

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIANO - CAMPUS CERES
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM IRRIGAÇÃO NO CERRADO

INOCULAÇÃO DE BACTÉRIAS PROMOTORAS DE
CRESCIMENTO EM *Cymbopogon citratus* E PRODUÇÃO DE
ÓLEO ESSENCIAL

Autora: Cleisi Kelly Cruz Ferreira
Orientador: Prof. Dr. Luís Sérgio Rodrigues Vale
Coorientadora: Prof.^a Dr.^a Priscila Jane R. G. Selari
Coorientadora: Prof.^a Dr.^a Ariany Rosa Gonçalves

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIANO - CAMPUS CERES
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM IRRIGAÇÃO NO CERRADO

INOCULAÇÃO DE BACTÉRIAS PROMOTORAS DE
CRESCIMENTO EM *Cymbopogon citratus* E PRODUÇÃO DE
ÓLEO ESSENCIAL

Autora: Cleisi Kelly Cruz Ferreira
Orientador: Prof. Dr. Luís Sérgio Rodrigues Vale
Coorientadora: Prof.^a Dr.^a Priscila Jane R. G. Selari
Coorientadora: Prof.^a Dr.^a Ariany Rosa Gonçalves

Dissertação apresentada, como parte das exigências para obtenção do título de MESTRE EM IRRIGAÇÃO NO CERRADO, no Programa de Pós-Graduação em Irrigação no Cerrado do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Ceres – Área de concentração Tecnologias de Irrigação.

CERES - GO
SETEMBRO, 2026

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

F383 Cruz Ferreira, Cleisi kelly
INOCULAÇÃO DE BACTÉRIAS PROMOTORAS DE
CRESCIMENTO EM *Cymbopogon citratus* E PRODUÇÃO DE
ÓLEO ESSENCIAL / Cleisi kelly Cruz Ferreira. Ceres 2026.
64f. il.
Orientador: Prof. Dr. Luís Sérgio Rodrigues Vale.
Coorientadora: Prof^ª. Dra. Priscila Jane Romano Gonçalves
Selari, Ariany Rosa Gonçalves.
Dissertação (Mestre) - Instituto Federal Goiano, curso de
0333064 - Mestrado Profissional em Irrigação no Cerrado -
Ceres (Campus Ceres).
I. Título.

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

- | | |
|--|---|
| ☐ Tese (doutorado) | ☐ Artigo científico |
| ☒ Dissertação (mestrado) | ☐ Capítulo de livro |
| ☐ Monografia (especialização) | ☐ Livro |
| ☐ TCC (graduação) | ☐ Trabalho apresentado em evento |

☐ Produto técnico e educacional - Tipo:

Nome completo do autor:

CLEISI KELLY CRUZ FERREIRA

Matrícula:

202420333064-0006

Título do trabalho:

INOCULAÇÃO DE BACTÉRIAS PROMOTORAS DE CRESCIMENTO EM *Cymbopogon citratus* E PRODUÇÃO DE ÓLEO ESSENCIAL

RESTRIÇÕES DE ACESSO AO DOCUMENTO

Documento confidencial: ☒ Não ☐ Sim, justifique:

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: 28/09/2026

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

CLEISI KELLY CRUZ FERREIRA

Data: 28/09/2026 10:06:38-0300

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

CERES

Local

28/09/2026

Data

Assinatura do autor e/ou detentor dos direitos autorais

Ciente e de acordo:

Assinatura do(a) orientador(a)



Documento assinado digitalmente

LUIS SERGIO RODRIGUES VALE

Data: 29/09/2026 07:38:58-0300

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



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

Ata nº 11/2026 - CCMIC-CE/GPPI/CMPCE/IFGOIANO

ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

Aos 31 dias do mês de agosto do ano de dois mil e vinte seis, realizou-se a Defesa de Dissertação da acadêmica **Cleisi Kelly Cruz Ferreira** do Curso de Mestrado Profissional em Irrigação no Cerrado, número de defesa 083, matrícula 2024203330640006. RG 6152639 SSP/GO, CPF: 058.457.671-48, cuja dissertação intitula-se **'Inoculação de bactérias promotoras de crescimento em *cymbopogon citratus* e produção de óleo essencial'**. A defesa iniciou-se às 8h05, finalizando-se às 10h26, onde a banca examinadora considerou o trabalho **Aprovado**, estando apta para fins de conclusão da Dissertação, devendo a acadêmica apresentar no prazo de sessenta (60) dias a versão final corrigida conforme considerações da banca, em formato digital (PDF), acompanhado do termo de autorização para publicação eletrônica (devidamente assinado pelo autor), para posterior inserção no Sistema de Gerenciamento do Acervo e acesso ao usuário via internet. Os integrantes da banca examinadora assinam a presente ata.

Prof. Dr. Luís Sérgio Rodrigues Vale

Presidente da banca

IF Goiano - Campus Ceres

Profª. Dra. Mônica Lau da Silva Marques

Avaliadora Interna

IF Goiano - Campus Ceres

Prof. Dr. Stone de Sá

Avaliador Externo

UniEvangélica – Campus Ceres

Documento assinado eletronicamente por:

- **Luis Sergio Rodrigues Vale**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO , em 31/08/2026 10:27:48.
- **Monica Lau da Silva Marques**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO , em 31/08/2026 10:28:41.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 06/08/2026. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://susp.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 845372

Código de Autenticação: dc99fa547e



INSTITUTO FEDERAL GOIANO

Campus Ceres

Rodovia GO-154, Km 03, SN, Zona Rural, CERES / GO, CEP 76300-000

(62) 3307-7100

A Deus, o Criador do universo,

OFEREÇO

A Deus, por me sustentar e me fortalecer em todos os momentos,

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pois sem Ele nada disso teria sido possível. Agradeço também à minha família, que sempre me apoiou a continuar nos estudos, e, em especial, à minha mãe, Raimunda Cruz Ferreira, por ter me ajudado a cuidar do meu filho quando eu não pude, auxiliando durante o período em que estive no Mestrado. Agradeço ao meu orientador, Prof. Dr. Luís Sérgio Rodrigues Vale, que, nesses anos de Mestrado, foi um grande orientador e esteve sempre ao meu lado, apoiando-me e incentivando-me a continuar os estudos. Sem seu apoio, incentivo e orientação, nada disso seria possível.

Agradeço à Prof.^a Dra. Flávia Abrão Pessoa, pelos ensinamentos, apoio e contribuições ao longo dessa caminhada. À Prof.^a Dra. Marcela Carmen de Melo Burger, pelos ensinamentos, apoio e por disponibilizar o aparelho e o laboratório para a realização das atividades desta pesquisa. Aos professores José Luís Rodrigues Martins e Stone de Sá, pelo apoio e pelas contribuições durante essa trajetória.

Agradeço ao Valdivino Aparecido Straioto Cordeiro, pela grande ajuda e apoio nas análises e na avaliação do experimento; aos Richard Alexandre Liberio da vava; Raphael Pinheiro Rodrigues Valente; aos estudantes de Graduação Heduardo e José Miguel; e ao senhor Etevaldo Freitas, pelo auxílio na condução da pesquisa.

Agradeço ao Centro de Excelência em Bioinsumos (CEBIO), pela concessão da bolsa de Mestrado; à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás (FAPEG), pelo indispensável auxílio financeiro; e ao IF Goiano – Campus Ceres e ao PPGIC, pela oportunidade, estrutura e apoio para a realização do Mestrado Profissional em Irrigação no Cerrado.

BIOGRAFIA DO AUTOR

CLEISI KELLY CRUZ FERRERIRA, filha de Raimunda Cruz Ferreira, nascida em 12 de julho de 1993, na cidade de Marabá-PA. Em 2015 iniciou seus estudos de nível superior no curso Bacharelado em Agronomia, no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano- Campus Ceres, concluindo a graduação em 2024. Em 2024 iniciou seus estudos no Programa de Pós-Graduação em Irrigação no Cerrado, também no Instituto Federal Goiano – Campus Ceres. Em setembro de 2024 iniciou como bolsista do Centro de Excelência em Bioinsumos (CEBIO) até a data da defesa, em de 31 agosto de 2026.

RESUMO

FERREIRA, Cleisi Kelly Cruz. Instituto Federal Goiano – Campus Ceres – GO, setembro de 2026. **Inoculação de bactérias promotoras de crescimento em *cymbopogon citratus* e produção de óleo essencial.** Orientador: Prof. Dr. Luís Sérgio Rodrigues Vale. Coorientadoras: Prof^a. Dr^a. Priscila Jane R. G. Selari e Prof. Dr^a. Ariany Rosa Gonçalves.

O cultivo de plantas medicinais associado ao uso de bioinsumos representa uma alternativa promissora para aumentar a produtividade agrícola e promover sistemas de produção mais sustentáveis. Neste contexto, objetivou-se avaliar os efeitos da inoculação de bactérias promotoras de crescimento de plantas sobre o desenvolvimento vegetativo, o rendimento e a composição química do óleo essencial de *Cymbopogon citratus* (capim-limão), bem como verificar a atividade antagonista do óleo essencial frente aos fungos fitopatogênicos *Fusarium* sp. e *Bipolaris* spp. A dissertação foi estruturada em dois capítulos. O primeiro consistiu em uma revisão sistemática da literatura sobre o potencial dos óleos essenciais de plantas medicinais no controle de pragas e doenças na agricultura, realizada conforme o protocolo PRISMA, com o uso de bases de dados Scopus e Web of Science. O segundo capítulo compreendeu um experimento de campo em delineamento em blocos casualizados, com avaliação de diferentes espécies de bactérias promotoras de crescimento, incluindo *Priestia aryabhatai*, *Bacillus subtilis*, *Bacillus pumilus*, *Bacillus amyloliquefaciens* e um consórcio bacteriano. Foram analisadas características biométricas das plantas, rendimento de óleo essencial, composição química por cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas e a atividade antifúngica do óleo essencial sobre os fitopatógenos. A revisão sistemática evidenciou que compostos como 1,8-cineol, timol, carvacrol e eugenol apresentam elevado potencial para o controle biológico de pragas e doenças agrícolas. No estudo experimental, a inoculação com bactérias promotoras de crescimento não apresentou diferenças estatisticamente significativas no desenvolvimento, rendimento e composição do óleo essencial de *Cymbopogon citratus*. O crescimento da cultura foi influenciado principalmente pelo período de cultivo, com aumento no número de perfilhos, número de folhas e acúmulo de

biomassa. O óleo essencial apresentou estabilidade na composição química entre os tratamentos, mantendo o citral como principal constituinte. Além disso, apresentou elevada atividade antifúngica, promovendo inibição total do crescimento micelial de *Fusarium* sp. e *Bipolaris* sp. Os resultados evidenciam o potencial do óleo essencial de *C. citratus* para o manejo sustentável de fitopatógenos agrícolas.

Palavras-chave: Bactérias promotoras de crescimento de plantas. Capim-limão. Controle biológico. Óleo essencial. Sustentabilidade agrícola.

ABSTRACT

FERREIRA, Cleisi Kelly Cruz. Goiano Federal Institute – Ceres Campus, Goiás Sates (GO), Brazil, August 2026. **Inoculation of plant growth-promoting bacteria on *Cymbopogon citratus* and its effect on essential oil production.** Advisor: PhD Prof. Vale, Luís Sérgio Rodrigues. Co-advisors: Prof. PhD Selari, Priscila Jane R. G. and Prof. PhD Gonçalves, Ariany Rosa.

The cultivation of medicinal plants associated with the use of bioinputs represents a promising alternative for increasing agricultural yield and promoting more sustainable production systems. In this context, this study aimed to evaluate the effects of plant growth-promoting bacteria inoculation on the vegetative development, the yield and chemical composition of *Cymbopogon citratus* (lemongrass) essential oil, as well as to assess the antagonistic activity of the essential oil against the *Fusarium* sp. and *Bipolaris* spp. phytopathogenic fungi. This paper was structured into two chapters. The first chapter consisted of a systematic literature review on the essential oils potential from medicinal plants for controlling agricultural pests and diseases, in accordance with the PRISMA guidelines through the Scopus and Web of Science databases. The second chapter comprised a field experiment carried out in a randomized complete block design, evaluating different plant growth-promoting bacterial species, including *Priestia aryabhatai*, *Bacillus subtilis*, *Bacillus pumilus*, *Bacillus amyloliquefaciens*, and a bacterial consortium. In the second chapter, this study analyzed the plant agronomic characteristics, essential oil yield, chemical composition (via GC-MS), and the antifungal activity of the essential oil against plant pathogens. The systematic review showed that compounds such as 1,8-cineole, thymol, carvacrol, and eugenol have considerable potential for the biological control of agricultural pests and diseases. Inoculation with plant growth-promoting bacteria failed to significantly change the development, yield, and essential oil composition of *Cymbopogon citratus* in the experimental study. Crop growth—including increases in tiller number, leaf count, and biomass accumulation—was primarily accelerated the length of the growing period. The chemical composition of

the essential oil remained stable across treatments, maintaining citral as the major component. Furthermore, it exhibited strong antifungal activity and completely inhibited the mycelial growth of *Fusarium* sp. and *Bipolaris* sp. These findings highlight the potential of *C. citratus* essential oil for sustainable agricultural phytopathogen management.

Keywords: Biological control. Essential oil. Lemongrass. Plant growth-promoting bacteria. Sustainable agriculture.

LISTA DE QUADROS E TABELAS

	Página
Quadro 2.1 Protocolo de pesquisa de revisão sistemática.	13
Quadro 2.2 Informações coletadas sobre as espécies vegetais, os compostos bioativos identificados e sua eficiência no controle na agricultura	16
Tabela 3.1 Resumo da análise de variância (quadrado médio) da produção de óleo essencial de capim-limão submetido à aplicação de bactérias promotoras de crescimento vegetal, em Ceres, GO, 2026	35
Tabela 3.2 Características vegetativas e produtivas do capim-limão submetido à aplicação de bactérias promotoras de crescimento vegetal em diferentes épocas de avaliação, em Ceres, GO, 2026.....	37
Tabela 3.3 Composição química dos principais constituintes do óleo essencial de <i>Cymbopogon citratus</i> submetido à inoculação com bactérias promotoras de crescimento vegetal, em Ceres, GO. 2026	39

LISTADE FIGURAS

	Página
Figura 1.1 Planta de capim-limão (<i>Cymbopogon citratus</i>).....	2
Figura 2.1 Diagrama de fluxo da estratégia de pesquisa, seleção de estudos e procedimento de gerenciamento de dados sobre o uso de óleos essenciais na agricultura.....	15
Figura 2.2 Crescimento das publicações científicas sobre plantas medicinais ao longo de 25 anos.....	16
Figura 2.3 Frequência de aparecimento dos compostos químicos nos artigos por diferentes autores.....	20

LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS, ABREVIACÕES E UNIDADES

Símbolo	Sigla	Significado
	Unidade	
%		Porcentagem (proporção relativa dos compostos e variáveis)
α		Nível de significância estatística ($\alpha = 0,05$)
°C		Grau Celsius
C8–C32		Faixa de hidrocarbonetos para cálculo de RI
cm		Centímetro (altura de plantas e medições biométricas)
cmolc dm ⁻³		Centimol de carga por decímetro cúbico
dm ³		Decímetro cúbico (análise de solo)
g		Grama (massa de solo e material vegetal)
g dm ⁻³		Matéria orgânica do solo
h		Hora (tempo de irrigação e extração)
kg		Quilograma (massa de solo por vaso)
L h ⁻¹		Vazão de irrigação
M		Metro (dimensões espaciais e altura de plantas)
mg dm ⁻³		Miligramas por decímetro cúbico
Min		Minuto (tempo de análise e processos laboratoriais)
mL		Mililitro (volume de soluções e óleo essencial)
mL min ⁻¹		Fluxo de gás no cromatógrafo
Mm		Milímetro (diâmetro de halos de inibição)
µL		Microlitro (volume de óleo essencial e soluções)
µm		Micrômetro (espessura da coluna cromatográfica)
ANOVA		Análise de Variância

BA	<i>Bacillus amyloliquefaciens</i>
BDA	Batata-Dextrose-Ágar
BP	<i>Bacillus pumilus</i>
BS	<i>Bacillus subtilis</i>
CG-EM	Cromatografia Gasosa acoplada à Espectrometria de Massas
CV	Coeficiente de Variação
DBC	Delineamento em Blocos Casualizados
IF Goiano	Instituto Federal Goiano
LIMBio	Laboratório de Interações Microbianas e Biotecnologia
MFC	Massa fresca de caule
MFF	Massa fresca de folhas
MFR	Massa fresca de raiz
MIX	Consórcio de bactérias promotoras de crescimento
MSC	Massa seca de caule
MSF	Massa seca de folhas
MSR	Massa seca de raiz
Nfolhas	Número de folhas
Nperf	Número de perfilhos
PA	<i>Priestia aryabhattai</i>
RI	Índice de retenção (<i>Retention Index</i>)
ROE	Rendimento de óleo essencial
SFS	Superfosfato simples
UV-Vis	Espectrofotometria Ultravioleta-Visível
(E)-isocitral	Isômero trans do isocitral
(Z)-isocitral	Isômero cis do isocitral

SUMÁRIO

	Página
1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Referências.....	4
2 CAPÍTULO I - Potencial de óleos essenciais de plantas medicinais no controle de pragas e doenças na agricultura: uma revisão sistemática	9
2.1 Introdução	10
2.2 Material e métodos.....	12
2.3 Resultados e discussão	15
2.4 Conclusões	21
2.5 Referências	22
3 CAPÍTULO II: Inoculação de bactérias promotoras de crescimento em <i>Cymbopogon citratus</i> e produção de óleo essencial.....	27
3.1 Introdução	29
3.2 Material e métodos.....	30
3.3 Resultados e discussão	35
3.4 Conclusões	41
3.5Referências	42

1 INTRODUÇÃO

Desde o início da humanidade, as plantas medicinais são utilizadas como fonte de recursos terapêuticos, desempenhando papel importante no tratamento de diversas enfermidades (Rates, 2001). Nesse contexto, os óleos essenciais, extraídos de diferentes partes das plantas, destacam-se por suas propriedades biológicas, como atividades antimicrobianas, antifúngicas, anti-inflamatórias e analgésicas (Ramos da Silva *et al.*, 2021).

Os óleos essenciais são misturas complexas de compostos orgânicos voláteis, produzidos principalmente por espécies vegetais aromáticas. Sua composição química é constituída predominantemente por terpenos e terpenoides, especialmente monoterpenos e sesquiterpenos, além de compostos não terpênicos, como os fenilpropanoides (Masyita *et al.*, 2022). Os terpenoides constituem uma das principais classes de compostos presentes nos óleos essenciais, enquanto os fenilpropanoides correspondem a outra classe de constituintes químicos, sendo compostos aromáticos derivados da via do ácido chiquímico (Garzoli, 2023).

Nos últimos anos, tem-se observado crescente interesse pelo uso de compostos naturais, impulsionado pela busca por alternativas mais sustentáveis aos insumos sintéticos. No setor agrícola, essa demanda é reforçada pelos impactos negativos associados ao uso excessivo de agroquímicos, como a contaminação ambiental, riscos à saúde humana e desenvolvimento de resistência por parte de pragas e patógenos (Chakir *et al.*, 2016; Finger, 2024).

Nesse cenário, os óleos essenciais de plantas medicinais emergem como alternativa promissora para o manejo fitossanitário, apresentando propriedades inseticidas, antifúngicas e antimicrobianas (Ayllón-Gutiérrez *et al.*, 2023).

Dentre as espécies com potencial de uso, destaca-se o capim-limão *Cymbopogon citratus* (D.C.) Stapf (Fig. 1), uma planta perene de origem indiana, cultivada em regiões tropicais e adaptada a condições de altas temperaturas e luminosidade, devido ao seu

metabolismo fotossintético C4 (Amarante *et al.*, 2012; Pinto *et al.*, 2014). No Brasil, a espécie apresenta bom desenvolvimento em diferentes regiões, com maior produtividade em solos bem drenados e férteis (Amarante *et al.*, 2012).



Figura 1.1 –Planta de capim-limão (*Cymbopogon citratus*)
Fonte: Arquivo pessoal (2026).

O capim-limão é amplamente reconhecido pela produção de óleo essencial rico em citral, composto responsável por seu aroma característico e por diversas atividades biológicas (Guimarães *et al.*, 2008; de Jesus *et al.*, 2021). Esse óleo apresenta grande relevância econômica, sendo utilizado nas indústrias farmacêutica, alimentícia, cosmética e química (Lemos *et al.*, 2013; Prins *et al.*, 2008).

Além disso, estudos evidenciam propriedades antimicrobianas, antifúngicas e antivirais, bem como eficácia contra bactérias resistentes a medicamentos (dos Santos, 2021; Moraes *et al.*, 2023; Paiva *et al.*, 2022).

A composição química do *Cymbopogon citratus* é caracterizada por duas frações distintas de metabólitos secundários, segregadas por sua volatilidade e polaridade. A fração não volátil, comumente presente em extratos polares e infusões, engloba uma diversidade de compostos fenólicos, taninos e flavonoides, com destaque para polifenóis bioativos como o ácido gálico, a quercetina e a rutina (Lermen *et al.*, 2015; Lins *et al.*, 2015; Soares *et al.*, 2013; Sompar *et al.*, 2018). Paralelamente, a fração volátil da planta é constituída pelo seu óleo essencial, composto majoritariamente por monoterpenos como o citral (geranial e neral). Ressalta-se que a biossíntese e o rendimento quantitativo de ambas as frações são fortemente influenciados por fatores genéticos e variáveis ecológicas e ambientais, tais como a disponibilidade hídrica, índices de luminosidade,

flutuações de temperatura e o estado nutricional do espécime (Miranda, 2012; Saboia *et al.*, 2022).

Paralelamente, o uso de microrganismos benéficos do solo tem se destacado como estratégia promissora para promover a sustentabilidade dos sistemas agrícolas. As bactérias promotoras de crescimento de plantas (BPCP) podem atuar no desenvolvimento vegetal por meio da fixação biológica de nitrogênio, solubilização de fósforo, produção de fitormônios e indução de resistência a estresses bióticos e abióticos (Kaushal; Wani, 2016; Porto *et al.*, 2022).

Espécies como *Bacillus subtilis* apresentam potencial no controle de fitopatógenos, com efeitos preventivos e curativos, como observado no controle de *Fusarium* sp. (Chen; Lee; Huang, 2021).

Outros microrganismos, como *Bacillus pumilus* e *B. amyloliquefaciens*, também demonstram capacidade de suprimir doenças causadas por fitopatógenos por meio de diferentes mecanismos de ação (Abreu *et al.*, 2022; Bargabus *et al.*, 2004; Coping, 2004). Além disso, *Priestia aryabhatai* contribui para a tolerância ao estresse hídrico, favorecendo o desenvolvimento vegetal em condições adversas (Embrapa, 2021).

Essas abordagens são fundamentais frente aos desafios impostos por práticas agrícolas insustentáveis, como monocultura, degradação do solo, uso inadequado de recursos naturais e poluição ambiental (Kaushal; Wani, 2016; Porto *et al.*, 2022). Nesse sentido, o uso integrado de plantas medicinais e microrganismos benéficos pode representar uma estratégia eficiente para aumentar a produtividade e promover a sustentabilidade agrícola.

Além disso, a crescente demanda por produtos naturais tem impulsionado o cultivo de plantas medicinais, destacando-se sua importância econômica, especialmente para a agricultura familiar. A produção de capim-limão possui expressiva relevância socioeconômica no Brasil, impulsionada significativamente pelo estado do Paraná. O território paranaense destaca-se nacionalmente tanto pela vasta extensão de área destinada a esse cultivo quanto pelos elevados índices de sua produção anual (Paraná, 2021). No entanto, ainda há necessidade de desenvolver estratégias que potencializem tanto a produção vegetal quanto o rendimento de óleo essencial.

A agricultura contemporânea enfrenta sérios desafios bióticos e abióticos, que vão desde a volatilidade climática e a variação na incidência de luz solar até a instabilidade econômica do mercado. Diante desse cenário de incertezas, o uso indiscriminado de defensivos sintéticos gera preocupações ambientais e resistência de

patógenos, demandando alternativas sustentáveis (Cruz, I. *et al.*, 2024). Nesse contexto, os óleos essenciais apresentam potencial significativo no controle de pragas e doenças, atuando como agentes de biocontrole devido à presença de compostos com atividade inseticida, antifúngica e antimicrobiana (Goulart *et al.*, 2025).

Especificamente, o óleo essencial de capim-limão (*Cymbopogon citratus*) tem demonstrado alta eficácia em ensaios práticos devido ao seu composto majoritário, o citral, viabilizando o controle fitossanitário ecológico tanto no campo quanto na proteção de grãos armazenados (Vicenzo *et al.*, 2023). No entanto, a alta volatilidade desses compostos e a sua sensibilidade à oxidação e à radiação solar ainda figuram entre os principais desafios técnicos para a sua aplicação em larga escala na lavoura (Isman, 2020).

Estudos demonstram que esses compostos podem atuar na inibição do desenvolvimento de fitopatógenos e na redução de populações de insetos-praga, constituindo alternativa sustentável aos pesticidas sintéticos (Ayllón-Gutiérrez *et al.*, 2023).

Diante do exposto, esta dissertação está estruturada em dois capítulos complementares. O Capítulo I consiste em uma revisão sistemática da literatura, com o objetivo de reunir e analisar evidências científicas sobre o potencial dos óleos essenciais de plantas medicinais no controle de pragas e doenças na agricultura. O Capítulo II aborda uma pesquisa experimental realizada em condições de campo com capim-limão (*Cymbopogon citratus*), que visa avaliar estratégias que possam potencializar a produção de óleo essencial e sua aplicação no manejo fitossanitário.

1.1 Referências

ABREU, L. de P. S. *et al.* Alternativa sustentável de uso da *Bacillus amyloliquefaciens* no biocontrole de fungos fitopatogênicos: uma revisão. **Revista de Ciências Ambientais**, Canoas, v.16, n.1, p.1-15, 2022. DOI: <https://doi.org/10.18316/rca.v16i1.8339> Disponível em: <https://revistas.unilasalle.edu.br/index.php/Rbca/article/view/8339> Acesso em: 3 jul. 2026.

AMARANTE, C. V. T. *et al.* Calagem e adubação fosfatada favorecem o crescimento do capim-limão, *Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, Botucatu, v.14, n.1, p. 92-96, 2012. Disponível em: https://www.scielo.br/j/rbpm/a/hbLjbNJvG5Tns9gZ6ZKSpth/?format=pdf&lang=pt&ilang=pt_BR Acesso em: 12 jul. 2026.

AYLLÓN-GUTIÉRREZ, R. *et al.* Evaluation of the stability of a 1,8-cineole nanoemulsion and its fumigant toxicity effect against the pests *Tetranychus urticae*,

Rhopalosiphum maidis and *Bemisia tabaci*. **Insects**, v.14, n.7, p.663, 2023. Doi: <https://doi.org/10.3390/insects14070663> Disponível em: <https://www.mdpi.com/2075-4450/14/7/663> Acesso em: 10 jul. 2026.

BARGABUS, R. L. *et al.* Screening for the identification of potential biological control agents that induce systemic acquired resistance in sugar beet. **Biological Control**, v.30, n.2, p.342-350, 2004. DOI:10.1016/j.biocontrol.2003.11.005 Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1049964403002470?via%3Dihub> Acesso em: 20 jul. 2026.

CHAKIR, R. *et al.* Avaliando os impactos de um agente invasor de controle biológico: um experimento de escolha sobre a joaninha asiática na França. **Journal of Agricultural Economics**, v.67, n.3, p.619-638, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1111/1477-9552.12160>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/1477-9552.12160> Acesso em: 18 jul. 2026.

CHEN, Y.-H.; LEE, P.-C.; HUANG, T.-P. Controle biológico da podridão do colo em maracujás por meio da indução de apoptose no patógeno da podridão do colo por *Bacillus subtilis*. **Phytopathology**, v.111, n.4, p.627-638, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1094/PHYTO-02-20-0044-R>. Disponível em: <https://apsjournals.apsnet.org/doi/10.1094/PHYTO-02-20-0044-R> Acesso em: 1 jul. 2026.

COPING, L. G. **The manual of biocontrol agents: a world compendium**. 3.ed. Croydon: Alton, Hampshire: BCPC, 2004. 1702p.

CRUZ, I. L. S. da *et al.* From history to modern practices: the role of essential oils in sustainability and insect control. **Revista de Medicina de Vassouras**, Vassouras, v.15, n.2, p.86-96, mai./ago. 2024. Doi: <https://doi.org/10.21727/rm.v15i2.4824> Disponível em: <https://editora.univassouras.edu.br/index.php/RM/article/view/4824> Acesso em: 3 set. 2026.

de JESUS, J. G. *et al.* Elaboração de fórmulas farmacêuticas de uso tópico utilizando óleo essencial extraído do capim limão. **Revista Brasileira de Desenvolvimento**, v.7, n.3, p.21800-21815, 2021. URL supplied. DOI: <https://doi.org/10.34117/bjdv7n3-068> Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/25699> Acesso em: 3 set. 2026.

dos SANTOS, D. I. *et al.* Phytochemical characterization and antibacterial activity of the ethanolic extract and essential oil of the leaves of the leaves of *Cymbopogon citratus*. **Revista Uningá**, v.58, p.eUJ3406, jan.-dez. 2021. DOI: <https://doi.org/10.46311/2318-0579.58.eUJ3406> Disponível em: <https://revista.uninga.br/uninga/article/view/3406> Acesso em: 23 set. 2026.

EMBRAPA. Notícias Embrapa. **Bactéria encontrada no mandacaru vira bioproduto que promove tolerância à seca em plantas**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/60941801/bacteria-encontrada-no-mandacaru-vira-bioproduto-que-promove-tolerancia-a-seca-em-plantas> Acesso em: 24 abr. 2026.

FINGER, R. Europe's ambitious pesticide policy and its impact on agriculture and food systems. **Agricultural Economics**, v.55, n.2, p.265-269, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1111/agec.12817>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/agec.12817>. Acesso em: 23 set. 2026.

GARZOLI, S. Chemical composition and antimicrobial activity of essential oils. **Plants**, v.12, n.4, p.800, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants12040800>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2223-7747/12/4/800> Acesso em: 4 jul. 2026.

GOULART, F. L. *et al.* Óleos essenciais como bioinseticidas: uma análise abrangente de mecanismos de ação, aplicações e perspectivas. **Revista Brasileira de Desenvolvimento**, v.11, n.8, p.e81774, 2025. Doi: <https://doi.org/10.34117/bjdv11n8-047> Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/81774> Acesso em: 20 ago. 2026.

GUIMARÃES, L. G. de L. *et al.* Influência da luz e da temperatura sobre a oxidação do óleo essencial de capim-limão (*Cymbopogon citratus* (D.C.) Stapf). **Química Nova**, v.31, n.6, p.1476-1480, 2008. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-40422008000600037> Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/DLX5hbHSj4k9bszxxsZgGdk/?lang=pt> Acesso em: 6 jul. 2026.

ISMAN, M. B. Bioinsecticides based on plant essential oils: a short overview. **Zeitschrift für Naturforschung C**, v.75, n.7-8, p.179-182, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1515/znc-2020-0038> Disponível em: <https://www.degruyterbrill.com/document/doi/10.1515/znc-2020-0038/html>. Acesso em: 23 set. 2026.

KAUSHAL, M.; WANI, S. P. Plant-growth-promoting rhizobacteria: drought stress alleviators to ameliorate crop production in drylands. **Annals of Microbiology**, v.66, n.1, p. 35-42, 2016. Disponível em: https://pt.scribd.com/document/1017790409/s13213-015-1112-3#google_vignette Acesso em: 25 jul.2026.

LEMOS, G. C. S. *et al.* Controle de plantas invasoras em cultivo orgânico e convencional de capim-limão (*Cymbopogon citratus* (DC) Stapf.). **Revista Brasileira de Plantas Medicinais**, Campinas, v.15, n.3, p.405-414, 2013. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbpm/a/pbRvLHfnNFsd3jckXwJfvxn/?lang=pt&format=pdf> Acesso em: 17 jul. 2026.

LERMEN, C. *et al.* Essential oil content and chemical composition of *Cymbopogon citratus* inoculated with arbuscular mycorrhizal fungi under different levels of lead. **Industrial Crops and Products**, v.76, p.734-738, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.07.009> Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926669015302338> Acesso em: 23 set. 2026.

LINS, A. D. F. *et al.* Quantificação de compostos bioativos em erva cidreira (*Melissa officinalis* L.) e capim cidreira [*Cymbopogon citratus* (DC) Stapf.]. **Gaia Scientia**, v.9,

n.1, p.17-21, 2015. Disponível em:
<https://periodicos.ufpb.br/index.php/gaia/article/view/23991>. Acesso em: 23 set. 2026.

MASYITA, A. *et al.* Terpenes and terpenoids as main bioactive compounds of essential oils, their roles in human health and potential application as natural food preservatives. **Food Chemistry: X**, v.13, n.100217, 2022. DOI:
<https://doi.org/10.1016/j.fochx.2022.100217>. Disponível em:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2590157522000153?via%3Dihub>
Acesso em: 4 jul. 2026.

MIRANDA, V. C. **Influência de condições de secagem, sombreamento, horário de colheita e procedência das plantas sobre o teor de óleo essencial de *Cymbopogon citratus* (d.c) Stapf.** 2012. 53f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Federal do Tocantins, Gurupi, 2012. Disponível em:
[https://docs.uft.edu.br/share/proxy/alfresco-noauth/api/internal/shared/node/xIJvFGqAQbK9WDv9VeAFTg/content/Influência de condições de secagem, sombreamento, horário de colheita e procedência das plantas sobre o teor de óleo essencial de cymbopogon Valdilene Coutinho Miranda 2012 \(Dissert\)](https://docs.uft.edu.br/share/proxy/alfresco-noauth/api/internal/shared/node/xIJvFGqAQbK9WDv9VeAFTg/content/Influência%20de%20condições%20de%20secagem%20sombreamento%20horário%20de%20colheita%20e%20procedência%20das%20plantas%20sobre%20o%20teor%20de%20óleo%20essencial%20de%20cymbopogon%20Valdilene%20Coutinho%20Miranda%202012%20(Dissert)) Acesso em: 10 jul. 2026.

MORAIS, J. G. de *et al.* Potencial antifúngico do *Cymbopogon citratus* ante levedura *Candida albicans* em casos de dermatomicoses. In: SEVEN PUBLICAÇÕES (org.). **Ciências da saúde e suas descobertas científicas.** Seven Editora, São José. dos Pinhais, PR: Seven Events, 2023. Cap.31, p.379-399. DOI:
<https://doi.org/10.56238/ciesaudesv1-031> Disponível em:
<https://sevenpubl.com.br/editora/article/view/1287> Acesso em: 23 set. 2026.

PAIVA, L. F. de *et al.* Association of the essential oil of *Cymbopogon citratus* (DC) Stapf with nystatin against oral cavity yeasts. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v.94, n.1, p.e20200681, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1590/0001-3765202220200681> Disponível em:
<https://www.scielo.br/j/aabc/a/BNdhbpHzyZdd4FvnmZTNRzj/> Acesso em: 23 set. 2026.

PARANÁ (Estado). Secretaria da Agricultura e do Abastecimento. **Estado é destaque no país na produção de plantas medicinais: safra de 2021.** Disponível em:
<https://www.agricultura.pr.gov.br/Noticia/Estado-e-destaque-no-Pais-na-producao-de-plantas-medicinais>. Acesso em: fev. 2026.

PINTO, D. A. *et al.* Produtividade e qualidade do óleo essencial de capim-limão, *Cymbopogon citratus*, DC., submetido a diferentes lâminas de irrigação. **Revista Brasileira de Plantas Medicinais**, v.16, n.1, p.54-61, 2014. Doi:
<https://doi.org/10.1590/S1516-05722014000100008> Disponível em:
https://www.scielo.br/j/rbpm/a/yXNNBNvks3r6rSNZtNxVP4d/?format=html&lang=pt&ilang=pt_BR Acesso em: 5 jul. 2026.

PORTO, E. M. V. *et al.* Microrganismos promotores de crescimento vegetal como mitigadores do estresse hídrico em pastagens: uma revisão narrativa. **Research, Society and Development**, v.11, n.11, p.e514111134029, 2022. DOI:
<https://doi.org/10.33448/rsd-v11i11.34029> Disponível em:

<https://rsdjournal.org/rsd/article/view/34029> Acesso em: 22 jul. 2026.

PRINS, C. L. *et al.* Efeito do confinamento do sistema radicular sobre capim-limão (*Cymbopogon citratus*). **Revista Ciência Agronômica**, [S.l.], v.39, n.3, p.416-421, 2008. Disponível em: <https://periodicos.ufc.br/revistacienciaagronomica/article/view/83813> Acesso em: 23 jul. 2026.

RAMOS da SILVA, L. R. *et al.* Lamiaceae essential oils, phytochemical profile, antioxidant, and biological activities. **Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine**, v.2021, n.1, p.e6748052, 2021. 18p. DOI: <https://doi.org/10.1155/2021/6748052> Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8692021/> Acesso em: 23 set. 2026.

RATES, S. M. K. Plants as source of drugs. **Toxicon**, v.39, n.5, p.603-613, maio 2001. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0041-0101\(00\)00154-9](https://doi.org/10.1016/S0041-0101(00)00154-9) Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0041010100001549> Acesso em: 23 set. 2026.

SABOIA, C. da S. *et al.* Caracterização química e atividade antimicrobiana do óleo essencial e do extrato bruto do capim limão (*Cymbopogon citratus*). **Research, Society and Development**, [S.l.], v.11, n.7, p.e37611730064, 2022. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i7.30064> Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/30064> Acesso em: 23 set. 2026.

SOARES, M. O. *et al.* Angolan *Cymbopogon citratus* used for therapeutic benefits: nutritional composition and influence of solvents in phytochemicals content and antioxidant activity of leaf extracts. **Food and Chemical Toxicology**, v.60, p.413-418, Oct. 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fct.2013.07.064> Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S027869151300519X>. Acesso em: 23 set. 2026.

SOMPARN, N. *et al.* Effect of lemongrass water extract supplementation on atherogenic index and antioxidant status in rats. **Acta Pharmaceutica**, v.68, n.2, p.185-197, 2018. Disponível em: <https://reference-global.com/article/10.2478/acph-2018-0015> Acesso em: 21 ago. 2026.

VICENÇO, C. B.; SILVESTRE, W. P.; PAULETTI, G. F. Atividade inseticida do óleo essencial de capim limão e seus compostos majoritários sobre a lagarta-da-soja. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, [S.l.], v.29, n.1, p.1-15, 2023. DOI: <https://doi.org/10.36812/pag.20232911-15> Disponível em: <https://revistapag.agricultura.rs.gov.br/ojs/index.php/revistapag/articl> Acesso em: 19 set. 2026.

2 CAPÍTULO I

POTENCIAL DE ÓLEOS ESSENCIAIS DE PLANTAS MEDICINAIS NO CONTROLE DE PRAGAS E DOENÇAS NA AGRICULTURA: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA

Resumo: Os óleos essenciais de plantas medicinais têm despertado crescente interesse como alternativa sustentável para o manejo de pragas e doenças na agricultura, devido às suas propriedades inseticidas, antifúngicas, antimicrobianas e alelopáticas. O objetivo desta revisão sistemática foi reunir e analisar as evidências científicas sobre o potencial desses compostos no controle fitossanitário em sistemas agrícolas. A revisão foi conduzida de acordo com as recomendações do protocolo PRISMA, utilizando as bases de dados Scopus e Web of Science. A estratégia de busca empregou os descritores *essential oil*, *medicinal plant*, *pest control* e *sustainable agriculture*. Após a aplicação dos critérios de inclusão e exclusão, foram selecionados 26 artigos científicos publicados entre 2000 e 2025. Os estudos demonstraram ampla diversidade de espécies vegetais produtoras de óleos essenciais e evidenciaram elevada eficácia desses compostos no controle de insetos-praga, fungos fitopatogênicos e outros organismos de importância agrícola. Entre os principais metabólitos identificados destacaram-se 1,8-cineol, timol, carvacrol, eugenol, citral e α -pineno, associados à atividade inseticida, antifúngica, antimicrobiana e repelente. Embora os resultados indiquem elevado potencial para aplicação como bioinsumos agrícolas, verificou-se a necessidade de maior padronização metodológica e da realização de experimentos em condições de campo para validar sua eficiência em escala comercial. Conclui-se que os óleos essenciais de plantas medicinais constituem uma alternativa promissora para o manejo fitossanitário sustentável, contribuindo para a redução da dependência de pesticidas sintéticos.

Palavras-chave: Agroecologia. Defensivos naturais. Fitossanidade.

2 CHAPTER I

Potencial of medicinal plant essential oils for pest and disease ontrol in agriculture: a systematic review

Abstract: Essential oils from medicinal plants have attracted increasing interest as a sustainable alternative for pest and disease management in agriculture due to their insecticidal, antifungal, antimicrobial, and allelopathic properties. This systematic review aimed to collect and analyze scientific evidence on the potential of these compounds for phytosanitary control in agricultural systems. This review was carried out in accordance with the PRISMA guidelines through the Scopus and Web of Science databases. The search strategy included the terms *essential oil*, *medicinal plant*, *pest control*, and *sustainable agriculture*. The application of inclusion and exclusion criteria resulted in the selection of 26 scientific articles published between 2000 and 2025. The studies showed a wide diversity of plant species producing essential oils and confirmed high efficacy of these compounds in controlling insect pests, phytopathogenic fungi, and other agriculturally important organisms. The metabolites 1,8-cineole, thymol, carvacrol, eugenol, citral, and α -pinene—associated with insecticidal, antifungal, antimicrobial, and repellent activities—stood out among the main ones identified. Further methodological standardization and field studies are required to validate their commercial application, although the findings indicate considerable potential for their use as agricultural bioinputs. It is concluded that essential oils from medicinal plants offer a promising alternative for sustainable phytosanitary management, reducing the reliance on synthetic pesticides.

Keywords: Agroecology. Natural pesticides. Plant health.

2.1 Introdução

Reconhecidas por suas propriedades fitoterápicas, as plantas medicinais são empregadas em diversas culturas ao longo da história, principalmente no tratamento e na prevenção de doenças (Petrovska, 2012). Da mesma forma, os óleos essenciais, que podem ser extraídos de diferentes partes das plantas, são valorizados não apenas por suas fragrâncias, mas também por suas propriedades medicinais, como antimicrobianas, anti-

inflamatórias e analgésicas, amplamente estudadas na literatura científica (Nascimento *et al.*, 2007).

Diante disso, nos últimos anos, a pesquisa sobre o uso de plantas medicinais e óleos essenciais tem se intensificado, com diversos estudos evidenciando sua eficácia e segurança em diferentes contextos clínicos. A Política Nacional de Plantas Medicinais e Fitoterápicos, implementada no Brasil em 2006 pelo Decreto nº 5.813, reforça a importância do uso racional e seguro dessas substâncias, já que a utilização inadequada pode acarretar riscos à saúde, promovendo a integração do conhecimento tradicional com a ciência moderna (Brasil, 2006).

No âmbito agrícola, os extratos vegetais e óleos essenciais estão ganhando espaço, com o crescente aumento dos plantios agrícolas de forma sustentável. Desta forma, os óleos essenciais extraídos de plantas medicinais são uma ótima alternativa para o controle de pragas e fitopatógenos em culturas agrícolas (Isman; Miresmailli; Machial, 2011; Raveau; Fontaine; Sahraoui, 2020). Esses compostos naturais, os metabólitos secundários, reconhecidos por suas propriedades fitotécnicas, oferecem uma abordagem mais ecológica em comparação aos pesticidas sintéticos, alinhando-se com a crescente demanda por produtos orgânicos e sistemas de produção que minimizem os impactos ambientais (Nascimento *et al.*, 2007).

Nesse contexto, os óleos essenciais destacam-se como misturas complexas de compostos orgânicos voláteis, constituídas predominantemente por terpenos e seus derivados, especialmente monoterpenos, sesquiterpenos e seus derivados oxigenados, além de fenilpropanoides em menor proporção (Masyita *et al.*, 2022; Sadgrove *et al.*, 2021). Esses constituintes estão diretamente relacionados às características químicas e às diversas atividades biológicas atribuídas aos óleos essenciais (Masyita *et al.*, 2022).

Destacando os óleos essenciais que podem ser alternativas naturais no controle de pragas, exibindo efeitos biocidas e repelentes (Ayllón-Gutiérrez *et al.*, 2023).

Produzidos como metabólitos secundários por diversas plantas, os óleos essenciais são compostos por uma combinação de substâncias voláteis, conferindo-lhes características únicas que podem ser exploradas, além da fitoterapia, na agricultura (Bizzo; Hovell; Rezende, 2009; Edrias, 2017). Sua composição química diversificada é constituída principalmente por terpenos e terpenoides, com predominância de monoterpenos e presença de sesquiterpenos, cujos constituintes podem estar associados a diferentes atividades biológicas dos óleos essenciais (Masyita *et al.*, 2022). Isso torna essencial a realização de revisões sistemáticas que reúnam e analisem as evidências

disponíveis sobre o tema.

Diante desse cenário, esta revisão sistemática de literatura tem como objetivo reunir e discutir as principais publicações sobre o uso de plantas medicinais e seus óleos essenciais, focando em suas aplicações na área agrícola, com base em seleções dos últimos 25 anos. A análise das evidências disponíveis contribuirá para um melhor entendimento sobre o potencial dessas substâncias no controle de pragas e doenças em culturas.

2.2 Material e métodos

O processo de revisão sistemática deste trabalho foi realizado em três etapas principais: planejamento, execução e sumarização, seguindo o protocolo PRISMA de pesquisa estabelecido. A elaboração das perguntas e do protocolo foi resultado de discussões da equipe de pesquisa com base na estratégia PICO (Kitchenham; Charters; 2007), adaptada para este cenário: (a) População – plantas medicinais produtoras de óleos essenciais; (b) Intervenção – aplicações na agricultura para o controle de pragas e doenças; (c) Comparação – plantas com aplicação de óleos essenciais *versus* plantas sem aplicação (controle); e (d) Hipótese/Resultado – o uso de óleos essenciais promove o controle eficiente de pragas e doenças na agricultura através de seus compostos bioativos (terpenos e fenóis).

A coleta de dados foi gerenciada por meio da plataforma Parsifal (Kitchenham; Charters, 2007), utilizada para a centralização do protocolo de revisão e seleção dos estudos. As buscas foram realizadas nas bases de dados Scopus e Web of Science, utilizando a seguinte string de busca: “essential oil” AND “medicinal plant” AND (“pest control” OR “sustainable agricultur*”). Nas estratégias de busca, foram utilizados operadores booleanos (AND e OR) para combinar os termos e ampliar ou restringir os resultados, bem como o operador de truncamento (*), utilizado para recuperar diferentes terminações de uma mesma palavra. Assim, o uso de * após o radical “agricultur” permitiu recuperar termos como “agriculture” e “agricultural”. Os resultados obtidos foram exportados em formato *bib* e posteriormente importados para a plataforma Parsifal. Após a importação, foi realizada a identificação e remoção de registros duplicados (deduplicação), garantindo a integridade da base de dados para análise. Somente após essa etapa foram conduzidas as triagens dos estudos, seguindo os critérios de inclusão e exclusão previamente estabelecidos. Para a seleção inicial, aplicou-se a técnica de triagem

por leitura de título, resumo e palavras-chave. Na etapa final, os textos foram lidos na íntegra conforme os critérios de inclusão (artigos originais em inglês sobre aplicação agrícola) e exclusão (estudos de cunho apenas farmacêutico ou formatos como teses e revisões). A avaliação da qualidade dos estudos selecionados baseou-se no rigor metodológico e na concordância entre os procedimentos experimentais e os resultados apresentados.

A primeira avaliação desses estudos foi baseada na leitura dos títulos e resumos correspondentes, para reter apenas aqueles que lidavam especificamente com as palavras-chave definidas. Posteriormente, foi aplicado os critérios de inclusão/exclusão estabelecidos no protocolo (Quando 2.1); estudos apresentados na forma de resumos, teses, dissertações, capítulos de livros, cartas e editoriais foram removidos, e apenas artigos de pesquisa contendo estudos primários permaneceram.

Quando 2.1 Protocolo de pesquisa de revisão sistemática (continua...)

INFORMAÇÕES GERAIS	
Descrição	O uso de óleos essenciais de plantas medicinais no controle de pragas e doenças na agricultura. Realizada em bases de dados como Scopus e Web of Science, revela que esses óleos contêm compostos bioativos, que possuem propriedades antimicrobianas, antifúngicas e inseticidas. Embora ofereçam vantagens, como baixa toxicidade ambiental, desafios relacionados à volatilidade e custos de produção, ainda precisam ser superados.
Objetivos	Reunir e discutir os principais achados sobre o uso de plantas medicinais e seus óleos essenciais, focando em suas aplicações na área agrícola, com base em publicações dos últimos anos.
ASPECTOS DA PESQUISA	
Pergunta	Qual o potencial dos óleos essenciais das plantas medicinais?
População	Plantas medicinais produtoras de óleo essencial.
Intervenção	Agricultura.
Comparação	Plantas com e sem aplicação.
Hipótese	O uso de óleos essenciais promove o controle de pragas e doenças na agricultura.
Resultado esperado	A análise sistemática da literatura relacionada permitirá verificar a hipótese formulada em relação ao uso de óleos essenciais promovendo o controle de pragas e doenças na agricultura.
Tipo de estudos	Estudos primários na forma de artigos científicos.
Identificação de estudos	
Palavras-chave	Óleo essencial, planta medicinal, controle de pragas e doenças, agricultura.
String de busca	“essential oil” AND “medicinal plant” AND (“pest control” OR “sustainable agricultur*”)
Critérios de seleção de fontes para pesquisa	Editores/periódicos com revisão por pares e conselhos editoriais - Disponível na internet.
Estratégia de pesquisa on-line	-Scopus (https://www.scopus.com/) -Web of Science (http://www.webofscience.com)

Quando 2.1 Protocolo de pesquisa de revisão sistemática (conclusão)

Seleção e avaliação de estudos	
Critérios de inclusão e exclusão dos estudos	Inclusão: -Aplicação de óleo essencial na agricultura; -Artigo em inglês; -Artigo original; Exclusão: -Não alinhado com o objeto de estudo; -Resumo simples ou expandido, revisão, capítulo/livro, dissertação e tese; -Artigo que não tem experimentos com plantas; -Aplicação de óleo essencial como fitoterápico (medicinal, farmacêutico etc.); -Artigos em outras línguas.
Estratégia para a seleção inicial de estudos	Leitura detalhada de: -Título; -Resumo; -Palavras-chave;
Estratégia para a seleção final de estudos	-Leitura detalhada do texto completo do artigo; -Presença de todos os critérios de inclusão; -Ausência de todos os critérios de exclusão.
Avaliação da qualidade do estudo	Pesquisa online: -Critérios de qualidade com base no número de citações por ano). Estudos selecionados: -Critérios de inclusão e exclusão; -Julgamento subjetivo de concordância entre hipóteses, procedimentos experimentais, resultados e conclusões. -Espécie de origem do óleo essencial -Ano de publicação -País -Composto extraído -Contexto de aplicação -Cultura de interesse no controle -Observações relevantes
Síntese de dados e apresentação de resultados	
Estratégia de extração de dados	-O estudo descreve os principais compostos ativos das plantas? -O estudo avalia o potencial dos óleos essenciais no controle de pragas e fitopatógenos na agricultura? -A metodologia foi bem descrita a ponto de ser reproduzível? -Avaliou in vitro ou in vivo o uso de óleo essencial no controle de pragas e fitopatógenos?
Estratégia de sumarização de dados	Tabelas, gráficos, imagens, descrição no texto.
Estratégia de publicação	Revista científica com âmbito de ciências agrícolas,

Na Web of Science, foram identificadas 35 publicações (29 artigos, 3 artigos de anais e 3 artigos de revisão), enquanto na Scopus foram recuperados 135 documentos (106 artigos, 20 análises, 5 capítulos de livro, 1 carta, 1 editorial e 1 artigo de conferência). Todos os registros foram exportados para o software Parsifal, totalizando 127 artigos (98 da Scopus e 29 da WoS). Após a remoção automática de 16 duplicatas pela plataforma, permaneceram 111 artigos para a etapa de avaliação inicial (Fig. 2.1).

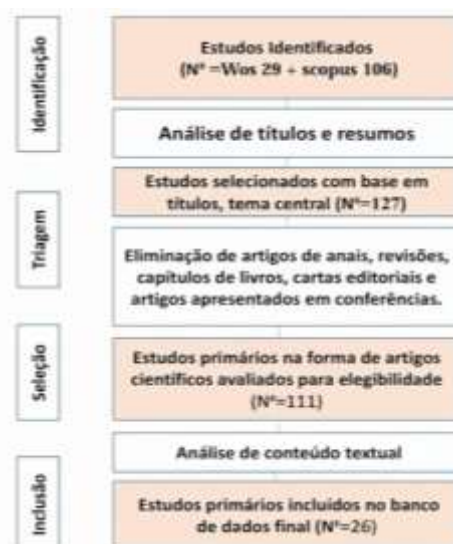


Figura 2.1 Diagrama de fluxo da estratégia de pesquisa, seleção de estudos e procedimento de gerenciamento de dados sobre o uso de óleos essenciais na agricultura

Fonte: Arquivo pessoal (2026).

2.3 Resultados e discussão

Observa-se uma expansão do interesse científico pelo tema dos óleos essenciais de plantas medicinais em diferentes países, evidenciada pelo aumento progressivo no número de artigos publicados nos últimos 25 anos (Fig. 2). A escolha de um recorte temporal de 25 anos permite compreender a evolução e a consolidação científica do uso de óleos essenciais na agricultura. Diferentemente de uma análise limitada aos últimos 5 anos, focada principalmente em inovações como a nanotecnologia, esse período mais amplo possibilita acompanhar desde as pesquisas iniciais com espécies botânicas até a definição de padrões de eficácia e segurança. Essa abordagem histórica ajuda a identificar compostos promissores já validados ao longo do tempo e evita a repetição de estratégias de pesquisa que se mostraram ineficazes.

Dos 26 artigos analisados, sete foram realizados no Brasil, cinco no Irã, cinco no Paquistão e três na Índia. Os demais estudos foram conduzidos em Marrocos, China, Costa do Marfim, Tunísia, Benim, Sérvia, Espanha, Turquia, Togo, Coreia do Sul, Estados Unidos e Egito. A maior concentração de estudos em países como Brasil, Irã, Paquistão e Índia pode estar relacionada à ampla diversidade de plantas medicinais e aromáticas presentes nesses territórios, favorecendo a prospecção e a investigação de óleos essenciais com potencial para aplicação agrícola. Além disso, esses países apresentam tradição no uso de recursos vegetais e crescente interesse na busca por alternativas ao manejo convencional de pragas e doenças agrícolas (Fig. 2.2).

A partir dos resultados, evidenciou-se a importância de discutir os diferentes usos das plantas medicinais, com destaque para o potencial dos óleos essenciais no biocontrole de pragas e doenças.

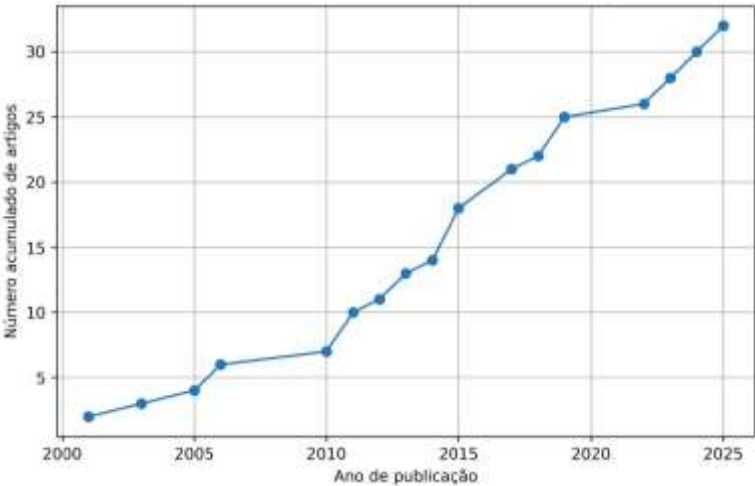


Figura 2.2 Crescimento das publicações científicas sobre plantas medicinais ao longo de 25 anos
 Fonte: Arquivo pessoal (2026).

Os resultados dos estudos, que compõem o corpo principal desta revisão, estão detalhados na Quadro 2.2, a qual apresenta a síntese das informações coletadas sobre as espécies vegetais, os compostos bioativos identificados e sua eficiência no controle na agricultura.

Quadro 2.2 Informações coletadas sobre as espécies vegetais, os compostos bioativos identificados e sua eficiência no controle na agricultura (continua...)

Artigo	Autor	Espécie de origem do óleo essencial	País	Praga-alvo	Composto extraído	Contexto de aplicação
Allelopathic Effects of Essential Oils from Zingiberaceae Species on Weed Growth	(HO et al., 2025)	<i>Hedychium coronarium</i>	Brasil	Germinação de sementes de alface	o β-pineno, o α-pineno e o β-cariofileno e o dos rizomas, o β-pineno, o 1,8-cineol e o α-pineno.	Controle de fitopatógenos
Antifungal activity of plant essential oils against gray mold (<i>Botrytis cinerea</i>) under In Vitro conditions	(DEHGHA NPOUR et al., 2025)	<i>Lavandula angustifolia</i> <i>Mill Mentha piperita</i> L. <i>Salvia officinalis</i> L. <i>Thymus Vulgaris</i> L. <i>Zataria multiflora</i> Boiss. <i>Salvia mirzayanii</i> Rech. f. <i>and Esfand Rosmarinus officinalis</i> L. <i>Foeniculum vulgare</i> Mill <i>Carum carvi</i> L <i>Cymbopogon citratus</i> (DC.) Stapf <i>Matricaria chamomilla</i> L. <i>Dianthus caryophyllus</i> L. <i>Cinnamomum verum</i> J.Presl	Irã	Mofo cinzento (<i>Botrytis cinerea</i>)	Cinamaldeído, Eugenol, Timol, Carvacrol, Citral (β-citral e geranial), Citronelal, Pulegona, 1,8-cineol, α-pineno, Acetato de bornila, Metileugenol, Miristicina.	Controle de fitopatogenos

Quadro 2.2 Informações coletadas sobre as espécies vegetais, os compostos bioativos identificados e sua eficiência no controle na agricultura (continua...)

Artigo	Autor	Espécie de origem do óleo essencial	País	Praga-alvo	Composto extraído	Contexto de aplicação
Biocontrol potential of essential oils from six Moroccan plants against the causal agent of Verticillium wilt of olives	(Azenzem; Koussa; Alfeddy, 2024)	<i>Hortelã-verde (Mentha spicata)</i> , <i>manjerona (Origanum majorana)</i> , <i>alecrim (Rosmarinus officinalis)</i> , <i>sálvia (Salvia officinalis)</i> e <i>tomilho (Thymus satureioides)</i>	Marrocos	Fungo <i>Verticillium dalias</i>	<i>Ammodaucus leucotrichus</i> : Perilla aldehyde <i>Mentha spicata</i> : Carvone <i>Origanum majorana</i> : Terpinen-4-ol <i>Rosmarinus officinalis</i> : 1,8-Cineole <i>Salvia officinalis</i> : α -Thujone <i>Thymus satureioides</i> : Thymol	Controle de fitopatogenos
Biocontrol of Rice Seed-Associated Fungal Pathogens Using Green Synthesis Approaches	(Kiani <i>et al.</i> , 2024)	<i>Cymbopogon citratus</i> , <i>Thymus vulgaris</i> e <i>Origanum vulgare</i>	Paquistão		Gênero <i>Aspergillus</i>	Controle de fitopatogenos
Toxicity effects of several medicinal plants essential oils on Angoumois grain moth (<i>Sitotroga cerealella</i>) female adults	(Ghoorchian; Rahmani; Weisany, 2023)	<i>Rosmarinus officinalis (Alecrim)</i> , <i>Thymus vulgaris (Tomilho)</i> , <i>Mentha piperita (Hortelã)</i>	Irã	Traça-dos-cereais (<i>Sitotroga cerealella</i>)	1,8-Cineol, Timol e Mentol.	Controle de pragas
Toxicology of diatomaceous earth, phyto oils and their admixed emulsions against adults of <i>Tribolium castaneum</i> (Herbst)	(Tanveer <i>et al.</i> , 2022)	<i>Eucalyptus globulus</i> (Eucalipto), <i>Ricinus communis</i> (Rícino) e <i>Brassica juncea</i> (Mostarda)	Paquistão	Besouro-castanho (<i>Tribolium castaneum</i>)	1,8-Cineol (Eucalipto) e Ácidos Graxos	Controle de pragas
Essential oil from <i>Artemisia annua</i> aerial parts: composition and repellent activity against two storage pests	(Liu <i>et al.</i> , 2021)	<i>Artemisia annua</i> L.	China	<i>Tribolium castaneum</i> (Besouro-castanho-das-farinhas) e <i>Lasioderma serricorne</i> (Besouro-do-fumo).	Artemísia cetona, cânfora e 1,8-cineol	Controle de pragas
Insecticidal activity of <i>Vanillosmopsis arborea</i> essential oil and of its major constituent α -bisabolol against <i>Callosobruchus maculatus</i> (Coleoptera: Chrysomelidae)	(Moura <i>et al.</i> , 2019)	<i>Vanillosmopsis arborea</i> Baker (Candeieiro)	Brasil	Caruncho-do-feijão-caupi (<i>Callosobruchus maculatus</i>)	α -bisabolol.	Controle de pragas
Insecticidal activity of the essential oil and polar extracts from <i>Ocimum gratissimum</i> grown in Ivory Coast: Efficacy on insect pests and vectors and impact on non-target species	(Benelli <i>et al.</i> , 2019)	<i>Ocimum gratissimum</i> L. (conhecido no Brasil como manjeriçã-cravo ou alfavaca)	Costa do Marfim (em colaboração com instituições da Bélgica e Itália)	Gorgulho-do-milho (<i>Sitophilus zeamais</i>) e Besouro-da-farinha (<i>Tribolium castaneum</i>).	Timol	Controle de pragas
Toxicity of Shirazi thyme, <i>Zataria multiflora</i> essential oil to the tomato leaf miner, <i>Tuta absoluta</i> (Lepidoptera: Gelechiidae)	(Chegini <i>et al.</i> , 2018)	<i>Zataria multiflora</i> Boiss. (Tomilho Shirazi)	Irã	Traça-do-tomateiro (<i>Tuta absoluta</i>)	Timol e Carvacrol	Controle de pragas
Sub-lethal effects of essential oil of <i>Lippia sidoides</i> on drywood termite <i>Cryptotermes brevis</i> (Blattodea: Termitoidea)	(Santos <i>et al.</i> , 2017)	<i>Lippia sidoides</i> Cham. (Alecrim-pimenta).	Brasil	Cupim-de-madeira-seca (<i>Cryptotermes brevis</i>)	Timol	Controle de pragas

Quadro 2.2 Informações coletadas sobre as espécies vegetais, os compostos bioativos identificados e sua eficiência no controle na agricultura (continua...)

Artigo	Autor	Espécie de origem do óleo essencial	País	Praga-alvo	Composto extraído	Contexto de aplicação
Acaricidal activity of <i>Derris floribunda</i> essential oil and its main constituent	(Amaral <i>et al.</i> , 2017)	<i>Derris floribunda</i>	Brasil	Ácaro mexicano <i>Tetranychus mexicanus</i>	Nerolidol	Controle de pragas
Efficacy of <i>Eucalyptus cinerea</i> as a Source of Bioactive Compounds for Curative Biocontrol of Crown Gall Caused by <i>Agrobacterium tumefaciens</i> Strain B6	(Kahla <i>et al.</i> , 2017)	<i>Eucalyptus cinerea</i>	Tunísia	Bactéria <i>Agrobacterium tumefaciens</i> (Cepa B6)	1,8-cineol (eucaliptol), -terpineol, -pineno e limoneno	Controle de fitopatogenos
Decreasing aphid damage by a botanical insecticide ferula assafoetida essential oil in pomegranate orchards in Iran	(Firoozi <i>et al.</i> , 2015)	<i>Ferula assafoetida</i> L.	Irã	<i>Aphis punicae</i> (Pulgão-da-romã)	(E)-1-propenil sec-butil dissulfeto, (Z)-1-propenil sec-butil dissulfeto, dissulfeto de metil 1-(metiltio)propila, -pineno e -pineno.	Controle de pragas
Antifeedant effect of essential oils of five indigenous medicinal plants against stored grain insect pests	(Akhtar <i>et al.</i> , 2015)	<i>Azadirachta indica</i> , <i>Melia azedarach</i> , <i>Colocynthis citrullus</i> , <i>Nicotiana tabacum</i> e <i>Eucalyptus camaldulensis</i>	Paquistão	<i>Tribolium castaneum</i> , <i>Rhyzopertha dominica</i> e <i>Trogoderma granarium</i>	cinamaldeído, cineol, cânfora,	Controle de pragas
Combination of gamma radiation and essential oils from medicinal plants in managing <i>Tribolium castaneum</i> contamination of stored products	(Ahmadi <i>et al.</i> , 2013)	<i>Rosmarinus officinalis</i> L.	Irã	O gorgulho-da-farinha-vermelho, <i>Tribolium castaneum</i> (Herbst)		Controle de pragas
Fumigant toxicity of the essential oils from medicinal plants against bean weevil, <i>Acanthoscelides obtectus</i> (Say) (Coleoptera: Bruchidae)	(Lee <i>et al.</i> , 2001)	<i>Satureja hortensis</i> , <i>Thymus serpyllum</i> e <i>Origanum vulgare</i> .	Sérvia	Caruncho-do-feijão (<i>Acanthoscelides obtectus</i>).	Carvacrol e Timol	Controle de pragas
Comparative chemistry and insect antifeedant action of traditional (Clevenger and Soxhlet) and supercritical extracts (CO ₂) of two cultivated wormwood (<i>Artemisia absinthium</i> L.) populations	(Martín <i>et al.</i> , 2011)	<i>Artemisia absinthium</i> L.	Espanha	Insetos-praga (<i>Spodoptera littoralis</i> , <i>Myzus persicae</i> e <i>Rhopalosiphum padi</i>)	Hidroxi-pelenolida, artemetina, casticina.	Controle de pragas
Acaricidal activity against <i>Tetranychus urticae</i> and essential oil composition of four croton species from caatinga biome in northeastern Brazil	(Neves; Câmara, 2011)	<i>Croton jacobinensis</i> , <i>C. rhamnifolius</i> , <i>C. muscicapa</i> e <i>C. micans</i> .	Brasil	<i>Tetranychus urticae</i> ácaro-rajado	Os principais compostos dos óleos essenciais foram (Z)-alfa-atlantona em <i>C. jacobinensis</i> , epóxido de alfa-cedreno em <i>C. rhamnifolius</i> , fenicolina em <i>C. muscicapa</i> e alfa-bulneseno em <i>C. micans</i> .	Controle de pragas
Toxic effects of essential plant oils in adult <i>Sitophilus oryzae</i> (Linnaeus) (Coleoptera, Curculionidae)	(Franz; Knaak; Fiuza, 2011)	<i>Eucalyptus globulus</i> (Eucalipto) e <i>Ocimum gratissimum</i> (Alfavaca-cravo/Cravo-da-índia)	Brasil	Gorgulho-do-arroz (<i>Sitophilus oryzae</i>)	1,8-Cineol e Eugenol	Controle de pragas

Quadro 2.2 Informações coletadas sobre as espécies vegetais, os compostos bioativos identificados e sua eficiência no controle na agricultura (conclusão)

Chemical compositions and insecticidal activities of the essential oils from several medicinal plants against the cotton whitefly, <i>Bemisia tabaci</i>	(Sertkaya; Kaya; Soylu, 2010).	Tomilho (<i>Thymbra spicata</i> subsp. <i>spicata</i>), alecrim (<i>Rosmarinus officinalis</i>), funcho (<i>Foeniculum vulgare</i>) e louro (<i>Laurus nobilis</i>),	Turquia	Mosca-branca-do-algodoeiro (<i>Bemisia tabaci</i> Gen.)	carvacrol, borneol, trans-anetol e 1,8-cineol	Controle de pragas
Comparative effects of <i>Cymbopogon schoenanthus</i> essential oil and piperitone on <i>Callosobruchus maculatus</i> development	(Kétoh <i>et al.</i> , 2006).	<i>Cymbopogon schoenanthus</i> ,	Togo	<i>Callosobruchus maculatus</i> F	Carene-2,	Controle de pragas
Control of fungus <i>Myrothecium verrucaria</i> by essential oils; Controle do fungo <i>Myrothecium verrucaria</i> por óleos essenciais	(Diniz <i>et al.</i> , 2003).	<i>Cymbopogon citratus</i> (Capim-limão), <i>Cymbopogon nardus</i> (Citronela) e <i>Cinnamomum zeylanicum</i> (Canela)	Brasil	Fungo fitopatogênico <i>Myrothecium verrucaria</i>	Citral, Geraniol e Eugenol	Controle de fitopatogenos
Insecticidal effects of essential oils against Hessian fly, <i>Mayetiola destructor</i> (Say)	(Lamiri <i>et al.</i> , 2001)	11 espécies, com destaque para <i>Syzygium aromaticum</i> (Cravo), <i>Mentha piperita</i> (Hortelã) e <i>Cymbopogon nardus</i> (Citronela).	Estados Unidos	Mosca-Hessiana (<i>Mayetiola destructor</i>)	Eugenol, Mentol e Citronelal	Controle de pragas
Essential Oil from <i>Curcuma Longa</i> Leaves: Using Nanotechnology to Make a Promising Eco-Friendly Bio-Based Pesticide from Medicinal Plant Waste	(Flexa-Ribeiro <i>et al.</i> , 2025)	<i>Curcuma longa</i> (Folhas de Cúrcuma/Açafrão-da-terra).	Egito	<i>Tribolium castaneum</i> (Besouro-castanho, praga de grãos armazenados)	1,8-cineol e terpinoleno	Controle de pragas
Altitudinal variability in chemical profile and pesticidal properties of <i>Zingiber roseum</i> (Roxb.) <i>Roscoe</i> extracts	(Mahawer <i>et al.</i> , 2023)	<i>Zingiber roseum</i> (Roxb.) <i>Roscoe</i> , “Gengibre Rosado”	Índia	Nematoide das galhas <i>Meloidogyne incognita</i>	Monoterpenoides, sesquiterpenoides, diterpenoides, esteróis, ácidos alifáticos e ésteres em quantidades significativas.	Controle de fitopatogenos

Fonte: Arquivo pessoal (2026).

A análise dos estudos incluídos nesta revisão sistemática evidencia a ampla aplicabilidade de óleos essenciais e seus compostos bioativos no manejo de pragas agrícolas e fitopatógenos.

Observa-se predominância de estudos voltados ao controle de pragas, incluindo insetos de grãos armazenados, pulgões, ácaros e lepidópteros, conforme relatado por Ghorchian, Rahmani e Weisany (2023), Tanveer *et al.* (2022), Liu *et al.* (2021), Moura *et al.* (2019) e Benelli *et al.* (2019). Paralelamente, verifica-se número expressivo de trabalhos direcionados ao controle de fitopatógenos, principalmente fungos, como *Botrytis cinerea*, *Verticillium dahliae* e *Myrothecium verrucaria*, conforme descrito por Dehghanpour *et al.* (2025), Azenzem, Koussa e Alfeddy (2024) e Diniz *et al.* (2003).

Dentre os compostos bioativos identificados, destaca-se o 1,8-cineol como o mais recorrente (Figura 3), sendo relatado em diversos estudos, como HO *et al.* (2025),

Dehghanpour *et al.* (2025), Tanveer *et al.* (2022), Liu *et al.* (2021), Kahla *et al.* (2017), Franz, Knaak e Fiuza (2011), Sertkaya, Kaya e Soylu (2010) e Flexa-Ribeiro *et al.* (2025). O 1,8-cineol é classificado como um monoterpene oxigenado e foi identificado em óleos essenciais de diferentes espécies vegetais, como *Eucalyptus* spp., *Rosmarinus officinalis* e *Artemisia annua*. Nos estudos apresentados no Quadro 2.2, sua presença está associada a óleos essenciais avaliados frente a diferentes organismos-alvo, incluindo insetos e fungos (Fig. 2.3).

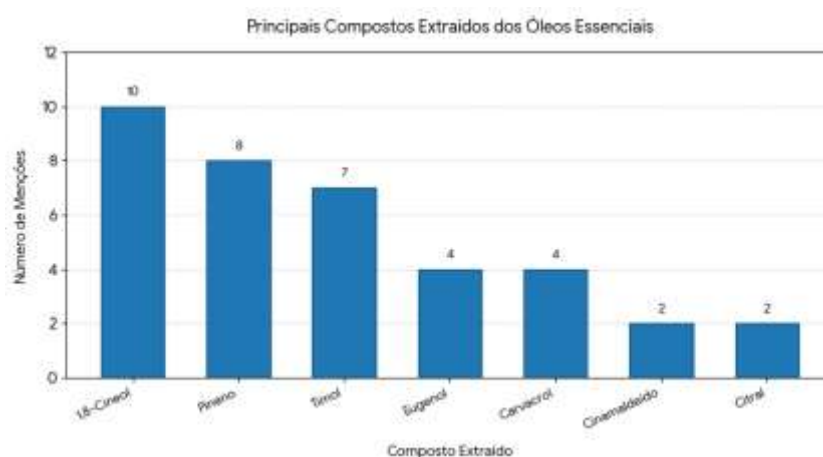


Figura 2.3 Frequência de aparecimento dos compostos químicos nos artigos por diferentes autores
Fonte: Arquivo pessoal (2026).

O timol também apresentou elevada frequência nos estudos analisados, sendo identificado em Dehghanpour *et al.* (2025), Azenzem, Koussa e Alfeddy (2024), Chegini *et al.* (2018), Santos *et al.* (2017) e Lee *et al.* (2001). Esse composto foi amplamente associado à atividade inseticida e antifúngica, atuando no controle de pragas como *Tuta absoluta*, *Sitophilus zeamais* e *Cryptotermes brevis*, além de patógenos fúngicos.

Os compostos fenólicos carvacrol e eugenol também foram frequentemente relatados. O carvacrol foi citado em estudos como Chegini *et al.* (2018), Lee *et al.* (2001) e Sertkaya, Kaya e Soylu (2010), enquanto o eugenol foi destacado por Dehghanpour *et al.* (2025), Diniz *et al.* (2003) e Franz, Knaak e Fiuza, (2011). Esses compostos são reconhecidos por sua elevada atividade antimicrobiana e inseticida, sendo considerados promissores para o desenvolvimento de bioinsumos.

Os monoterpenos α -pineno e β -pineno também apresentaram ocorrência relevante, conforme observado em HO *et al.* (2025), Firoozi *et al.* (2015) e Kahla *et al.* (2017), estando associados a efeitos alelopáticos, inseticidas e repelentes. Além disso, compostos como cinaldeído, cânfora, mentol, citral e citronelal foram relatados em

diferentes estudos, apresentando atividade biológica significativa, embora com menor frequência de citação.

Adicionalmente, observa-se que os óleos essenciais foram aplicados em diferentes contextos, incluindo testes *in vitro*, aplicações em grãos armazenados, campo e sistemas de cultivo, evidenciando sua versatilidade. Dehghanpour *et al.* (2025) e Azenzem, Koussa e Alfeddy (2024) destacam avaliações laboratoriais controladas, evidenciando o potencial de estratégias de controle biológico de *Meloidogyne enterolobii* em condições experimentais.

De modo geral, os resultados indicam que os óleos essenciais e seus compostos majoritários apresentam elevado potencial como agentes de controle biológico, podendo atuar como alternativas sustentáveis aos pesticidas sintéticos. Apesar do potencial dos óleos essenciais na proteção de plantas, sua elevada volatilidade, hidrofobicidade e baixa solubilidade em água podem limitar sua aplicação agrícola (Singh; Pulikkal, 2022). Estratégias de formulação, como emulsões e nanoemulsões, podem contribuir para melhorar sua dispersão e estabilidade.

2.4 Conclusões

A revisão sistemática evidenciou o potencial dos óleos essenciais de plantas medicinais como alternativas promissoras para o controle de pragas e fitopatógenos de interesse agrícola.

Os estudos analisados demonstraram diversidade quanto às espécies vegetais avaliadas, aos constituintes químicos identificados e aos organismos-alvo, indicando a possibilidade de diferentes aplicações dos óleos essenciais no manejo fitossanitário.

Entre os constituintes químicos identificados, destacaram-se o 1,8-cineol, o timol, o carvacrol e o eugenol, que apresentaram elevada frequência de ocorrência e foram associados a diferentes atividades biológicas nos estudos analisados.

A diversidade de constituintes pertencentes principalmente às classes dos monoterpenos, sesquiterpenos e fenilpropanoides evidencia a complexidade química dos óleos essenciais e seu potencial de ação sobre diferentes organismos-alvo.

Apesar dos resultados promissores observados nos estudos avaliados, ainda existem limitações relacionadas à volatilidade, estabilidade, solubilidade e à variabilidade da composição química dos óleos essenciais.

Além disso, a predominância de estudos conduzidos em condições laboratoriais

evidencia a necessidade de ampliar as pesquisas em condições de campo, bem como de aprimorar a padronização dos métodos de extração, caracterização química, concentração e aplicação.

Dessa forma, os óleos essenciais apresentam potencial para integrar estratégias de manejo fitossanitário mais sustentáveis, podendo contribuir para a diversificação dos métodos de controle e para a redução da dependência de pesticidas sintéticos.

Entretanto, a consolidação de sua utilização em escala agrícola depende da realização de estudos que confirmem sua eficiência, segurança e viabilidade de aplicação em condições de campo.

2.5 Referências

AHMADI, M.; ABD-ALLA, A. M. M.; MOHARRAMIPOUR, S. Combination of gamma radiation and essential oils from medicinal plants in managing *Tribolium castaneum* contamination of stored products. **Applied Radiation and Isotopes**, v.78, p.16-20, 2013. DOI: 10.1016/j.apradiso.2013.03.012. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2013.03.012> Acesso em: abr. 2026.

AKHTAR, Y. *et al.* Antifeedant effect of essential oils of five indigenous medicinal plants against stored grain insect pests. **Pakistan Journal of Zoology**, v.47, n.4, p.1045-1050, 2015. Disponível em: <https://psa.pastic.gov.pk/SearchArticleView.aspx?articleDetailId=35298> Acesso em: abr. 2026.

AMARAL, A. C. F. *et al.* Acaricidal activity of *Derris floribunda* essential oil and its main constituent. **Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine**, v.7, n.9, p.791-796, 2017. DOI: 10.1016/j.apjtb.2017.08.006. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2221169117308432> Acesso em: abr. 2026.

AYLLÓN-GUTIÉRREZ, R. *et al.* Evaluation of the stability of a 1,8-cineole nanoemulsion and its fumigant toxicity effect against the pests *Tetranychus urticae*, *Rhopalosiphum maidis* and *Bemisia tabaci*. **Insects**, v.14, n.7, p.663, 2023. Doi: <https://doi.org/10.3390/insects14070663> Disponível em: <https://www.mdpi.com/2075-4450/14/7/663> Acesso em: 10 jul. 2026.

AZENZEM, R.; KOUSSA, T.; ALFEDDY, M. N. Biocontrol potential of essential oils from six Moroccan plants against the causal agent of *Verticillium wilt* of olives. **Journal of Natural Pesticide Research**, v.9, n.100020, 2024. DOI: 10.1016/j.napere.2024.100085 Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2773078624000207?via%3Dihub> Acesso em: 0 jul. 2026.

BENELLI, G. *et al.* Insecticidal activity of the essential oil and polar extracts from *Ocimum gratissimum* grown in Ivory Coast: Efficacy on insect pests and vectors and impact on non-target species. **Industrial Crops and Products**, v.132, p.377-385, 2019.

Disponível em: AHMADI, M.; ABD-ALLA, A. M. M.; MOHARRAMIPOUR, S.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0926669019301487> Acesso em:
3 mar. 2026.

BIZZO, H. R.; HOVELL, A. M. C.; REZENDE, C. M. Óleos essenciais no Brasil: aspectos gerais, desenvolvimento e perspectivas. **Química Nova**, v.32, n.3, p.588-594, 2009. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422009000300005> Disponível em:
<https://www.scielo.br/j/qn/a/QwJBsdNzGmZSq4jKmhWVDnJ/?lang=pt> Acesso em: 3 mar. 2026.

BRASIL. Ministério da Saúde. Decreto nº 5.813, de 22 de junho de 2006. Aprova a Política Nacional de Plantas Medicinais e Fitoterápicos e dá outras providências. Brasília, DF: Presidência da República, 2006. **DOU de 23.6.2006**. Disponível em:
https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2006/decreto/d5813.htm Acesso em: 3 mar. 2026.

CHEGINI, S. G. *et al.* Toxicity of Shirazi thyme, *Zataria multiflora* essential oil to the tomato leaf miner, *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae). *International Journal of Tropical Insect Science*, v.38, n.4, p.340-347, 2018. DOI:
<https://doi.org/10.1017/S1742758418000097> Disponível em:
<https://link.springer.com/article/10.1017/S1742758418000097> Acesso em: 20 abr. 2026.

DEHGHANPOUR, M. *et al.* Antifungal activity of plant essential oils against gray mold (*Botrytis cinerea*) under in vitro conditions. **Current Research in Environmental & Applied Mycology (Journal of Fungal Biology)**, v.15, n.1, p.77-97, 2025. <https://doi.org/10.5943/cream/15/1/6> Disponível em:
https://creamjournal.org/pdf/CREAM_15_1_6-1.pdf Acesso em: 19 abr. 2026.

DINIZ, K. A. *et al.* Controle do fungo *Myrothecium verrucaria* por óleos essenciais. **Revista Brasileira de Plantas Medicinais**, Botucatu, v.6, n.1, p.60-62, 2003. Disponível em:
https://www.sbpmed.org.br/admin/files/papers/file_gRGNXbW22gF5.pdf Acesso em: 25 abr. 2026.

FIROOZI, M. S. *et al.* Decreasing aphid damage by a botanical insecticide *Ferula assafoetida* essential oil in pomegranate orchards in Iran. **Acta Horticulturae**, v.1089, p.179-181, 2015. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2015.1089.21> Disponível em:
https://www.actahort.org/books/1089/1089_21.htm Acesso em: 15 abr. 2026.

FLEXA-RIBEIRO, B. *et al.* Essential oil from *Curcuma longa* leaves: using nanotechnology to make a promising eco-friendly bio-based pesticide from medicinal plant waste. **Molecules**, v.30, n.5, p.1023, 2025. <https://doi.org/10.3390/molecules30051023> Disponível em:
<https://www.mdpi.com/1420-3049/30/5/1023> Acesso em: 5 maio 2026.

FRANZ, A. R.; KNAACK, N.; FIUZA, L. M. Toxic effects of essential plant oils in adult *Sitophilus oryzae* (Linnaeus) (Coleoptera, Curculionidae). **Revista Brasileira de Entomologia**, v.55, n.1, p.116-120, 2011. Disponível em:
<https://www.scielo.br/j/rbent/a/Hz67NmpX4LmLNTVnpDwgw7j/?format=pdf&lang=en> Acesso em: 24 mar. 2026.

GHOORCHIAN, M.; RAHMANI, S.; WEISANY, W. Toxicity effects of several medicinal plants essential oils on Angoumois grain moth (*Sitotroga cerealella*) female adults. **Journal of Plant Diseases and Protection**, v.130, p.1263-1271, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1007/s41348-023-00792-y> Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s41348-023-00792-y> Acesso em: 24 mar. 2026.

HO, T. L. *et al.* Allelopathic effects of essential oils from *Zingiberaceae* Species on weed growth. **Tropical Journal of Natural Product Research**, v.9, n.4, p.1457-1463, 2025. <https://doi.org/10.26538/tjnpr/v9i4.11> Disponível em: <https://www.tjnpr.org/index.php/home/article/view/6173> Acesso em: 24 mar. 2026

ISMAN, M. B.; MIRESMAILLI, S.; MACHIAL, C. Commercial opportunities for pesticides based on plant essential oils in agriculture. **Phytochemistry Reviews**, v.10, n.2, p.197-204, 2011. <https://doi.org/10.1007/s11101-010-9170-4> Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11101-010-9170-4> Acesso em: 24 mar. 2026.

KAHLA, Y. *et al.* Efficacy of *Eucalyptus cinerea* as a source of bioactive compounds for curative biocontrol of crown gall caused by *Agrobacterium tumefaciens* strain B6. **Biomed Research International**, v.2017, n.9308063, 2017. <https://doi.org/10.1155/2017/9308063> Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1155/2017/9308063> Acesso em: 24 mar. 2026.

KÉTOH, G. K. *et al.* Comparative effects of *Cymbopogon schoenanthus* essential oil and piperitone on *Callosobruchus maculatus* development. **Fitoterapia**, v.77, n.7-8, p.506-510, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.fitote.2006.05.031> Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0367326X06001572?via%3DiHub> Acesso em: 24 mar. 2026.

KIANI, B. H. *et al.* Biocontrol of rice seed-associated fungal pathogens using green synthesis approaches. **Foodborne Pathogens and Disease**, v.21, n.3, 183-193, 2024. <https://doi.org/10.1089/fpd.2023.0083> Disponível em: <https://journals.sagepub.com/doi/10.1089/fpd.2023.0083> Acesso em: 13 jul. 2026.

KITCHENHAM, B. A.; CHARTERS, S. M. **Guidelines for performing systematic literature reviews in software engineering - version 2.3**. Keele: Keele University, 2007. (EBSE Technical Report EBSE-2007-01). Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/302924724_Guidelines_for_performing_Systematic_Literature_Reviews_in_Software_Engineering Acesso em: 26 jul. 2026.

LAMIRI, A. *et al.* Insecticidal effects of essential oils against Hessian fly, *Mayetiola destructor* (Say). **Field Crops Research**, v.71, n.1, p.9-15, 2001. DOI: 10.1016/S0378-4290(01)00139-3 Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378429001001393> Acesso em: 1 jun. 2026

LEE, S.-E. *et al.* Fumigant toxicity of volatile natural products from Korean spices and medicinal plants towards the rice weevil, *Sitophilus oryzae* (L.). **Pest Management Science**, v.57, n.6, p.548-553, 2001. Disponível em:

<https://scijournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/ps.322> Acesso em: 14 jul. 2026.
LIU, H. *et al.* Essential oil from *Artemisia annua* aerial parts: composition and repellent activity against two storage pests. **Natural Product Research**, v.35, n.5, p.822-825, 2021. <https://doi.org/10.1080/14786419.2019.1599887> Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30961365/> Acesso em: 25 mar. 2026.

MAHAWER, S. K. *et al.* Altitudinal variability in chemical profile and pesticidal properties of *Zingiber roseum* (Roxb.) Roscoe extracts. **Biochemical Systematics and Ecology**, v.110, n.104708, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.bse.2023.104708> Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0305197823001254?via%3Dihub> Acesso em: 4 jul. 2026.

MARTÍN, L. *et al.* Comparative chemistry and insect antifeedant action of traditional (Clevenger and Soxhlet) and supercritical extracts (CO₂) of two cultivated wormwood (*Artemisia absinthium* L.) populations. **Industrial Crops and Products**, v.34, n.1, p.1015-1021, 2011. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/257371923_Comparative_chemistry_and_insect_antifeedant_action_of_traditional_Clevenger_and_Soxhlet_and_supercritical_extract_s_CO2_of_two_cultivated_wormwood_Artemisia_absinthium_L_populations Acesso em: 23 mar. 2026.

MASYITA, A. *et al.* Terpenes and terpenoids as main bioactive compounds of essential oils, their roles in human health and potential application as natural food preservatives. **Food Chemistry: X**, v.13, n.100217, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2022.100217> Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2590157522000153> Acesso em: 23 mar. 2026.

MOURA, E. da S. *et al.* Insecticidal activity of *Vanillosmopsis arborea* essential oil and of its major constituent α -bisabolol against *Callosobruchus maculatus* (Coleoptera: Chrysomelidae). **Scientific Reports**, v.9, n1, p.3723, 2019, doi: <https://doi.org/10.1038/s41598-019-40148-x> Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41598-019-40148-x> Acesso em: 22 mar. 2026.

NASCIMENTO, P. F. C. *et al.* Atividade antimicrobiana dos óleos essenciais: uma abordagem multifatorial dos métodos. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v.17, n.1, p.108-113, 2007. <https://doi.org/10.1590/S0102-695X2007000100020> Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbfar/a/pjSFydVRNTHtVw48qPPmZQN/?lang=pt>. Acesso em: 15 jul. 2026.

NEVES, I. de A.; CÂMARA, C. A. G. da. Acaricidal activity against *Tetranychus urticae* and essential oil composition of four *Croton* species from caatinga biome in northeastern Brazil. **Natural Product Communications**, v.6, n.6, p.893-899, 2011. <https://doi.org/10.1177/1934578X1100600633> Disponível em: <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/1934578X1100600633> Acesso em: 22 mar. 2026.

PETROVSKA, B. B. Historical review of medicinal plants' usage. **Pharmacognosy Reviews**, v.6, n.11, p.1-5, 2012. <https://doi.org/10.4103/0973-7847.95849> Disponível

em: <https://www.phcogrev.com/PharmacognRev-6-11-1> Acesso em: 26 maio 2026.
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.3, p.365, 2020. <https://doi.org/10.3390/foods9030365> Disponível em: <https://www.mdpi.com/2304-8158/9/3/365> Acesso em: 23 mar. 2026.

SADGROVE, N. J. *et al.* Pharmacology of natural volatiles and essential oils in food, therapy, and disease prophylaxis. **Frontiers in Pharmacology**, v.12, n.740302, 2021. <https://doi.org/10.3389/fphar.2021.740302> Disponível em: <https://www.frontiersin.org/journals/pharmacology/articles/10.3389/fphar.2021.740302/full> Acesso em: 23 mar. 2026.

SANTOS, A. A. *et al.* Sub-lethal effects of essential oil of *Lippia sidoides* on drywood termite *Cryptotermes brevis* (Blattodea: Termitoidea). **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 145, p. 436-441, 2017. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2017.07.057. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0147651317304682> Acesso em: 23 mar. 2026.

SERTKAYA, E.; KAYA, K.; SOYLU, S. Chemical compositions and insecticidal activities of the essential oils from several medicinal plants against the cotton whitefly, *Bemisia tabaci*. **Asian Journal of Chemistry**, v.22, n.4, p.2982-2990, 2010. Disponível em: <https://asianpubs.org/index.php/ajchem/article/view/11505> Acesso em: 3 maio 2026.

SINGH, I. R.; PULIKKAL, A. K. Preparation, stability and biological activity of essential oil-based nano emulsions: A comprehensive review. *OpenNano*, v. 8, p. 100066, nov./dez. 2022. DOI: 10.1016/j.onano.2022.100066. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.onano.2022.100066>. Acesso em: 23 set. 2026.

TANVEER, A. *et al.* Toxicology of diatomaceous earth, phyto oils and their admixed emulsions against adults of *Tribolium castaneum* (Herbst). **Toxicology Reports**, v.9, p.1172-1179, 2022. DOI: 10.1016/j.toxrep.2022.05.011. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214750022001238> Acesso em: 27 maio 2026.

3 CAPÍTULO II

Inoculação de bactérias promotoras de crescimento em *Cymbopogon citratus* e produção de óleo essencial

(Normas de acordo com a Revista Pesquisa Agropecuária Tropical – PAT)

Resumo: As bactérias promotoras de crescimento de plantas representam uma alternativa sustentável para aumentar a produtividade agrícola e reduzir o uso de insumos químicos. Este estudo objetivou avaliar os efeitos da inoculação de diferentes bactérias promotoras de crescimento sobre o desenvolvimento vegetativo, o rendimento e a composição química do óleo essencial de *Cymbopogon citratus*, bem como verificar a atividade antagonista do óleo essencial frente aos fungos *Fusarium* sp. e *Bipolaris* spp. O experimento foi conduzido em delineamento em blocos casualizados, com tratamentos compostos por *Priestia aryabhattai*, *Bacillus subtilis*, *Bacillus pumilus*, *Bacillus amyloliquefaciens*, um consórcio bacteriano e um tratamento controle. Foram avaliadas características biométricas das plantas, produção de biomassa, rendimento de óleo essencial, composição química por cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas e atividade antifúngica *in vitro*. A inoculação com as bactérias não apresentou diferenças estatisticamente significativas no desenvolvimento, rendimento e composição do óleo essencial de *C. citratus*. O crescimento da cultura foi influenciado principalmente pelo período de cultivo, com aumento no número de perfilhos, número de folhas e acúmulo de biomassa. O óleo essencial apresentou estabilidade na composição química entre os tratamentos, mantendo o citral como principal constituinte. Além disso, apresentou elevada atividade antifúngica, promovendo inibição total do crescimento micelial de *Fusarium* sp. e

Bipolaris sp. Os resultados evidenciam o potencial do óleo essencial de *C. citratus* para o manejo sustentável de fitopatógenos agrícolas.

Palavras-chave: Antagonismo, bioinsumos, capim-santo.

3 CHAPTER II

Inoculation with plant growth-promoting bacteria on *Cymbopogon citratus* and its effect on essential oil production

(Guidelines in accordance with the Journal Pesquisa Agropecuária Tropical – TAP)

Abstract: Plant growth-promoting bacteria represent a sustainable alternative to increase agricultural productivity and reduce the use of chemical inputs. This paper evaluates the impact of plant growth-promoting bacteria on the vegetative development, yield, and essential oil composition of *Cymbopogon citratus*. It also examines the oil's antagonistic activity against *Fusarium* sp. and *Bipolaris* spp. This experiment was carried out in a randomized block design with treatments consisting of *Priestia aryabhattai*, *Bacillus subtilis*, *Bacillus pumilus*, *Bacillus amyloliquefaciens*, a bacterial consortium, and a control. This study evaluated the biometric characteristics, biomass production, essential oil yield, chemical composition, and *in vitro* antifungal activity of the plants, utilizing gas chromatography-mass spectrometry for chemical method. Inoculation with the bacteria showed no statistically significant differences in the development, yield, and composition of *C. citratus* essential oil. The cultivation period had a major influence on crop growth, as reflected by increases in tiller number, leaf count, and biomass accumulation. The essential oil showed a stable chemical profile across treatments, consistently maintaining citral as the major constituent. Furthermore, it showed high antifungal activity, promoting total inhibition of the mycelial growth of *Fusarium* sp. and *Bipolaris* sp. The results highlight the potential of *C. citratus* essential oil for the sustainable management of agricultural phytopathogens.

Keywords: antagonismo, bioinputs, lemongrass.

3.1 Introdução

O capim-limão (*Cymbopogon citratus*) (D.C) Stapf. é uma planta perene de porte alto, originária da Índia, onde há mais de dois mil anos vem sendo utilizada para fins medicinais. O capim-limão, também conhecido popularmente como capim-santo e capim-cidreira, é cultivado em ambiente não protegido em praticamente todos os países tropicais (Pinto *et al.* 2014).

Entre as espécies do gênero, o capim-limão destaca-se pela produção de óleo essencial em suas folhas, caracterizado por elevada concentração de citral, aldeído responsável pelo aroma característico da planta (Guimarães *et al.* 2008). Esse óleo, conhecido comercialmente como *lemongrass*, possui grande importância econômica, sendo amplamente utilizado nas indústrias química, farmacêutica, alimentícia e cosmética (Lemos *et al.* 2013). Sua composição química, com teor de citral variando entre 70 e 80%, confere ampla aplicabilidade, especialmente na produção de fragrâncias, aromatizantes e compostos industriais de interesse (de Jesus *et al.* 2021).

No escopo agrônomo, a composição química do óleo essencial pode variar ao longo do desenvolvimento vegetal, em função de fatores como idade da planta e período de colheita (Barbosa *et al.*, 2008). Sendo influenciada por fatores genéticos e abióticos, como disponibilidade hídrica, incidência de luz, temperatura e localização geográfica (Miranda 2012). Dessa forma, variações nessas condições podem alterar significativamente tanto o rendimento quanto a qualidade do óleo essencial produzido.

Nesse contexto, destaca-se o uso de insumos biológicos à base de microrganismos benéficos do solo, especialmente as bactérias promotoras de crescimento de plantas, como uma alternativa promissora para a agricultura sustentável (Kaushal & Wani 2016; Porto *et al.* 2022).

Esses microrganismos atuam por diferentes mecanismos, contribuindo para o desenvolvimento vegetal por meio da melhoria da nutrição mineral, incluindo a solubilização de fósforo e outros nutrientes essenciais, além da produção de substâncias que estimulam o

crescimento das plantas (Porto *et al.* 2022). Também podem promover proteção contra estresses bióticos e abióticos, favorecendo o equilíbrio do sistema solo-planta e aumentando a eficiência produtiva das culturas.

Além da promoção de crescimento, diferentes espécies bacterianas têm sido associadas ao controle de fitopatógenos e à indução de mecanismos de defesa nas plantas, podendo influenciar tanto o desenvolvimento vegetal quanto a produção de metabólitos secundários (Abreu *et al.* 2022, Swarnalakshmi *et al.* 2020). Dessa forma, a interação entre plantas e microrganismos pode representar uma estratégia importante para otimizar a produção de compostos de interesse, como os óleos essenciais.

Apesar do reconhecido potencial do capim-limão e dos avanços no uso de microrganismos na agricultura, ainda são escassos os estudos que avaliem de forma integrada a influência de bactérias promotoras de crescimento sobre o desenvolvimento da planta, bem como sobre o rendimento e a composição química do óleo essencial produzido (Dias *et al.* 2021, Vidal & Dias 2023). Essa lacuna evidencia a necessidade de investigações que considerem simultaneamente aspectos agrônômicos e bioquímicos da cultura.

Assim, considerando a importância das plantas medicinais como fonte de recursos terapêuticos e econômicos, torna-se fundamental o desenvolvimento de técnicas de manejo que possibilitem potencializar a produção vegetal e otimizar a extração de óleo essencial. Avaliar o efeito da inoculação de diferentes bactérias promotoras de crescimento no desenvolvimento vegetal de capim-limão (*Cymbopogon citratus*), bem como no rendimento, na composição química e na atividade antifúngica do óleo essencial produzido.

3.2 Material e métodos

O experimento foi realizado na área experimental do Instituto Federal Goiano – Campus Ceres (latitude S 15° 21'12.7", longitude W 49° 36'18.7" e altitude de 564 m), no município de Ceres, GO, Brasil. O clima na região é Aw, de acordo com a classificação de

Köppen-Geiger, caracterizado como tropical úmido, com estação chuvosa no verão e seca no inverno (Cardoso *et al.* 2014).

Para o preenchimento dos vasos, foi realizada a coleta de solo de barranco em uma área pertencente ao Instituto Federal Goiano – Campus Ceres. O material coletado foi peneirado e homogeneizado, sendo posteriormente encaminhada uma alíquota de 500 g ao Laboratório de Análise de Solos da instituição para caracterização física e química e determinação da fertilidade. O solo apresentou classe textural predominantemente argilosa, com teores de 651 g kg⁻¹ de argila, 253 g kg⁻¹ de areia e 96 g kg⁻¹ de silte. O pH em água foi de 5,7 e o teor de matéria orgânica de 7,5 g dm⁻³. Os teores de Ca, Mg, Al e K foram de 2,1; 1,6; 0,08 e 0,19 cmolc dm⁻³, respectivamente, enquanto H + Al e a capacidade de troca catiônica total foram de 2,8 e 6,6 cmolc dm⁻³. Os teores disponíveis de K e P foram de 75,1 e 6,2 mg dm⁻³, respectivamente, com saturação por bases de 57,78% e saturação por alumínio de 2,04%.

Com base nos parâmetros analíticos obtidos, procedeu-se à correção da acidez e à adubação de plantio, visando elevar a saturação por bases para 61% para o cultivo do capim-limão (*Cymbopogon citratus*). Para duas toneladas de solo, foram incorporados 4,2 kg de calcário, 1,0 kg de superfosfato simples (SFS), 140 g da formulação NPK 20-0-20 e 175 g de FTE BR-12.

As embalagens consistiram em sacos plásticos com dimensões de 35 × 35 cm e espessura de 200 micras, preenchidos com 9 kg de substrato. Foram confeccionados quatro canteiros com 1,0 m de largura. A irrigação foi realizada por meio de sistema de gotejamento, utilizando um gotejador autocompensante por vaso, com vazão nominal de 2 L h⁻¹, suspenso por arame e posicionado a 0,50 m acima da superfície do solo dos recipientes. As irrigações foram realizadas até duas vezes ao dia, conforme as condições observadas durante o período experimental.

Para a implantação do experimento, foram utilizados perfilhos de capim-limão

padronizados, com aproximadamente 11 cm de comprimento. Cada perfilho foi transplantado individualmente para um vaso, de modo que cada vaso continha apenas uma planta.

O experimento teve início em outubro de 2025 e término em fevereiro de 2026. Foi conduzido em delineamento em blocos casualizados (DBC), em esquema fatorial de 6×3 , com quatro repetições. Cada tratamento foi constituído por nove embalagens contendo uma planta cada. Os fatores avaliados foram seis tratamentos de inoculação: (T1) *Priestia aryabhatai*; (T2) *Bacillus subtilis*; (T3) *Bacillus amyloliquefaciens*; (T4) *Bacillus pumilus*; (T5) consórcio das quatro bactérias; e (T6) tratamento controle, no qual foi aplicada água estéril, e três épocas de avaliação, realizadas aos 60, 90 e 120 dias após o plantio (DAP). As avaliações conduzidas aos 60 e 90 DAP consistiram em análises destrutivas das plantas, destinadas à determinação das variáveis biométricas. A avaliação realizada aos 120 DAP foi destinada à colheita do material vegetal para a extração e quantificação do óleo essencial.

As cepas bacterianas utilizadas foram oriundas de produtos comerciais: *P. aryabhatai* CCT 7986 (BioHidric, $1,0 \times 10^8$ unidades formadoras de colônia (UFC) mL^{-1}), *B. subtilis* UFV S1 (Bio Raiz Pro, $1,0 \times 10^8$ UFC mL^{-1}), *B. amyloliquefaciens* CCT 7994 (SoluStrong, $1,0 \times 10^8$ UFC mL^{-1}) e *B. pumilus* S2907 (SoluShield, $1,0 \times 10^8$ UFC mL^{-1}), provenientes da empresa SoluBio, Jataí, GO, Brasil. As bactérias foram cultivadas no Laboratório de Interações Microbianas e Biotecnologia (LIMBio) do Instituto Federal Goiano – Campus Ceres. As cepas comerciais foram inicialmente submetidas ao processo de purificação e mantidas sob armazenamento em freezer a $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Bhattacharyya & Jha 2012).

Para a multiplicação, realizou-se o estriamento em placas contendo ágar nutriente, com incubação por 24 horas a $28\text{ }^{\circ}\text{C}$. Posteriormente, as colônias isoladas foram transferidas para caldo nutriente, permanecendo em incubação por mais 24 horas. Após esse período, a densidade celular foi ajustada por meio de leitura em espectrofotômetro UV-Visível, conforme metodologia descrita por Diaz *et al.* (2021).

Em seguida, foi preparada uma suspensão bacteriana na concentração de $1,0 \times 10^8$ UFC mL⁻¹, aplicada ao solo via *drenching*, na dose de 20 mL dm⁻³. A reinoculação foi realizada a cada 30 dias durante quatro meses, totalizando cinco aplicações ao longo do experimento.

Em cada época de avaliação, foram utilizadas três plantas por tratamento para análise destrutiva. Aos 60 e 90 DAP, foram determinadas a massa fresca da folha (MFF), massa fresca do caule (MFC), massa fresca da raiz (MFR), massa seca da folha (MSF), massa seca do caule (MSC) e massa seca da raiz (MSR). Também foram avaliadas a altura das plantas (cm), o número de perfilhos e o número de folhas.

Após 120 dias de cultivo, o material vegetal foi colhido no período da manhã, por volta das 6h. Foram coletadas folhas jovens, cortadas a uma altura de 30 cm do solo. As plantas foram coletadas por blocos, totalizando 12 plantas por dia, até a conclusão da coleta das 72 plantas.

Após a preparação do material vegetal, os óleos essenciais foram obtidos por hidrodestilação em aparelho de Clevenger, durante aproximadamente duas horas, conforme metodologia descrita na Farmacopeia Brasileira (Anvisa 2019). Foram utilizadas 100 g de folhas, cortadas e trituradas em fragmentos menores, submetidas à hidrodestilação em água destilada em aparelho com capacidade para 500 mL. O óleo foi retirado com auxílio de uma pipeta Pasteur, acondicionado em frascos de vidro envoltos em papel alumínio e armazenado em freezer (-20 °C) até a realização da cromatografia. O rendimento em base fresca (% m/m) foi calculado empregando-se a relação entre a massa de óleo essencial recuperada e a massa de material vegetal utilizada.

A etapa de preparo das amostras foi realizada no Laboratório de Ciências Farmacêuticas da Universidade Evangélica de Goiás – UniEVANGÉLICA, Campus Anápolis. A caracterização química dos óleos essenciais foi realizada por cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas (CG-EM), utilizando cromatógrafo a gás equipado com coluna capilar HP-5MS (30 m × 0,25 mm × 0,25 µm), utilizando hélio como gás de arraste sob fluxo

constante de 1,0 mL min⁻¹. O programa de temperatura do forno cromatográfico foi iniciado em 60 °C, mantido por dois minutos, seguido de aquecimento de 3 °C min⁻¹ até 240 °C, posteriormente com aumento de 10 °C min⁻¹ até 280 °C, permanecendo nessa temperatura por 10 minutos. A ionização foi realizada por impacto eletrônico (70 eV).

A identificação dos constituintes químicos foi realizada por comparação dos espectros de massas obtidos com aqueles disponíveis em bibliotecas espectrais e literatura especializada. Os índices de retenção (Retention Index – RI) foram calculados por meio da coinjeção de uma mistura de hidrocarbonetos lineares (C8–C32) e aplicação da equação proposta por van den Dool e Kratz (1963). A confirmação dos compostos foi realizada por comparação dos espectros de massas e índices de retenção descritos para compostos voláteis de óleos essenciais conforme metodologia descrita por Adams (2017). Adicionalmente, foram considerados critérios como presença do íon molecular, padrão de fragmentação característico e índice de similaridade superior a 90% nas bibliotecas espectrais.

Foram utilizados como organismos-teste fungos dos gêneros *Fusarium* e *Bipolaris*, oriundos do estoque do Laboratório de Interações Microbianas e Biotecnologia (LIMBio) do Instituto Federal Goiano – Campus Ceres. A avaliação foi realizada por meio de ensaio bioanalítico *in vitro*, com o objetivo de observar a inibição dos microrganismos pelo óleo essencial. O meio de cultura empregado foi BDA (Batata-Dextrose-Ágar), esterilizado em autoclave por 20 minutos a 120 °C. Após o resfriamento, o óleo essencial de capim-limão foi incorporado diretamente ao meio, em condições assépticas sob fluxo laminar. Para cada placa de Petri contendo 25 mL de meio, foram adicionados 200 µL de óleo essencial.

Posteriormente, o meio contendo o óleo foi vertido em placas de Petri de 9 cm de diâmetro. O inóculo consistiu em discos de micélio com 8 mm de diâmetro, retirados de culturas ativas dos fungos e depositados no centro das placas. As placas foram incubadas em câmara do tipo BOD, à temperatura de 25 °C e fotoperíodo de 12 h, durante sete dias. Após esse período,

o crescimento micelial foi avaliado pela medição do diâmetro das colônias em dois sentidos ortogonais, utilizando como referência a placa controle, na qual os fungos foram cultivados em meio BDA sem adição de óleo essencial. O experimento foi realizado em delineamento inteiramente casualizado, com três repetições. Ao final, foi determinada a taxa de inibição do crescimento micelial em função dos tratamentos avaliados (Silva *et al.* 2012).

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) para identificar diferenças significativas entre os tratamentos. Para comparações múltiplas, foi utilizado o teste de Tukey, com nível de significância de 5% ($\alpha = 0,05$). Além disso, análises de regressão linear foram realizadas para explorar relações entre as variáveis bacterianas e o rendimento de óleo essencial. As análises estatísticas foram realizadas utilizando o software R, versão 4.5.1 (R Core Team 2025).

3.3 Resultados e discussão

A análise de variância demonstrou que houve efeito estatístico significativo das épocas de avaliação sobre a maioria das variáveis biométricas e produtivas do capim-limão (Tabela 3.1). Foram observadas diferenças significativas para número de perfilhos, número de folhas, massa fresca das folhas, massa fresca do caule, massa fresca da raiz, massa seca das folhas, massa seca do caule e massa seca da raiz. Entretanto, não houve diferença significativa para a altura das plantas. Da mesma forma, os tratamentos com bactérias promotoras de crescimento vegetal não apresentaram efeito significativo sobre as variáveis avaliadas, assim como não foi observada interação significativa entre bactérias e épocas de avaliação.

Tabela 3.1 Resumo da análise de variância das características vegetativas e produtivas do capim-limão submetido à aplicação de bactérias promotoras de crescimento vegetal em diferentes épocas de avaliação, em Ceres, GO, 2026 (continua)

FV	G L	Alt	Nperf	Nfolh as	Mff	Mfc	Mfr	Msf	Msc	Msr
Dias	1	0,47 ns	907,1 **	121,1* *	1572* *	109,8 **	184,9 **	20,65 **	49,94 **	34,33 **

Tabela 3.1 Resumo da análise de variância das características vegetativas e produtivas

do capim-limão submetido à aplicação de bactérias promotoras de crescimento vegetal em diferentes épocas de avaliação, em Ceres, GO, 2026 (conclusão)

FV	G L	Alt	Nperf	Nfolh as	Mff	Mfc	Mfr	Msf	Msc	Msr
Bloco	3	5,47 _{ns}	36,31 _{ns}	3,63 _{ns}	388,9 _{ns}	2,83 _{ns}	3,92 _{ns}	0,22 _{ns}	0,77 _{ns}	0,99 _{ns}
Erro1	3	0,87	8,66	1,49	70,12	0,71	2,34	0,06	0,34	0,39
Bac	5	1,2 _{ns}	7,08 _{ns}	0,41 _{ns}	99,46 _{ns}	0,84 _{ns}	1,09 _{ns}	0,05 _{ns}	0,21 _{ns}	0,24 _{ns}
Bac*Dias	5	1,74 _{ns}	5,44 _{ns}	0,84 _{ns}	50,29 _{ns}	0,39 _{ns}	0,77 _{ns}	0,04 _{ns}	0,11 _{ns}	0,08 _{ns}
Erro2	30	1,88	24,19	2,53	314,6	2,48	1,79	0,26	0,88	0,38
CV 1 (%)	-	5,91	26,32	15,82	15,21	9,04	19,75	5,83	10,87	13,86

FV: fonte de variação; GL: grau de liberdade; Alt: altura média de planta (cm); Nperf: número médio de perfilhos por planta (adm.); Nfolhas: número médio de folhas por planta (adm.); Mff: massa fresca de folhas (g); Mfc: massa fresca do caule (g); Mfr: massa fresca da raiz (g); Msf: massa seca das folhas (g); Msc: massa seca do caule (g); Msr: massa seca da raiz (g); Dias: dias passados desde o transplante até a avaliação; Erro1: erro da parcela; Bac: bactérias testadas; Bac*Dias: análise da interação bactéria x dias; Erro2: erro da sub-parcela; CV: coeficiente de variação (%);_{ns}: não significativo pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; ** e *: significativo pelo teste de Tukey a 1% (p<0,01) e 5% (p<0,05) de probabilidade, respectivamente.

Os resultados evidenciam que o desenvolvimento vegetativo do capim-limão foi mais influenciado pelo período de cultivo do que pela inoculação bacteriana. Segundo Segundo Tshikhudo, Ntushelo e Mudau (2023), as plantas medicinais e herbáceas podem apresentar respostas fisiológicas e bioquímicas distintas à interação com bactérias endofíticas, com efeitos relacionados às características da planta e às interações estabelecidas entre microrganismo e hospedeiro.

De acordo com os dados apresentados na Tabela 3.2, houve incremento significativo no número de perfilhos e folhas entre as épocas avaliadas. O número médio de perfilhos aumentou de 6,83 aos 60 dias para 15,53 aos 90 dias, enquanto o número de folhas passou de 6,14 para 9,32 folhas por planta. Esses resultados indicam maior capacidade de expansão vegetativa da cultura ao longo do ciclo.

Considerando que as folhas representam a principal fonte para extração de óleo essencial, o aumento no número de folhas sugere maior potencial produtivo da cultura, podendo refletir em maiores rendimentos de biomassa foliar e, consequentemente, de óleo essencial. Além disso, o aumento no perfilhamento pode contribuir para maior emissão de folhas e maior área fotossintética, favorecendo o acúmulo de biomassa e a produção de metabólitos secundários, como os compostos presentes no óleo essencial.

Tabela 3.2 Características vegetativas e produtivas do capim-limão submetido à aplicação de bactérias promotoras de crescimento vegetal em diferentes épocas de avaliação, em Ceres, GO, 2026

Dias	Nperf	Nfolhas	Mff	Mfc	Mfr	Msf	Msc	Msr
60	6,83b	6,14b	36,95b	7,82b	5,79b	3,61b	4,32b	3,64b
90	15,53 ^a	9,32 ^a	73,14a	10,85a	9,71a	4,92 ^a	6,36a	5,33 ^a

Dias: dias passados desde o transplante até a avaliação; Nperf: número médio de perfilhos por planta (adm.); Nfolhas: número médio de folhas por planta (adm.); Mff: massa fresca de folhas (g); Mfc: massa fresca do caule (g); Mfr: massa fresca da raiz (g); Msf: massa seca das folhas (g); Msc: massa seca do caule (g); Msr: massa seca da raiz (g); Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

As variáveis relacionadas à biomassa também apresentaram incrementos significativos entre os períodos avaliados. A massa fresca das folhas aumentou de 36,95 g aos 60 dias para 73,14 g aos 90 dias, demonstrando aumento superior a 90%. Esse resultado é positivo para a cultura, pois indica maior acúmulo de biomassa foliar ao longo do ciclo. Considerando que as folhas constituem a principal matéria-prima para a extração de óleo essencial, o aumento da massa fresca sugere maior potencial de produção e rendimento de óleo essencial. Resultados semelhantes foram observados por Orozco-Mosqueda, Santoyo e Glick (2023), os quais destacam que o desenvolvimento radicular e o maior aproveitamento nutricional favorecem diretamente o crescimento da parte aérea em plantas submetidas a manejo microbiológico.

Embora as bactérias promotoras de crescimento vegetal apresentem potencial para estimular o desenvolvimento das plantas, não foram observadas diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos inoculados e o controle. Esse resultado sugere que, nas

condições em que o experimento foi realizado, a inoculação não promoveu aumento expressivos nas variáveis avaliadas, possivelmente em razão das condições edafoclimáticas, da interação planta-microrganismo ou da elevada disponibilidade de nutrientes no sistema de cultivo.

Resultados semelhantes foram obtidos por Diaz *et al.* (2021), trabalhando com inoculação bacteriana em mudas de cafeeiro, onde os autores verificaram ausência de efeito significativo para algumas características biométricas, demonstrando que a resposta à inoculação pode variar conforme a espécie vegetal e as condições experimentais.

Na avaliação do rendimento do óleo essencial, não houve efeito significativo da inoculação bacteriana sobre a produção de óleo do capim-limão. O coeficiente de variação de 18,82% demonstra variabilidade moderada entre as unidades experimentais, sendo considerado aceitável para experimentos envolvendo produção de óleo essencial em plantas medicinais.

Segundo Tshikhudo, Ntushelo e Mudau (2023), microrganismos benéficos podem atuar de forma indireta no metabolismo secundário das plantas medicinais, promovendo alterações qualitativas na composição química dos óleos essenciais, mesmo quando não ocorre aumento significativo no rendimento total produzido.

Os resultados obtidos demonstram que o capim-limão apresentou aumento no crescimento vegetativo ao longo do ciclo de cultivo, caracterizado pelo aumento do perfilhamento, da emissão de folhas e do acúmulo de biomassa, fatores que favorecem a produção de matéria-prima para a extração de óleo essencial, independentemente da inoculação bacteriana.

A composição química do óleo essencial de *Cymbopogon citratus* submetido à inoculação com bactérias promotoras de crescimento está apresentada na Tabela 3.3. De forma geral, os resultados indicam um perfil químico altamente estável entre os tratamentos, com predominância expressiva de monoterpenos oxigenados, especialmente compostos associados

ao citral.

Os principais constituintes identificados foram o geranial e o neral, que juntos formam o citral (Fig. 3), reconhecido como marcador químico característico da espécie. Esse padrão está em total concordância com a literatura recente, que demonstra que o óleo essencial de *C. citratus* é dominado por citral (geranial + neral), frequentemente representando entre 60% e 90% da composição total do óleo (Arafa *et al.* 2026, Lahyaoui *et al.* 2025, Sari *et al.* 2025). No presente estudo, o geranial variou de 47,56% a 50,85%, enquanto o neral variou de 32,96% a 36,22% (Tabela 3.3), confirmando a manutenção do perfil citralífero típico da espécie.

Tabela 3.3 Composição química dos principais constituintes do óleo essencial de

Cymbopogon citratus submetido à inoculação com bactérias promotoras de crescimento vegetal, em Ceres, GO. 2026

Tratamentos	Myrcene (%)	(Z)-Isocitral (%)	(E)-Isocitral (%)	Neral (%)	Geraniol (%)	Geranial (%)
BA	8,60 a	0,39 a	0,78 a	32,96 a	3,97 a	47,56 a
BS	10,03 a	0,51 a	0,66 a	35,22 a	4,71 a	48,72 a
BP	8,13 a	0,35 a	0,85 a	35,19 a	4,49 a	50,85 a
PA	8,27 a	0,52 a	0,95 a	36,22 a	4,20 a	49,82 a
MIX	8,90 a	0,54 a	0,71 a	35,47 a	3,93 a	50,27 a
Controle	8,77 a	0,27 a	0,79 a	35,41 a	5,35 a	49,39 a
CV (%)	14,32	63,14	35,99	5,32	17,86	6,58

Valores expressos em porcentagem relativa (%). Médias seguidas da mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste estatístico aplicado ($p \leq 0,05$).

O geraniol, precursor direto do citral, variou entre 3,93% e 5,35%, com maior resultado observado no tratamento controle. Esse comportamento também foi observado em estudos recentes com interação planta–microrganismo, nos quais a inoculação promove alterações sutis na distribuição de intermediários metabólicos sem comprometer o perfil final do óleo essencial (Cruz R. *et al.* 2024).

Os compostos intermediários (Z)-isocitral e (E)-isocitral foram detectados em concentrações inferiores a 1% em todos os tratamentos (Tabela 3.3), evidenciando seu caráter transitório na via biossintética do citral. Já o mirceno variou de 8,13% a 10,03%, sem padrão

consistente entre os tratamentos, sugerindo estabilidade na etapa inicial da biossíntese de monoterpenos.

Esses achados estão de acordo com a literatura recente, que destaca que interações planta–microrganismo tendem a modular quantitativamente o metabolismo secundário sem comprometer a estabilidade dos principais compostos bioativos (Arafa *et al.* 2026, Cruz R. *et al.* 2024, Sari *et al.* 2025). Assim, o capim-limão mantém seu perfil químico característico mesmo sob diferentes condições de inoculação, o que é relevante do ponto de vista agrônômico e industrial.

Para o teste de antagonismo do óleo essencial contra os fungos *Fusarium* sp. e *Bipolaris* sp., verificou-se inibição total do crescimento micelial (100%) em todos os tratamentos contendo óleo essencial de *C. citratus*.

Resultados semelhantes foram reportados por Barbosa *et al.* (2026), que observaram inibição superior a 95% para o mesmo patógeno, utilizando óleo essencial na concentração de 1% (v/v).

Essa maior eficiência antifúngica pode estar associada a variações na composição química do óleo essencial, como uma maior densidade de compostos majoritários ativos. Além disso, fatores como a composição química do óleo essencial, origem da planta, método de extração e variabilidade dos isolados fúngicos também podem influenciar diretamente a atividade antifúngica observada.

Esses resultados demonstram elevada eficácia antifúngica do óleo essencial de capim-limão nas condições experimentais adotadas, indicando forte potencial na supressão desses fitopatógenos. A atividade inibitória observada pode estar associada à presença de compostos majoritários, como citral (geranial e neral), amplamente descritos na literatura por sua ação sobre a integridade da membrana celular fúngica e interferência em processos metabólicos essenciais.

Dessa forma, a inibição total verificada neste trabalho reforça o potencial do óleo essencial de capim-limão como agente antifúngico altamente eficaz, podendo representar uma alternativa promissora no manejo de fitopatógenos, especialmente quando comparado a estudos que relatam inibição parcial do crescimento micelial.

Para os agricultores, o emprego do óleo essencial de capim-limão pode representar uma estratégia complementar no manejo integrado de doenças, contribuindo para a redução da dependência de produtos químicos convencionais e favorecendo sistemas de produção mais sustentáveis. Entretanto, apesar dos resultados promissores obtidos em condições experimentais, ainda são necessários estudos em campo que permitam definir concentrações adequadas, formas de aplicação e a viabilidade técnica e econômica dessa tecnologia em diferentes sistemas de cultivo.

3.4 Conclusões

A inoculação com bactérias promotoras de crescimento vegetal (*Priestia aryabhatai*, *Bacillus subtilis*, *Bacillus pumilus* e *Bacillus amyloliquefaciens*), isoladas ou em consórcio, não promoveu efeitos significativos no crescimento vegetativo, na produção de biomassa e no rendimento do óleo essencial de *Cymbopogon citratus*.

O crescimento da cultura foi influenciado principalmente pelo período de cultivo, evidenciando aumento no número de perfilhos, número de folhas e acúmulo de biomassa ao longo do ciclo experimental.

A inoculação bacteriana também não alterou significativamente a composição química do óleo essencial, que apresentou elevada estabilidade entre os tratamentos, mantendo o citral (geranial + neral) como principal constituinte químico.

Os ensaios de antagonismo entre as bactérias demonstraram ausência de incompatibilidade significativa entre os isolados avaliados, indicando potencial de utilização conjunta em futuros estudos.

Além disso, o óleo essencial de capim-limão apresentou elevada atividade antifúngica, promovendo inibição total do crescimento micelial de *Fusarium* sp. e *Bipolaris* sp., evidenciando seu potencial como agente inibidor do crescimento micelial natural e alternativa promissora para o manejo sustentável de fitopatógenos de importância agrícola.

Por fim, recomenda-se a realização de estudos adicionais em condições de campo, envolvendo diferentes doses, formas de aplicação e condições ambientais, a fim de ampliar o conhecimento sobre a interação entre bactérias promotoras de crescimento vegetal e *C. citratus*, bem como avaliar a viabilidade agronômica e econômica do uso do óleo essencial no manejo integrado de doenças.

3.5 Referências

- ABREU, L. P. S. *et al.* Alternativa sustentável de uso da *Bacillus amyloliquefaciens* no biocontrole de fungos fitopatogênicos: uma revisão. *Revista de Ciências Ambientais, Canoas*, v.16, n.1, p.1-15, 2022. 2. DOI: <https://doi.org/10.18316/rca.v16i1.8339> Disponível em: <https://revistas.unilasalle.edu.br/index.php/Rbca/article/view/8339> Acesso em: 3 jul. 2026.
- ADAMS, R. P. *Identification of essential oil components by gas chromatography/mass spectrometry*. 4.1.ed. Waco: Baylor University, 2017.
- ARAF, A. M. *et al.* Chemical profile, anti-biofilm and antioxidant activities of *Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf essential oil. *BMC Complementary Medicine and Therapies*, v.26, n.215, 2026. URL Springer supplied by user. <https://doi.org/10.1186/s12906-026-05431-1> Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/407179418_Chemical_profile_anti-biofilm_and_antioxidant_activities_of_Cymbopogon_citratus_DC_Stapf_essential_oil Acesso em: 3 ago. 2026.
- BARBOSA, K. D. *et al.* Óleos essenciais como alternativa no controle in vitro de *Fusarium* spp. *Revista DELOS*, v.19, n.78, p.e9011, 2026. <https://doi.org/10.55905/rdelosv19.n78-106>

396 Disponível em: <https://ojs.revistadelos.com/ojs/index.php/delos/article/view/9011> Acesso em:

397 3 ago. 2026.

398 DIAZ, P. A. E. *et al.* Aspergillus spp. and Bacillus spp. as Growth Promoters in Cotton Plants

399 Under Greenhouse Conditions. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, v. 5, 2021. DOI:

400 <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.709267>. Disponível em:

401 [https://www.frontiersin.org/journals/sustainable-food-](https://www.frontiersin.org/journals/sustainable-food-systems/articles/10.3389/fsufs.2021.709267/full)

402 [systems/articles/10.3389/fsufs.2021.709267/full](https://www.frontiersin.org/journals/sustainable-food-systems/articles/10.3389/fsufs.2021.709267/full). Acesso em: 3 ago. 2026.

403 BHATTACHARYYA, P. N.; JHA, D. K. Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR):

404 emergence in agriculture. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, v.28, n.4,

405 p.1327-1350, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11274-011-0979-9> Disponível em:

406 <https://link.springer.com/article/10.1007/s11274-011-0979-9> Acesso em: 3 ago. 2026

407 AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (ANVISA). *Farmacopeia*

408 *Brasileira*. v. 1, 6. ed. Brasília, DF: ANVISA, 2019. Disponível em:

409 <https://bibliotecadigital.anvisa.gov.br/jspui/handle/anvisa/140>. Acesso em: 3 ago. 2026.

410 BARBOSA, L. C. A. *et al.* Evaluation of the chemical composition of Brazilian commercial

411 *Cymbopogon citratus* (D.C.) Stapf samples. *Molecules*, v. 13, n. 8, p. 1864-1874, 2008. DOI:

412 <https://doi.org/10.3390/molecules13081864>. Disponível em:

413 <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18758707/>. Acesso em: 4 ago. 2026.

414 CARDOSO, M. R. D.; MARCUZZO, F. F. N.; BARROS, J. R. Classificação climática de

415 Köppen-Geiger para o estado de Goiás e o Distrito Federal. **Acta Geográfica**, v.8, n.16, p.40-

416 55, 2014. Disponível em:

417 [https://www.researchgate.net/publication/273457588](https://www.researchgate.net/publication/273457588_CLASSIFICACAO_CLIMATICA_DE_KOPPEN-GEIGER_PARA_O_ESTADO_DE_GOIAS_E_O_DISTRITO_FEDERAL_CLIMATIC_CLASSIFICATION_OF_KOPPEN-GEIGER_FOR_GOIAS_STATE_AND_THE_FEDERAL_DISTRICT) CLASSIFICACAO CLIMATICA DE

418 KOPPEN-

419 GEIGER PARA O ESTADO DE GOIAS E O DISTRITO FEDERAL CLIMATIC CL

420 ASSIFICATION OF KOPPEN-

[GEIGER FOR THE STATE OF GOIAS AND THE FEDERAL DISTRICT CLASSIFI](#)
[CATION CLIMATIQUE](#) Acesso em: 4 ago. 2026

CRUZ, R. M. S. *et al.* Growth and phytochemical responses of *Cymbopogon citratus* inoculated with plant growth-promoting bacteria. *Plants*, v.13, n.7, p.944, 2024. URL MDPI supplied. <https://doi.org/10.3390/plants13070944> Disponível em: <https://www.mdpi.com/2223-7747/13/7/944> Acesso em: 4 ago. 2026.

DIAS, G. L. da S. *et al.* Influência de bactérias promotoras de crescimento na produção de mudas de cafeeiro. *Anais da Jornada Científica e Tecnológica do IFSULDEMINAS*, v. 15, n. 1, 2023. Disponível em: <https://josif.ifsuldeminas.edu.br/ojs/index.php/anais/article/view/1372>. Acesso em: 3 ago. 2026.

de JESUS, J. G. *et al.* Elaboração de fórmulas farmacêuticas de uso tópico utilizando óleo essencial extraído do capim limão. *Revista Brasileira de Desenvolvimento*, v.7, n.3, p.21800-21815, 2021. URL supplied. DOI: <https://doi.org/10.34117/bjdv7n3-068> Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/25699> Acesso em: 3 ago. 2026

DIAS, P. P. *et al.* Atividade fungitóxica in vitro do óleo essencial de capim limão (*Cymbopogon citratus* (D.C.) Stapf) e controle de *Rhizoctonia solani* em plantas de alface (*Lactuca sativa* L.), cultivar maravilha quatro estações. *Summa Phytopathologica*, v.47, n.4, p.204-208, 2021. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/sp/a/Nz6vcrKTYNVr7j8mMmYL3hz/?format=pdf&lang=pt> Acesso em: 3 ago. 2026

444 GUIMARÃES, L. G. L. *et al.* Influência da luz e da temperatura sobre a oxidação do óleo
 445 essencial de capim-limão (*Cymbopogon citratus* (D.C.) STAPF). *Química Nova*, v.31, n.6,
 446 p.1476-1480, 2008. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-40422008000600037>
 447 Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/DLX5hbHSj4k9bszxsZgGdk/?lang=pt>
 448 Acesso em: 6 jul. 2026.

449 KAUSHAL, M.; WANI, S. P. Plant-growth-promoting rhizobacteria: drought stress
 450 alleviators to ameliorate crop production in drylands. *Annals of Microbiology*, v.66, n.1, p.
 451 35-42, 2016. 6. Disponível em:
 452 https://pt.scribd.com/document/1017790409/s13213-015-1112-3#google_vignette
 453 Acesso em: 25 jul.2026.

454 LAHYAOUI, M. *et al.* Phytochemical diversity and biological activities of *Cymbopogon*
 455 *citratus* essential oil under environmental variation. *Biochemical Systematics and Ecology*,
 456 v.122, n.105046, 2025. Disponível em:
 457 <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S030519782500095X> Acesso em: 18
 458 jul. 2026.

459 LEMOS, G. C. S. *et al.* Controle de plantas invasoras em cultivo orgânico e convencional de
 460 capim–limão (*Cymbopogon citratus* (DC) Stapf.). *Revista Brasileira de Plantas Medicinai*s,
 461 v.15, n.3, p.405-414, 2013. Disponível em:
 462 <https://www.scielo.br/j/rbpm/a/pbRvLHfnNFsd3jckXwJfvxn/?lang=pt&format=pdf>
 463 Acesso em: 17 jul. 2026.

464 MIRANDA, V. C. *Influência de condições de secagem, sombreamento, horário de colheita e*
 465 *procedência das plantas sobre o teor de óleo essencial de Cymbopogon citratus (d.c) stapf.*
 466 2012. 53f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Federal do
 467 Tocantins, Gurupi, 2012. Disponível em: [https://docs.uft.edu.br/share/proxy/alfresco-](https://docs.uft.edu.br/share/proxy/alfresco-noauth/api/internal/shared/node/xIJvFGqAQbK9WDv9VeAFTg/content/Influ%C3%Aancia)
 468 [noauth/api/internal/shared/node/xIJvFGqAQbK9WDv9VeAFTg/content/Influ%C3%Aancia](https://docs.uft.edu.br/share/proxy/alfresco-noauth/api/internal/shared/node/xIJvFGqAQbK9WDv9VeAFTg/content/Influ%C3%Aancia)

469 [%20de%20condi%C3%A7%C3%B5es%20de%20secagem,%20sombreamento,%20hor%C3](#)
 470 [%A1rio%20de%20colheita%20e%20proced%C3%Aancia%20das%20plantas%20sobre%20](#)
 471 [o%20teor%20de%20%C3%B3leo%20essencial%20de%20cymbopogon_Valdilene%20Couti](#)
 472 [nho%20Miranda_2012%20\(Dissert\)](#) Acesso em: 2 ago. 2026.

473 OROZCO-MOSQUEDA, M. del C.; SANTOYO, G.; GLICK, B. R. Recent advances in the
 474 bacterial phytohormone modulation of plant growth. *Plants*, v.12, n.3, p.606, 2023.
 475 <https://doi.org/10.3390/plants12030606> Disponível em: [https://www.mdpi.com/2223-](https://www.mdpi.com/2223-7747/12/3/606)
 476 [7747/12/3/606](https://www.mdpi.com/2223-7747/12/3/606) Acesso em: 05 ago. 2026.

477 SILVA, A. C. da et al. Effectiveness of essential oils in the treatment of *Colletotrichum*
 478 *truncatum*-infected soybean seeds. *Tropical Plant Pathology*, v. 37, n. 5, p. 305-313, 2012.
 479 DOI: 10.1590/S1982-56762012000500001. Disponível em:
 480 <https://www.scielo.br/j/tpp/a/K5Rrzg8kHYfrCLb5CvTDvG/?lang=en>. Acesso em: 3 ago.
 481 2026.

482 PINTO, D. A. et al. Produtividade e qualidade do óleo essencial de capim-limão,
 483 *Cymbopogon citratus*, DC., submetido a diferentes lâminas de irrigação. *Revista Brasileira de*
 484 *Plantas Medicinais*, v.16, n.1, p.54-61, 2014. Disponível em: Doi:
 485 <https://doi.org/10.1590/S1516-05722014000100008> Disponível em:
 486 [https://www.scielo.br/j/rbpm/a/yXNNBNvks3r6rSNZtNxVP4d/?format=html&lang=pt](https://www.scielo.br/j/rbpm/a/yXNNBNvks3r6rSNZtNxVP4d/?format=html&lang=pt&ilang=pt_BR)
 487 [&ilang=pt_BR](https://www.scielo.br/j/rbpm/a/yXNNBNvks3r6rSNZtNxVP4d/?format=html&lang=pt&ilang=pt_BR) Acesso em: 5 jul. 2026.

488 PORTO, E. M. V. et al. Microrganismos promotores de crescimento de plantas como
 489 mitigadores do estresse hídrico em pastagens: uma revisão narrativa. *Research, Society and*
 490 *Development*, v.11, n.11, p.e514111134029, 2022. DOI:
 491 <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i11.34029> Disponível em:
 492 <https://rsdjournal.org/rsd/article/view/34029> Acesso em: 22 jul. 2026.

493 R CORE TEAM. *R: A language and environment for statistical computing*. Vienna, Austria:
 494 R Foundation for Statistical Computing, 2025. Disponível em: <https://www.r-project.org/>.
 495 Acesso em: 3 ago. 2026.

496 SARI, I. *et al.* Comprehensive UHPLC–MS/MS and GC–MS metabolite profiling and anti-
 497 inflammatory effect of the ethanol extract and essential oil of *Cymbopogon citratus* (DC.)
 498 Staph grown in Aceh, Indonesia. *Chemistry & Biodiversity*, v. 22, n. 11, e00668, 2025. DOI:
 499 10.1002/cbdv.202500668. Disponível em:
 500 <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/cbdv.202500668>. Acesso em: 3 ago. 2026.

501 SWARNALAKSHMI, K. *et al.* Significance of plant growth-promoting rhizobacteria in grain
 502 legumes: growth promotion and crop production. *Plants*, v. 9, n. 11, e1596, 2020. DOI:
 503 <https://doi.org/10.3390/plants9111596>. Disponível em:
 504 <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33213067/>. Acesso em: 4 ago. 2026.

505 TSHIKHUDO, P. P.; NTUSHELO, K.; MUDAU, F. N. Sustainable applications of
 506 endophytic bacteria and their physiological/biochemical roles on medicinal and herbal plants:
 507 review. *Microorganisms*, v. 11, n. 2, p. 453, 2023. DOI: 10.3390/microorganisms11020453.
 508 Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9967847/>. Acesso em: 3 ago. 2026.

509 VAN DEN DOOL, H.; KRATZ, P. D. A generalization of the retention index system
 510 including linear temperature programmed gas-liquid partition chromatography. *Journal of*
 511 *Chromatography A*, v. 11, p. 463-471, 1963. DOI: 10.1016/S0021-9673(01)80947-X.
 512 Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/14062605/>. Acesso em: 3 ago. 2026.

513 VIDAL, M. C.; DIAS, R. P. Bioinsumos a partir das contribuições da agroecologia. *Revista*
 514 *Brasileira de Agroecologia*, v.18, n.1, p.171-192, 2023.
 515 <https://doi.org/10.33240/rba.v18i1.23735> Disponível em:
 516 [https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1151844/1/Vidal-e-Dias.-](https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1151844/1/Vidal-e-Dias.-Bioinsumos-a-partir-das-construicoes-da-agroecologia.-RBA.pdf)
 517 [Bioinsumos-a-partir-das-construicoes-da-agroecologia.-RBA.pdf](https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1151844/1/Vidal-e-Dias.-Bioinsumos-a-partir-das-construicoes-da-agroecologia.-RBA.pdf) Acesso em: 24 out. 2024.