

MARTINS, G. A.; BICAS, J. L. Antifungal activity of essential oils of tea tree, oregano, thyme, and cinnamon, and their components. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 27, e2023071, 2024.

NAZZARO, F. et al. Essential Oils and Antifungal Activity. **Pharmaceuticals**, v. 10, n. 86, 2017. DOI: 10.3390/ph10040086.

NIST. NIST Standard Reference Database Number 69: NIST Chemistry WebBook. <https://webbook.nist.gov/chemistry/>. Disponível em: <https://webbook.nist.gov/chemistry/>. Acesso em: 06 de outubro de 2025.

NOOR, A. et al. RNA-seq analysis reveals genes associated with *Macrophomina phaseolina* infection in soybean. **BMC Genomics**, v. 25, n. 1, p. 123, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12864-024-10120-7>.

NURMANSYAH et al. The effect of various essential oil and solvent additives on the botanical pesticide of *Piper Aduncum* essential oil on formulation antifungal activity. **Results in Engineering**, v.16, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2022.100644>.

OLIVEIRA FILHO, J. G.; SILVA, G. C.; AZEREDO, H. M. C.; FERREIRA, M. D. Antifungal activity of essential oils and their combinations against postharvest fruit pathogen. **Acta Horticulturae**, v. 1325, p. 183-190, 2021. DOI: 10.17660/ActaHortic.2021.1325.27.

PAVELA, R.; BENELLI, G. Essential oils as ecofriendly biopesticides? Challenges and constraints. **Trends in Plant Science**, v. 21, n. 12, p. 1000-1007, 2016.

PLAZA, P. et al. Evaluation of the potential of commercial post-harvest application of essential oils to control citrus decay. **Journal of Horticultural Science & Biotechnology**, v. 79, n. 6, p. 935-940, 2004.

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.

RUIZ MEDINA, M. D.; RUALES, J. Essential Oils as an Antifungal Alternative for the Control of Various Species of Fungi Isolated from *Musa paradisiaca*: Part I. **Microorganisms**, v. 13(8), p. 1827, 2025. <https://doi.org/10.3390/microorganisms13081827>.

RUIZ-VÁSQUEZ, L. et al. Antifungal and Herbicidal Potential of *Piper* Essential Oils from the Peruvian Amazonia. **Plants**, v.11, n.14, p. 1793, 2022. <https://doi.org/10.3390/plants11141793>.

SIMON-DELISO, N. et al. Systemic insecticides (neonicotinoids and fipronil): trends, uses, mode of action and metabolites. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 22, n. 1, p. 5–34, 2015.

VALADARES, A. C. F. et al. Essential oils from *Piper aduncum* inflorescences and leaves: chemical composition and antifungal activity against *Sclerotinia sclerotiorum*. **Anais Da Academia Brasileira De Ciências**, v. 90(3), p. 2691–2699, 2018. <https://doi.org/10.1590/0001-3765201820180033>

VAN DEN DOOL, H.; KRATZ, P. D. A generalization of the retention index system including linear temperature programmed gas-liquid partition chromatography. **Journal of Chromatography A**, v. 11, p. 463-471, 1963.

YUAN, T. et al. Efficacy and Antifungal Mechanism of Rosemary Essential Oil against *Colletotrichum gloeosporioides*. **Forests**, v. 15(2), n. 377, 2024 .