



**CAMILA FERREIRA DE REZENDE**

**ÓLEO ESSENCIAL DE COPAÍBA: EFICIENTE NO CONTROLE DO NEMATOIDE  
DE GALHAS *Meloidogyne javanica***

**MORRINHOS – GO  
FEVEREIRO, 2025**

**CAMILA FERREIRA DE REZENDE**

**ÓLEO ESSENCIAL DE COPAÍBA: EFICIENTE NO CONTROLE DO NEMATOIDE  
DE GALHAS *Meloidogyne javanica***

Trabalho de curso apresentado ao curso de Agronomia do Instituto Federal Goiano – Campus Morrinhos, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Agronomia, sob orientação do Prof. Dr. Rodrigo Vieira da Silva.

**MORRINHOS – GO  
2025**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**  
**Sistema Integrado de Bibliotecas – SIBI/IF Goiano Campus Morrinhos**

R467o Rezende, Camila Ferreira de.

Óleo essencial de copaíba: eficiente no controle do nematoide de galhas *Meloidogyne javanica*. / Camila Ferreira de Rezende. – Morrinhos, GO: IF Goiano, 2025.

32 f. : il. color.

Orientador: Dr. Rodrigo Vieira da Silva.

Coorientadora: Ma. Gabriela Araujo Martins.

Trabalho de conclusão de curso (graduação) – Instituto Federal Goiano Campus Morrinhos, Bacharelado em Agronomia, 2025.

1. *Copaifera langsdorffii*. 2. Fitonematoides . 3. Pragas agrícolas - Controle. I. Silva, Rodrigo Vieira da. II. Martins, Gabriela Araujo. III. Instituto Federal Goiano. IV. Título.

CDU 595.132:631

Fonte: Elaborado pela Bibliotecária-documentalista Morgana Guimarães, CRB1/2837

**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 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

**Identificação da Produção Técnico-Científica**

- Tese  Artigo Científico  
 Dissertação  Capítulo de Livro  
 Monografia – Especialização  Livro  
 TCC - Graduação  Trabalho Apresentado em Evento  
 Produto Técnico e Educacional - Tipo: \_\_\_\_\_

Nome Completo do Autor:

Matrícula

**Camila Ferreira de Rezende**

**2015104220210124**

Título do Trabalho:

**ÓLEO ESSENCIAL DE COPAÍBA: EFICIENTE NO CONTROLE DO NEMATÓIDE DE GALHAS *Meloidogyne javanica***

**Restrições de Acesso ao Documento**

Documento confidencial:  Não  Sim, justifique: \_\_\_\_\_

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

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;
- Obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, 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;
- Cumprir 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  
 **CAMILA FERREIRA DE REZENDE**  
Data: 15/08/2025 20:51:31-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Morrinhos, GO,  
Local

15/08/2025.  
Data

Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

Ciente e de acordo:

Documento assinado digitalmente  
 **RODRIGO VIEIRA DA SILVA**  
Data: 15/08/2025 16:52:05-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>



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

Ata nº 19/2025 - CCEG-MO/CEG-MO/DE-MO/CMPMHOS/IFGOIANO

### ATA DE APRESENTAÇÃO DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Aos treze dias do mês de fevereiro do ano **2025**, no prédio da Agronomia do Instituto Federal Goiano – Campus Morrinhos reuniram-se as 14:00 h, a Banca de Avaliação do Trabalho de Conclusão de Curso (TCC). A mesma, composta pelo professor Dr. **Rodrigo Vieira da Silva**, Me. Nathan Camargo Ribeiro de Moura Aquino e a **Ma. Gabriela Araujo Martins**, sob a presidência do primeiro, para avaliar o Trabalho de Conclusão de Curso do discente **CAMILA FERREIRA DE REZENDE**, intitulado “**ÓLEO ESSENCIAL DE COPAÍBA: EFICIENTE NO CONTROLE DO NEMATOIDE DE GALHAS *Meloidogyne javanica***”. Requisito parcial para a obtenção do título de BACHAREL EM AGRONOMIA. Ao iniciar os trabalhos, o presidente da Banca Avaliadora cedeu o tempo regulamentar para que a discente fizesse a apresentação do seu trabalho, a seguir ocorreu a arguição dos Membros da Banca de Avaliação. Na terceira etapa a banca avaliou o desempenho da estudante. Concluído essas etapas o trabalho foi considerado:

x	Aprovado		
	Aprovado com ressalvas	NOTA	8,5
	Reprovado		

**Prof. Dr. Rodrigo Vieira da Silva**

Orientador - IF Goiano, Campus Morrinhos, GO

**RTV. Me. Nathan Camargo Ribeiro de Moura Aquino**

Membro - Lallemand Care Brasil

**Pesquisadora. Ma. Gabriela Araujo Martins**

Membro - IF Goiano, Campus Morrinhos, GO

Documento assinado eletronicamente por:

- **Rodrigo Vieira da Silva, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO**, em 19/02/2025 11:15:09.
- **Gabriela Araujo Martins, 2022104330440008 - Discente**, em 19/02/2025 11:43:17.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 19/02/2025. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 677955

Código de Autenticação: c9a1d33297



INSTITUTO FEDERAL GOIANO

Campus Morrinhos

Rodovia BR-153, Km 633, Zona Rural, SN, Zona Rural, MORRINHOS / GO, CEP 75650-000

(64) 3413-7900

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus pela vida e todas as oportunidades que me foram dadas.

Agradeço aos meus pais que sempre me apoiaram e deram todo suporte necessário para que eu chegasse até aqui.

Agradeço a todos meus colegas da graduação que em algum momento já me ajudaram e apoiaram para que eu continuasse a caminhada.

Agradeço imensamente a Gabriela Araújo Martins pelo auxílio, paciência e ensinamentos na condução deste experimento.

Agradeço imensamente ao meu orientador Rodrigo Vieira pelos ensinamentos e orientação, e por toda paciência.

E por fim, agradeço ao Instituto Federal Goiano - Campus Morrinhos e todos os meus professores e servidores.

A todos vocês, meu carinho, amor e gratidão sempre!

## RESUMO

DE REZENDE, Camila Ferreira. **Óleo essencial de copaíba: Eficiente no controle do nematoide de galhas *Meloidogyne javanica***. 2025. 33 p. Trabalho de conclusão de Curso (Curso Bacharelado em Agronomia). Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Morrinhos, GO, 2025.

Nematoídes fitoparasitas do gênero *Meloidogyne*, também conhecidos como nematoídes de galhas, causam prejuízos significativos às culturas agrícolas, comprometendo a produção e qualidade dos cultivos. O controle eficaz desses patógenos é vital para a sustentabilidade agrícola. A copaibeira, também conhecida como pau-d'óleo, é uma árvore nativa do Cerrado, reconhecida por suas propriedades medicinais e ação antimicrobiana, demonstrando potencial como nematicida. Buscando alternativas ao controle químico, os óleos essenciais de origem vegetal (OEC), têm sido explorados como ferramentas promissoras para o manejo de nematoídes. Este estudo teve o objetivo de avaliar o efeito do óleo essencial de copaíba no controle de *Meloidogyne javanica*, com ênfase nos estágios de ovos e juvenis de segundo estágio (J2). Realizado em condições controladas no laboratório de Nematologia, o estudo envolveu a identificação da população de *M. javanica* e a extração de ovos de raízes de jiloeiro. O ensaio foi instalado em com diferentes concentrações de OEC, avaliando a mortalidade dos J2 após 10 dias. Os resultados revelaram que concentrações crescentes de OEC resultaram em maiores inibições da eclosão dos J2. O tratamento T1 (10 µL) alcançou 58,90% de inibição, T2 (5 µL) obteve 56,77%, T3 (2,5 µL) mostrou 67,76%, T4 (1,25 µL) registrou 48,89%, e T5 (0,625 µL) apresentou 38,99%. Esses resultados evidenciam o potencial do OEC como agente nematicida contra *M. javanica*, oferecendo uma abordagem sustentável para o controle desses patógenos em sistemas agrícolas infestados.

**Palavras-chave:** Fitonematoídes. *Copaifera langsdorffii*. Atividade nematicida. Controle Alternativo.

## ABSTRACT

DE REZENDE, Camila Ferreira. **Influence of Copaiba Essential Oil on the Control of *Meloidogyne javanica***. 2024. 33 p. Trabalho de conclusão de Curso (Curso Bacharelado em Agronomia). Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Morrinhos, GO, 2025.

Plant-parasitic nematodes of the genus *Meloidogyne*, also known as root-knot nematodes (RKN), inflict significant damage on agricultural crops, compromising yield and quality. Effective control of these pathogens is vital for agricultural sustainability. Seeking alternatives to chemical control, plant-derived essential oils (EOs) have been explored as promising tools for nematode management. This study focuses on assessing the impact of copaiba essential oil (CEO) on the control of *Meloidogyne javanica*, with an emphasis on second-stage juvenile (J2) and egg stages. Conducted at the Federal Institute of Goiano - Campus Morrinhos, Goiás, the study involved identifying the *M. javanica* population and extracting eggs from roots of green-light jiló. Experiments were conducted with different CEO concentrations, evaluating J2 mortality after 72 hours. Results revealed that increasing CEO concentrations led to greater J2 hatching inhibition. Treatment T0 (water) had a mean of 28.67 and 26% inhibition, while T1 (0,01 mL) achieved 62.16% inhibition, T2 (0,005 mL) reached 70.27%, T3 (0,0025 mL) exhibited 83.79%, T4 (0,00125 mL) recorded 70.00%, and T5 (0,000625 mL) showed 40.54%. These findings highlight the potential of CEO as a nematode control agent against *M. javanica*, offering a sustainable approach to managing these agricultural pathogens.

**Keywords:** Root-knot nematode. *Copaifera langsdorffii*. Nematicidal activity. Alternative control.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1** - A e B plantas de jiloeiro com sintomas no sistema radicular de nematoides das galhas. Fonte: O autor (2023). ..... 11
- Figura 2** - Processo de extração de nematoides. A - Raízes com solução de hipoclorito de sódio a 0,5%; B - Amostra vertida em peneira; C - Transferência da suspensão para becker. Fonte: O autor (2023). ..... 12
- Figura 3** - A - Visualização de ovos de nematoide em microscópio de luz. Fonte: O autor (2023). ..... 13
- Figura 4** - Tratamento com óleo na solução de nematoides. A – Pipetagem do óleo essencial na massa de ovos; B – Tubos com massa de ovos; C – Tubos com massa de ovos e óleo essencial de copaíba Fonte: Autor (2023) ..... 14

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Resumo ANOVA da variável número de ovos <i>in vitro</i> com aplicação de óleo essencial de copaíba.....	15
<b>Tabela 2</b> - Valores médios do número de ovos de <i>Meloidogyne javanica</i> em função da concentrações do óleo essencial de Copaíba. ....	16

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	1
2	REVISÃO DE LITERATURA .....	3
2.1	Nematoide parasitas de plantas.....	3
2.2	Nematoides de galhas .....	3
2.3.	<i>Meloidogyne Javanica</i> .....	4
2.4	Controle de Nematoides.....	5
2.5	Óleos essenciais no controle de nematoides .....	6
3	JUSTIFICATIVA .....	9
4.	OBJETIVOS .....	9
4.1	Geral .....	9
4.2	Específicos.....	10
5	MATERIAL E MÉTODOS.....	10
5.1	Preparação e multiplicação do inóculo de <i>Meloidogyne javanica</i> .....	10
5.2	Montagem do experimento .....	13
5.3	Delineamento experimental.....	14
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	14
6	CONCLUSÃO.....	19
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	20

## 1 INTRODUÇÃO

O Cerrado, conhecido como a savana brasileira, constitui-se num dos biomas mais relevantes e diversos do Brasil e da América do Sul (COUTINHO, 2006). Com uma extensão significativa que abrange cerca de 25% do território nacional, o Cerrado desempenha um papel crucial na manutenção da biodiversidade, no fornecimento de recursos naturais e na regulação de importantes processos ecossistêmicos (SILVA; MELO; FERNANDES, 2003). Além disso, este bioma abriga uma variedade única de flora e fauna adaptadas às condições peculiares de solo e clima, tornando-se um *hotspot* de biodiversidade global (STRASSBURG et al., 2017).

A combinação da rica diversidade biológica associado ao seu valor econômico, em setores como a agricultura e a indústria, confere ao Cerrado um *status* de importância singular para o equilíbrio ambiental e o desenvolvimento sustentável do país como um todo (KLINK; MACHADO, 2005).

A copaíba (*Copaifera langsdorffii*) é uma planta arbórea nativa do Cerrado brasileiro da família fabaceae, que pode medir na fase adulta entre 25 a 40 metros de altura, e viver por até 400 anos. Esta árvore apresenta uma casca aromática, folhagem densa e frutos do tipo vagem (MARTINELLI; MORAES, 2014). Vale ressaltar que esta planta tem uma ampla utilização na medicina brasileira por vários séculos, desde a colonização dos Portugueses. O seu óleo possui propriedades cicatrizantes e antissépticas, sendo utilizado principalmente pelos índios para a curar feridas de guerreiros após as batalhas e para passar no cordão umbilical de recém nascidos (FRANCISCO, 2005; MACIEL et al., 2002).

Os nematoides fitoparasitas do gênero *Meloidogyne*, amplamente conhecidos como nematoides de galhas (NDG), representam um desafio significativo para a agricultura global (LIMA-MEDINA et al., 2017). Esses microrganismos causam prejuízos substanciais às culturas, resultando em perdas econômicas consideráveis (FARIAS; RODRIGUES, 2021). Estes nematoides, após a sua penetração nas raízes e estabelecimento do sítio de alimentação, interferem com a fisiologia das plantas hospedeiras, minando as suas defesas naturais e promovendo alterações na morfologia e anatomia das raízes. Dentro das raízes, estabelecem estruturas especializadas, como as galhas radiculares, que servem de fonte de alimento e ambiente reprodutivo para os NDG. Esses sítios se convertem em pontos de consumo intensivo de energia, levando a um esgotamento dos recursos fotossintéticos da planta hospedeira e resultando em sintomas de estresse nutricional e, conseqüentemente, redução da produtividade (ESCOBAR et al., 2015).

A busca por métodos eficazes e sustentáveis de controle desses patógenos tem levado à exploração de novas estratégias de manejo de fitonematoides, a exemplo os compostos naturais, como os óleos essenciais de origem vegetal (LAQUALE et al., 2018).

O controle químico de nematoides tem sido uma estratégia importante na gestão do parasitismo em diversas culturas agrícolas (CHEN; LI, 2020). A aplicação de compostos químicos específicos visa a redução da população de nematoides no solo, minimizando seus impactos prejudiciais às plantas hospedeiras (HAYDOCK et al., 2006). No entanto, os nematicidas de base química vêm sofrendo restrições, de modo que há uma necessidade urgente de alternativas aos nematicidas químicos para o manejo de fitonematoides (AHMAD et al., 2006).

Numerosos microrganismos são conhecidos por interferir no ciclo de vida de nematoides no solo (SCHOUTEDEN et al., 2015; WATSON; STRAUSS; DESAEGER, 2020). Entre esses microrganismos, destaca-se as bactérias (CHIELLINI et al., 2019; FERNANDES et al., 2013), e os fungos (DU et al., 2020) que possuem a capacidade de predação ou parasitar espécies de nematoides. Esses microrganismos são comuns no solo e podem ser antagônicos aos nematoides de várias maneiras, como por exemplo, através de estruturas especializadas para a captura de nematoides, como anéis constritores, redes tridimensionais de hifas e estruturas adesivas (LOPES et al., 2007).

Frequentemente, a busca por métodos de controle de pragas busca opções que proporcionem resultados eficazes com um baixo impacto nos ecossistemas e suas populações. Em razão disso, diversos compostos químicos ativos têm sido proibidos recentemente em vários países, e há uma escassez de produtos químicos comerciais para combater fitoparasitas.

Na agricultura do terceiro milênio há um interesse crescente em encontrar fontes de origem natural para substituir produtos sintéticos. Esse interesse tem se estendido a várias áreas, incluindo o controle de pragas na agricultura, onde a busca por métodos alternativos de combate a nematoides tem explorado o uso de plantas e seus compostos químicos naturais.

Os óleos essenciais (OEs) são um exemplo proeminente desse cenário, pois suas propriedades os tornam úteis no combate a insetos, bactérias, fungos e nematoides (CATANI et al., 2023). Os OEs de origem vegetal apresentam um recurso verde amplamente disponível, e sua decomposição em produtos não tóxicos não demonstra impactos negativos em organismos não alvos ou no ambiente (ISMÁN, 2000). Os OEs são extraídos de plantas aromáticas por meio de processos de extração mecânica ou hidrodestilação. Essas plantas frequentemente secretam metabólitos secundários como parte de suas estratégias de defesa para competir no ambiente (TEOH; TEOH, 2016).

Os OEs consistem em uma variedade de compostos voláteis que conferem a eles aromas distintos e composições químicas específicas; entre os componentes comuns estão terpenos, sesquiterpenos, compostos fenólicos, cetonas, ácidos e ésteres (BUTNARIU; SARAC, 2018).

O óleo essencial de copaíba, extraído de árvores do gênero *Copaifera* é conhecido por suas propriedades terapêuticas e bioativas. Estudos prévios têm revelado o potencial antimicrobiano e inseticida desse óleo em diferentes contextos (STANGARLIN et al., 2011; SOUZA et al., 2011; TOUBOUTI et al., 2017; FERREIRA et al., 2022). No entanto, sua eficácia como agente nematicida contra *Meloidogyne* permanece uma área pouco explorada, apresentando uma perspectiva promissora para o controle de nematoides de galhas.

## **2 REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1. Nematoides parasitas de plantas**

Os nematoides são animais microscópios, incolores e em forma de vermes que podem ocorrer em diversos ambientes naturais, sobrevivendo em filmes de água existentes entre as partículas de solo. Os fitonematoides encontrados no solo, ao serem introduzidos em uma área torna-se de difícil controle, um desafio que tem gerado alto custo para a produção agrícola mundial e precisa de mais medidas de controle (APARECIDA DA COSTA, 2015).

Os prejuízos causados pelos nematoides à produção agrícola mundial variam de US\$ 100 bilhões a US\$ 157 bilhões (SINGH; HODDA; ASH, 2013), cerca de R\$ 87 bilhões, ocorrem somente no Brasil, segundo a Sociedade Brasileira de Nematologia em grandes culturas, como é o caso da soja, os “parasitas invisíveis a olho nú” assim chamados, podem causar perdas da ordem de 30%, o equivalente a 35,2 bilhões, podendo comprometer toda a lavoura em condições mais severas (SBN, 2024).

### **2.2 Nematóide de galhas**

Os nematoides parasitas de plantas (NPP), particularmente os do gênero *Meloidogyne*, representam uma ameaça significativa para a produção de alimentos no mundo (GONTIJO; DA SILVA MENDES, 2020). Os fitonematoides causam perdas substanciais na produtividade das culturas, esses organismos causam danos diretos e indiretos, resultando em prejuízos econômicos consideráveis (FERRAZ et al., 2010).

A nível mundial, as espécies mais importantes, como *Meloidogyne incognita*, *M. javanica* e *M. arenaria*. Estes atacam uma ampla diversidade de culturas importantes, como tomate, milho e batata, causando sintomas característicos de galhas nas raízes infectadas, além de retardar o crescimento das plantas e causar amarelecimento e murcha das folhas (SILVA; SANTOS; SILVA, 2016). Esses danos não apenas diminuem a produção, mas também tornam

as plantas mais suscetíveis a outros patógenos e estresses ambientais. Portanto, o controle eficaz dos nematoides das galhas é fundamental para garantir a segurança alimentar e a sustentabilidade da agricultura (ROCHA et al., 2013).

Os nematoides do gênero *Meloidogyne*, envolvem-se em interações biotróficas complexas com suas plantas hospedeiras (SANTOS et al., 2018). No desenvolvimento embrionário, eclodem dos ovos os juvenis móveis de segundo estágio (J2s), que migram para as raízes da planta hospedeira. Quando o J2 infeccioso atinge a planta hospedeira, ele penetra atrás da ponta da raiz e então migra intercelularmente para o cilindro vascular da raiz (RUTTER; FRANCO; GLEASON, 2022). Usando seu estilete, o NDG injeta secreções que contêm efetores nos tecidos vegetais. Os efetores ajudam a facilitar o parasitismo, suprimindo as respostas de defesa do hospedeiro e modificando os processos da célula hospedeira para acomodar o nematoide (DA SILVA et al., 2019). Os nematoides usam seus efetores para converter de 6 a 8 células do protoxilema em locais de alimentação multinucleados e ampliados, chamados células gigantes. As células hospedeiras que circundam os nematoides e as células gigantes também sofrem alterações, muitas vezes exibindo divisão celular hipertrófica, resultando na formação de galhas nas raízes. Os NDG devem invadir as raízes de uma planta hospedeira suscetível e estabelecer seus locais de alimentação para sobreviver (NUNES et al., 2011).

### **2.3 *Meloidogyne javanica***

A espécie de nematoide de galhas *Meloidogyne javanica* é a segunda espécie mais disseminada e relevante do gênero, em razão dos prejuízos e a um elevado gama de plantas hospedeiras e sua ampla distribuição geográfica. Atualmente, três raças de *M. javanica*, segundo RAMMAH & HIRSCHMANN (1990), foram encontradas na literatura: raça 1 parasitando fumo, melancia e tomate, raça 2 parasitando as plantas citadas anteriormente mais o pimentão, e raça 3 que parasita as mesmas plantas que a raça 1 mais o amendoim. No entanto uma nova raça de *M. javanica* (raça 4) foi detectada pela primeira vez no Brasil, em Londrina, causando danos ao *Arachis pintoi* Krapov. & Gregory em campo. Plantas atacadas pelo nematoide tem redução de crescimento, folhas menores e amareladas, resultando em declínio da cultura (CARNEIRO et al., 2003).

Apesar de já ter sido detectada 4 raças fisiológicas, tem sido reportada como uma espécie que tem baixo nível de variabilidade intraespecífica. Estudos recentes realizados com sete populações provenientes de bananeiras de diferentes regiões do Brasil revelaram uma variabilidade intra-específica de aproximadamente 29,1%, que é ainda considerada baixa.

Entretanto, estudos realizados com quatro populações brasileiras oriundas de *M. javanica*, tem variabilidades morfológicas, enzimáticas, fisiológicas e genéticas. A presença de quatro raças fisiológicas detectadas em *M. javanica* Chitwood 1949 é outro exemplo de variabilidade intra-específica observada nesta espécie (COFCEWICZ et al. 2004; CARNEIRO et al., 2003; CASTAGNONE-SERENO et al., 1994).

De modo geral o *M. javanica* apresenta boa capacidade de adaptação às condições climáticas, típicas do cultivo de hortaliças no País, com faixas ótimas de temperatura entre 25 °C e 30 °C. Temperaturas muito baixas ou muito acima desses valores, pode levar ao estado de dormência do patógeno, ou mesmo a sua morte quando exposto por longos períodos a essas condições. Com relação à faixa hídrica, levando em consideração o habitat característico desse indivíduo, a umidade do solo ideal varia entre 40% a 60% da capacidade de campo (Ferraz et al., 2010).

Por causar danos expressivos às culturas, apresentando-se como um grande desafio aos agricultores, técnicos e pesquisadores, os fitonematoides, em especial do gênero *Meloidogyne* spp. têm sido alvo de inúmeros estudos, para um controle alternativo de forma eficiente, tendo em vista a utilização do potencial nematicida dos extratos vegetais como uma importante fonte de pesquisa.

## **2.4 Controle de nematoides**

A maioria dos cultivos de plantas sofrem, com os danos causados pelo ataque de nematoides que acarretam prejuízos na produtividade e podem causar até perda total. Fatores como a densidade populacional dos nematoides no solo, nível de fertilidade, umidade e a interação com outros organismos patogênicos determinam o nível de danos a cultura (TIHOHOD, 2000).

Nematoides fitopatogênicos são prejudiciais para a maioria das culturas economicamente importantes no Brasil e são patógenos de difícil controle (SUBEDI; THAPA; SHRESTHA, 2020). O desconhecimento da importância econômica dos nematoides, e frequentemente a omissão por partes dos produtores. De maneira que estes não dão a devida atenção, quando a população se encontra muito alta, causando assim prejuízos visíveis na produção (RITZINGER & FANCELLI, 2006; CHITWOOD, 2003).

Atualmente, encontram-se descritos na literatura científica diversos métodos de controle de fitonematoides. O seu manejo é uma tarefa difícil, principalmente pelas limitações da maioria dos métodos utilizados (NEVES et al., 2008). Entre as estratégias de manejo de doenças em geral, a utilização de resistência é, sem dúvida, uma das alternativas mais

desejáveis, considerando sua compatibilidade com outras práticas de manejo e não ser prejudicial ao meio ambiente. Frequentemente, os nematologistas relacionam respostas do hospedeiro ao parasitismo dos nematoides com a habilidade da planta em suportar a reprodução do nematoide. A definição mais utilizada de resistência é a habilidade da planta em inibir a reprodução da espécie do nematoide. Portanto, uma planta suscetível pode ser intolerante, sendo supressa devido ao parasitismo do nematoide, ou pode ser tolerante com limitado crescimento, permitindo que o nematoide se desenvolva. Esses diferentes conceitos em áreas distintas devem ser considerados para definir a resistência da planta a pragas e patógenos, os métodos utilizados para avaliar resistência e a natureza da interação da praga ou patógeno com o hospedeiro (RITZINGER & FANCELLI, 2006; FANCELLI, 2003).

O uso de nematicidas sintéticos, apesar de eficientes, vem se tornando limitado devido aos seus custos elevados e à demanda por alimentos sem resíduos de pesticidas e por condições de trabalho mais seguras para a comunidade agrícola. Além disso, o crescente mercado de produtos orgânicos abre um novo caminho para formas alternativas de controle de patógenos. Assim, os pesquisadores, em especial os nematologistas têm buscado maneiras sustentáveis de manejar a um nível a baixo de danos econômicos os fitonematoides.

## **2.5 Óleos essenciais no controle de nematoides**

Os óleos essenciais (OEs) são substâncias voláteis naturais encontradas em uma variedade de plantas. Eles são uma mistura complexa de terpenoides, principalmente monoterpenos e sesquiterpenos, e uma variedade de fenóis aromáticos, óxidos, éteres, álcoois, ésteres, aldeídos e cetonas que determinam o aroma e odor característicos da planta. Sua composição química pode variar consideravelmente entre espécies de plantas aromáticas e variedades, e dentro da mesma variedade de diferentes áreas geográficas (ANDRÉ et al., 2018).

Além disso, o efeito da maturidade da planta no momento da extração do óleo e a existência de diferenças quimiotípicas também podem afetar drasticamente sua composição (LAHLOU; BERRADA, 2003). Comercialmente, os OEs são produtos naturais valiosos usados nas indústrias cosmética, alimentícia e farmacêutica (BUCHBAUER, 2000). Embora plantas aromáticas e seus óleos essenciais tenham sido usados desde tempos antigos como agentes antimicrobianos e inseticidas, o interesse aumentou consideravelmente durante a última década. A presença de monoterpenos voláteis nos OEs fornece uma estratégia importante de defesa à planta contra pragas de insetos e organismos patogênicos. Esses terpenoides também desempenham um papel nas interações parasitárias da planta, atuando como moléculas sinalizadoras (BATISH et al., 2008).

Muitos óleos essenciais extraídos de diferentes famílias botânicas têm sido analisados em condições de laboratório *in vitro* quanto à atividade nematicida, principalmente contra *Bursaphelenchus xylophilus* e *Meloidogyne* spp (ANDRÉS et al., 2012). Entre as plantas produtoras de OE, algumas famílias como Lamiaceae, Asteraceae, Myrtaceae, Rutaceae, Lauraceae e Poaceae têm sido amplamente estudadas. Especialmente as plantas aromáticas foram bem-sucedidas com os OEs de *Chamaespartium tridentatum*, *Origanum vulgare*, *Satureja montana*, *Thymbra capitata* e *Thymus caespititius* (BARBOSA et al. 2010).

Os efeitos nematicidas dos OEs de plantas medicinais em nematoides de galhas nas raízes têm sido amplamente relatados. Vários estudos descreveram a alta mortalidade causada pelos OEs de *Cymbopogon* (*Cymbopogon martini* var. *motia*, *C. flexuosus* e *C. winterianus*) nos juvenis (J2) dos nematoides de galhas (*Meloidogyne incognita* e *M. javanica*) (MOREIRA et al., 2015; GONÇALVES et al., 2017). Oka et al. (2000) avaliaram a atividade nematicida de 25 plantas aromáticas contra *M. javanica*. Eles mostraram que os OEs de *Artemisia judaica*, *Carum carvi*, *Thymus capitatus*, *Cymbopogon citratus*, *Foeniculum vulgare*, *Mentha rotundifolia*, *Mentha spicata* causaram imobilização de J2 e inibição da eclosão de ovos.

Alta toxicidade de OEs de *Cymbopogon* (*C. citratus*, *C. flexuosus*, *C. martinii*, *C. nardus* e *C. winterianus*), *Mentha* (*M. arvensis*, *M. citrata*, *M. piperita*, *M. pulegium* e *M. spicata*), *Perlargonium graveolens* e *Ocimum basilicum* para *M. incognita* J2 em diferentes concentrações tem sido relatada (SINHA et al. 2006; MOREIRA; SANTOS; INNECCO, 2009; NTALLI et al. 2010). Pérez et al. (2003) demonstraram que o óleo de *Chrysanthemum coronarium* (em 2, 4, 8 e 16 mL) reduziu significativamente a eclosão de ovos, a sobrevivência de J2 e a taxa de reprodução de *M. artiella*.

Os OEs de *Eucalyptus* spp. também têm atividade nematicida (BATISH et al., 2008). Especificamente, *E. citriodora* e *E. hybrida* são tóxicos para *M. incognita* J2 (SAXENA; GOSWAMI; TOMAR, 1987) mesmo em baixas concentrações (PANDEY et al., 2000), *E. camadulensis*, *E. saligma* e *E. urophylla* causaram a mortalidade de *M. exigua* J2 (SALGADO et al., 2003) e *E. globulus* e *E. melliodora* atuaram sobre *M. incognita* (GUPTA; SHARMA; NAIK, 2011; NTALLI et al., 2011). Alta mortalidade de *M. exigua* J2 foi induzida pelos óleos de *Bixa orellana*, *Melia azedarach* e *Xylopia brasiliensis* (SALGADO et al., 2003).

Os OEs de partes aéreas de *Pectis oligocephala* e *P. apodocephala* exibiram efeitos de mortalidade contra *M. incognita* J2 (ALBUQUERQUE et al., 2007). Uma formulação de lecitina de soja/detergente do óleo de cravo (*Eugenia caryophyllata*) induziu a mortalidade de ovos e J2 de *M. incognita* (MEYER et al., 2008) e a aplicação de óleo de cravo reduziu o número de galhas de *M. hapla* em cenouras (DOUDA et al., 2010).

As espécies de *Tagetes* são conhecidas por sua capacidade de suprimir nematoides fitoparasitas no campo (KRUEGER et al., 2007) e um estudo adicional *in vitro* revelou que diferentes concentrações de óleo (1-4 %) de *T. minuta* têm forte toxicidade para ovos e juvenis de *M. incognita* (ADEKUNLE; ACHARYA; SINGH, 2007).

O potencial dos óleos de *Haplophyllum tuberculatum* e *Plectranthus cylindraceus* para controlar nematoides de galhas tem sido investigado. Embora ambos os óleos tenham sido tóxicos para *M. javanica* (12,5 ml), os maiores efeitos de toxicidade nos juvenis e inibição da eclosão de ovos foram obtidos por misturas 1:1 dos dois óleos (ONIFADE et al., 2008).

Os OEs de *Lippia* spp. (*L. sidoides* e *L. alba*) induziram a mortalidade de *M. incognita* J2 (MOREIRA et al., 2009; MARINO et al., 2012). Ntalli et al., (2010) demonstraram alta atividade nematicida dos OEs de *Origanum vulgare* e *O. dictamnus* contra *M. incognita*, com EC50 de 1,55 e 1,72 ml, respectivamente. Além disso, o óleo essencial de *O. majorana* foi testado para o manejo de *M. hapla* em cenouras (DOUDA et al., 2010). Recentemente, foram demonstrados efeitos nematicidas contra *M. incognita* dos OEs de *Chenopodium ambrosioides*, *Foeniculum vulgare*, *Kadsura heteroclita*, *Pistacia terebinthus*, *Pimpinella anisum* (BAI et al., 2011; LI et al., 2011; NTALLI et al., 2011), enquanto Sosa et al., (2012) mostraram fortes efeitos tóxicos do óleo essencial de *Eupatorium viscidum* para juvenis de *M. javanica*.

A copaíba (*Copaifera langsdorffii*) é uma planta arbórea nativa do Cerrado brasileiro pertencente à família das fabáceas, que pode atingir cerca de 25 a 40 metros de altura, e viver por 400 anos. Caracteriza-se por apresentar casca aromática, folhagem densa e frutos do tipo vagem (MARTINELLI; MORAES, 2014). Além disso, apresenta uma ampla utilização na medicina desde a chegada dos colonizadores portugueses no Brasil, no final do século XV. O seu óleo possui propriedades cicatrizantes e antissépticas, sendo utilizado principalmente pelos índios para a curar feridas de guerreiros após as batalhas e para passar no cordão umbilical de recém-nascidos em maternidades (FRANCISCO, 2005; MACIEL et al., 2002).

Em razão da ação biológica desta planta e sua ampla disseminação no cerrado Goiano, o presente trabalho teve como finalidade avaliar a ação nematicida do óleo essencial de Copaíba na eclosão de juvenis de segundo estágio de *M. javanica*.

## **JUSTIFICATIVA**

Por causar danos expressivos às culturas, apresentando-se como um grande desafio aos agricultores, técnicos e pesquisadores, os fitonematoides, em especial do gênero *Meloidogyne* spp. têm sido alvo de inúmeros estudos, para um controle alternativo de forma eficiente, tendo em vista a utilização do potencial nematicida dos óleos essenciais vegetais como principal fonte de pesquisa.

A necessidade de estratégias de controle mais sustentáveis e ambientalmente amigáveis para mitigar os danos causados por nematoides-das-galhas motiva a pesquisa sobre o potencial nematicida de compostos naturais. O óleo essencial de copaíba, com suas propriedades bioativas, surge como uma alternativa atrativa para abordar esse desafio. Avaliar seu efeito sobre os estágios cruciais de *Meloidogyne* contribuirá para a compreensão de sua eficácia no controle desses patógenos.

### **3 OBJETIVOS**

#### **3.1 Geral**

- Investigar a influência do óleo essencial de copaíba no controle de *Meloidogyne javanica*, com foco na avaliação de sua atividade em estágios juvenis de segundo estágio (J2) e nos ovos desses nematoides

#### **3.2 Específicos**

- Avaliar a eficácia do óleo essencial de copaíba na redução da população de juvenis de segundo estágio (J2) de *Meloidogyne* em condições de laboratório, por meio de ensaios de exposição controlada.
- Investigar o impacto do óleo essencial de copaíba na viabilidade dos ovos de *Meloidogyne*, avaliando sua capacidade de inibir a eclosão e o desenvolvimento desses estágios do ciclo de vida.

### **4 MATERIAL E MÉTODOS**

Este estudo foi conduzido em condições controladas *in vitro* no laboratório de Nematologia do Instituto Federal Goiano - Campus Morrinhos, localizado no município de Morrinhos, Goiás.

#### **5.1 Preparação e multiplicação do inóculo de *Meloidogyne javanica***

A população de nematoides selecionada já havia sido identificada anteriormente como *M. javanica* com base nas características da enzima esterase J3, usando a técnica de eletroforese de isoenzimas conforme descrito por Orsteins e Davis (1964) (MACHADO; SILVA; FERRAZ,

2019). Os ovos de *M. javanica* para este experimento foram obtidos a partir das raízes da variedade de jiloeiro verde-claro, que foram cultivadas em casa de vegetação durante um período de 60 dias (**Figura 1**).



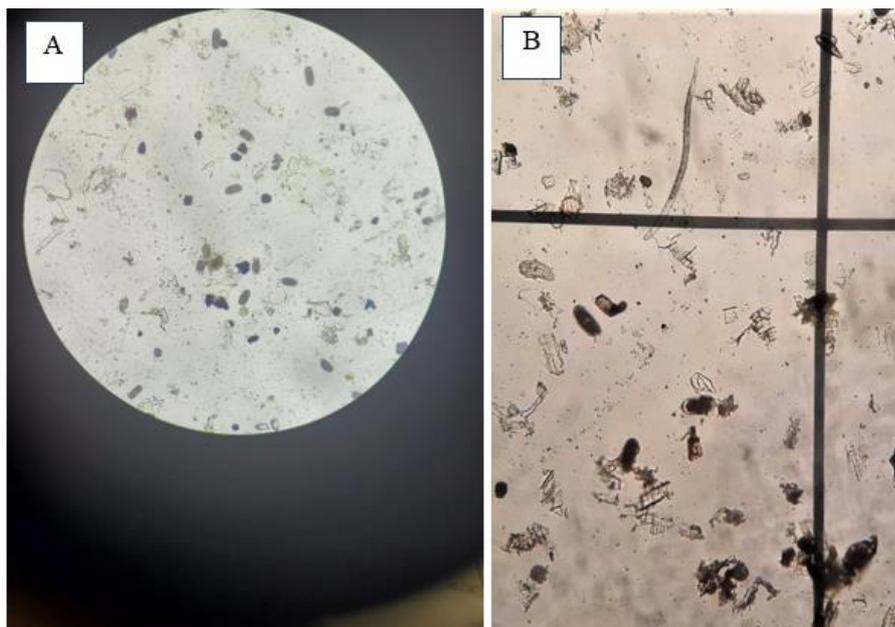
**Figura 1** - A e B plantas de jiloeiro com sintomas no sistema radicular de nematoides de galhas. Fonte: O autor (2023).

O processo de extração dos ovos seguiu a metodologia proposta por Bonetti e Ferraz (1981). Inicialmente, as raízes foram cuidadosamente fragmentadas em pedaços de aproximadamente um centímetro, totalizando cerca de 10 gramas de material. Esses fragmentos foram então triturados em um liquidificador, onde foram misturados com 200 mL de uma solução contendo 0,5% de NaOCl, sendo o processo realizado por um intervalo de 20 segundos. A mistura resultante passou por peneiras de 200 e 500 mesh, onde a fração retida após a peneira de 500 mesh foi cuidadosamente coletada (**Figura 2**).



**Figura 2** - Processo de extração de nematoides. A - Raízes com solução de hipoclorito de sódio a 0,5%; B - Amostra vertida em peneira; C - Transferência da suspensão para becker. D: Contagem de ovos no Microscópio de Luz. Fonte: O autor (2023).

Posteriormente, essa fração foi submetida a um exame minucioso sob um microscópio de luz, com um aumento de 100 vezes, utilizando uma lâmina de contagem de nematoides de Peters. A concentração do inóculo foi ajustada para 100 ovos por mL<sup>-1</sup>, usando uma câmara de Peters sob um microscópio de luz na objetiva de 10 X, com aumento de 100 vezes (**Figura 3**).



**Figura 3** - A - Visualização de ovos de nematoide em microscópio de luz. B – Detalhes de ovos e juvenil de *Meloidogyne javanica*. Fonte: O autor (2023).

## 5.2 Montagem do experimento

O óleo essencial de copaíba utilizado neste estudo foi adquirido por meio de fontes confiáveis e estabelecidas, garantindo sua autenticidade e qualidade. No âmbito laboratorial, foi conduzida uma avaliação do impacto do óleo essencial de copaíba (OEC) na eclosão de juvenis (J2). A avaliação ocorreu em tubos de ensaio de 10 mL (25 x 150 mm) e empregou diferentes concentrações do OEC para compreender sua eficácia.

Uma suspensão, de 1mL contendo 100 ovos de *M. javanica*, foi colocada nos tubos de ensaio. Em seguida, por meio de uma micropipeta, foram incorporadas as concentrações estabelecidas do óleo essencial (0, 10, 5, 2,5, 1,25 e 0,625  $\mu$ L), conforme exemplificado na **Figura 4**. No tratamento controle (0  $\mu$ L), a suspensão de ovos foi misturada com 1 mL de água destilada. O experimento foi então colocado em uma câmara de incubação do tipo B.O.D. a 26°C, mantida no escuro, ao longo de 7 dias.



**Figura 4** - Tratamento com óleo na solução de nematoides. A – Pipetagem do óleo essencial na massa de ovos; B – Tubos com massa de ovos; C – Tubos com massa de ovos e óleo essencial de copaíba. Fonte: Autor (2023).

### 5.3 Delineamento experimental

O experimento foi conduzido por meio de um delineamento inteiramente casualizado, composto por seis tratamentos e seis repetições, totalizando 36 unidades experimentais. Cada unidade experimental consistiu em um tubo de ensaio de 10 mL de capacidade e dimensões de 25 x 150 mm. As avaliações foram realizadas após 7 dias contabilizando os juvenis eclodidos vivos e mortos.

Os dados foram tabulados e analisados utilizando o teste de Scott-Knott a uma probabilidade de 5%. Essa análise foi realizada com base nas médias relacionadas às características sob investigação. Os dados foram analisados utilizando o programa estatístico SISVAR (Ferreira, 2011).

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram observadas diferenças estatisticamente significativas ( $p \leq 0,01$ ) para número de ovos de *M. javanica* submetidas a diferentes concentrações de óleo essencial de copaíba (Tabela 1).

**Tabela 1** - Resumo ANOVA dos juvenis de *Meloidogyne javanica* eclodidos pelo teste *in vitro* com aplicação de óleo essencial de copaíba.

Fontes de Variação	GL	Quadrados médios
Tratamentos	5	998,42**
Erro	30	11,94
Total	35	
Média Geral	29,21	
CV (%)	11,83	

GL - Grau de Liberdade; CV - Coeficiente de Variação; \* significativo a 5% de probabilidade pelo teste F; \*\*significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

Na **Tabela 2** estão discriminados os valores médios da taxa de de eclosão de juvenis de *Meloidogyne javanica* em função de diferentes concentrações do óleo essencial de Copaíba e do tempo de exposição de 7 dias. Observa-se que o tratamento controle (T0, apenas água) apresentou uma maior média de juvenis eclodidos (53,52), o que confirma a ausência de ação inibitória sobre a eclosão. Por outro lado, os tratamentos com óleo essencial proporcionam uma redução significativa na eclosão dos juvenis, dependendo da concentração aplicada.

Dentre os tratamentos avaliados, a menor média de eclosão foi observada em T3 (2,5 µL), com 17,19 juvenis eclodidos, representando o maior percentual de controle (67,76%) em relação ao controle. O tratamento T1 (10 µL), apesar de apresentar uma média maior (21,91), também exibiu alta eficiência, com 58,90% de redução. Esses resultados indicam que as concentrações mais elevadas do óleo essencial de copaíba são mais eficazes na inibição da eclosão dos nematoides.

Concentrações moderadas e mais baixas, como em T4 (1,25 µL) e T5 (0,625 µL), obtiveram médias de 27,23 e 32,59 juvenis eclodidos, com percentuais de controle de 48,89% e 38,99%, respectivamente. Esses valores, embora os tratamentos inferiores de maior concentração, ainda demonstram potencial para redução da eclosão, destacando a ação do óleo mesmo em doses menores.

A análise estatística revelou diferenças significativas entre os tratamentos ( $P \leq 0,05$ ). Observe-se que T3 (2,5 µL) foi significativamente mais eficaz que os demais tratamentos, enquanto T4 e T5, apesar de diferentes, formaram grupos com menores taxas de controle. O coeficiente de variação (CV) de 11,83% indica que os resultados são confiáveis, evidenciando boa precisão experimental.

Esses dados confirmam o potencial do óleo essencial de Copaíba como uma alternativa biológica para inibir a eclosão de *Meloidogyne javanica*. Além disso, os resultados destacam a importância de ajustar a dose de acordo com os objetivos de manejo, uma vez que concentrações maiores tiveram maior eficiência no controle dos nematoides.

Esses resultados indicam que as diferentes concentrações do óleo essencial de Copaíba influenciaram a quantidade média de ovos de *Meloidogyne javanica*. Trabalhos anteriores também demonstraram o efeito positivo do óleo essencial de copaíba na redução da eclosão de nematoides de galhas, com percentagem de redução acima de 70% (FERREIRA et al., 2022). No estudo realizado por Moreira et al. (2015) também foi observado uma redução no número de ovos de (*Meloidogyne incognita*) raça 2 em raízes de tomate, os óleos essenciais de plantas medicinais utilizados reduziram a taxa reprodutiva de *M. incognita* em raízes de tomateiro em mais de 80% em condições de casa de vegetação. A análise em conjunto destes resultados demonstra o potencial dos óleos essenciais no manejo dos nematoides de galhas,

**Tabela 2** - Valores médios de eclosão de juvenis de *Meloidogyne javanica* em função das concentrações do óleo essencial de Copaíba e do tempo de exposição de 7 dias.

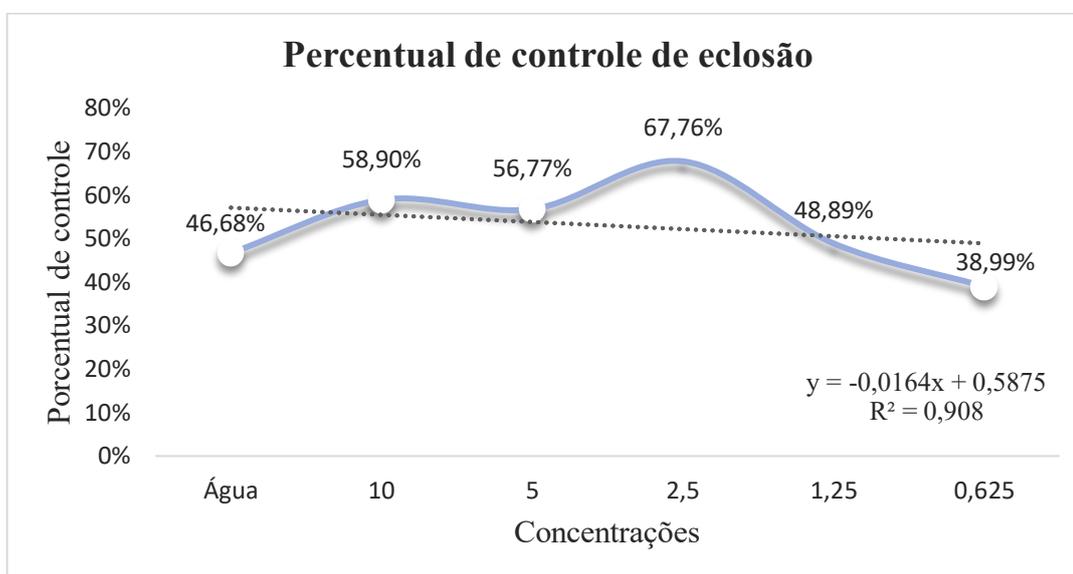
Tratamentos	Médias de J2 eclodidos	Controle (%)
T0 (água)	53,32e	46,68%
T1 10 $\mu$ L	21,91b	58,90%
T2 5 $\mu$ L	23,05b	56,77%
T3 2,5 $\mu$ L	17,19a	67,76%
T4 1,25 $\mu$ L	27,25c	48,89%
T5 0,625 $\mu$ L	32,53d	38,99%
CV (%)	11,83	

\*Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Scott-Knott.

Com base da composição química do óleo essencial da copaíba, pode-se inferir que o efeito inibitório na eclosão pode ser atribuído à interferência de compostos do óleo essencial no desenvolvimento embrionário dos nematoides, enquanto a mortalidade dos J2 pode ser explicada pela ação de compostos nematicidas que danificam a estrutura ou interferem nos processos fisiológicos desses organismos. A relação dose-dependente observada sugere que concentrações mais elevadas do óleo essencial podem resultar em uma maior efetividade no controle do nematoide.

Como observado, no gráfico da imagem 5, a concentração de 2,5  $\mu$ L do óleo essencial de copaíba, acarretou uma inibição da eclosão de juvenis de *M. javanica* de 67,76%. Em trabalho realizado por Ferreira et al (2022) utilizando óleo de copaíba na eclosão de *M. javanica* mostrou que a concentração de 8 mg L resultou em uma inibição da eclosão de 73,44%. Nesse

mesmo trabalho ainda diz que o óleo de copaíba possui potencial para ser utilizado como nematicida no controle de nematoide de galhas radiculares (FERREIRA et al., 2022).



**Figura 5.** Percentual de controle de eclosão de juvenis de *Meloidogyne javanica* submetido a diferentes concentrações de óleo de copaíba.

Os compostos presentes nos óleos essenciais podem atuar diretamente matando os fitopatógenos ou agirem no papel de indutores de resistência, envolvendo a ativação de mecanismos de defesa latentes existentes nas plantas. Os sesquiterpenos, principais componentes químicos do óleo essencial de copaíba, são da classe dos terpenos formados por três unidades de isopreno. O efeito nematicida dos óleos essenciais está diretamente associado à atividade desses compostos, cuja ação lipofílica nas membranas dos nematoides provoca rupturas e alterações na permeabilidade celular. Além disso, quando presentes em menores concentrações nos óleos essenciais, o efeito nematicida tende a ser menos pronunciado. Esses compostos são sintetizados pelas plantas como resposta ao ataque de agentes bióticos, como fungos, insetos, bactérias e nematoides, integrando os mecanismos de defesa vegetal (Bakkali et al., 2008; Echeverrigaray et al., 2010).

Dentre os compostos presentes no óleo essencial de copaíba com potencial nematicida, destacam-se o beta-cariofileno, o alfa-humuleno. Esses compostos podem exercer seus efeitos por meio de diversos mecanismos, tais como interrupção da cutícula do nematoide, inibição da atividade enzimática, indução de apoptose e desregulação do sistema nervoso (FERREIRA et al., 2022)

Com base em pesquisas de Bakkali et al. (2008) juntamente com a de Echeverrigaray, Zacaria e Beltrão (2010), o efeito nematicida dos óleos essenciais é atribuído principalmente à ação dos terpenos. Esses componentes, caracterizados por sua natureza lipofílica, interagem com as membranas dos nematoides. Esse processo resulta em alterações na permeabilidade e rupturas nas membranas dos nematoides, comprometendo sua sobrevivência.

A atividade tóxica direcionada a J2 de *Meloidogyne* e a insetos por compostos, como monoterpenos, sesquiterpenos e diarileptanóides, já foi documentada em pesquisas anteriores (ALBUQUERQUE et al., 2007; BABU et al, 2012; OOTANI et al., , 2013). Portanto, é possível que a presença desses compostos no óleo essencial de copaíba possa afetar a atividade biológica dos J2.

Echeverrigaray, Zacaria e Beltrão (2010) destacam que a eficácia nematicida é mais notável quando a concentração desses terpenos é mais alta nos óleos essenciais. Vale observar que a síntese desses compostos pelas plantas está relacionada a respostas de defesa contra agressores bióticos, como fungos, insetos, bactérias e nematoides.

A compreensão do mecanismo pelo qual os óleos essenciais (OEs) e seus componentes atuam torna-se crucial no contexto do controle de nematoides, pois essa compreensão fornece *insights* importantes para a formulação eficaz e os métodos de aplicação adequados (ANDRÉS et al., 2012). Observações de Oka et al. (2000) demonstraram uma relação marcante entre a atividade nematicida e inseticida, indicando a possível participação dos componentes dos OEs na desregulação do sistema nervoso dos nematoides. Pesquisas como as de Kostyukosky et al. (2000) e Priestley et al. (2003) indicam que certos componentes dos OEs interferem com a octopamina, um neuromodulador, e com canais de cloreto regulados por GABA em pragas de insetos. Além disso, Lee et al. (2001) contribuíram ao mostrar que OEs derivados de espécies de *Mentha* inibiram a atividade da enzima acetilcolinesterase (AChE). Adicionalmente, é destacado por Oka et al. (2000) que os OEs podem causar ruptura nas membranas celulares dos nematoides e modificar sua permeabilidade.

Em trabalho realizado por Marques (2020), estudando o efeito do óleo essencial da polpa do pequi no controle de *M. javanica*, observou que o aumento da dose aplicada apresentou maior inibição de eclosão de J2. Marque et al (2023) também avaliaram a atividade nematicida do óleo essencial de pequi. Os resultados dos ensaios de bioensaio demonstraram uma eficácia significativa do óleo essencial de pequi no controle dos juvenis (J2) de *M. javanica*. Os tratamentos com diferentes concentrações do óleo essencial resultaram em taxas consideráveis de mortalidade dos J2, com destaque para os tratamentos T5 (16 mg L<sup>-1</sup>) e T3 (4 mg L<sup>-1</sup>), os quais apresentaram mortalidades de 82% e 66%, respectivamente.

Em estudo conduzido por Santos, Coimbra e Reis (2009), foi identificada a eficácia de extratos provenientes de quatro plantas diferentes na redução do parasitismo causado por nematoides de galhas no cultivo de tomateiro. Especificamente, os extratos derivados de *Myracrodruon urudeuva* (aroeira), *Copaifera langsdorffii* (Copaíba), *Curatela americana* (lixreira) e *Magonia pubescens* (Timbó) demonstraram a capacidade de reduzir a presença dos nematoides nos tomateiros.

As ações de supressão exercidas por diversos compostos fitoquímicos sobre as populações de nematoides foram extensamente estudadas em diversos sistemas patogênicos (PÉREZ et al., 2003). Óleos essenciais de várias espécies de plantas mostraram ter atividade nematicida em nematoides das galhas *in vitro* (OKA et al., 2000; FARIA et al., 2021; LAQUALE et al., 2015).

Diversos estudos têm abordado os efeitos positivos das plantas medicinais no controle de nematoides. Como evidenciado por Gardiano et al. (2010), a aplicação de um extrato aquoso obtido de folhas de crotalária (*Crotalaria mucronata* L.) com concentração de 0,2 g mL<sup>-1</sup> no solo de plantas de tomateiro resultou em uma significativa redução de 33% no número de galhas ocasionadas por *Meloidogyne javanica*, quando comparado ao grupo de controle.

Adicionalmente, a pesquisa de Javed et al. (2007) constatou que a aplicação no solo de um extrato aquoso de folhas de neem (*Azadirachta indica*) em doses de 1,5% e 3% contribuíram para a diminuição tanto do número de galhas quanto das massas de ovos de *M. javanica*.

Os bons resultados obtidos nesta pesquisa reforçam a hipótese de que o óleo essencial de copaíba possui propriedades capazes de reduzir significativamente a taxa de inibição da eclosão de juvenis de segundo estágio (J2) do nematoide *Meloidogyne javanica*. Essa evidência encoraja uma consideração mais ampla desse composto natural como um possível componente em programas de manejo sustentável de nematoides, estimulando a busca por estratégias de aplicação e concentrações otimizadas para maximizar sua eficácia.

A obtenção de uma avaliação completa sobre a eficácia do tratamento requer a realização de estudos em condições *in vivo*, que simulam com maior precisão o ambiente de campo. Adicionalmente, tais investigações poderiam ser cruciais para a identificação das substâncias chave presentes no extrato da planta, que desempenham um papel fundamental na inibição desse patógeno.

## 7 CONCLUSÃO

Os tratamentos com óleo essencial de copaíba apresentaram efeito positivo no controle dos juvenis de segundo estágio (J2) de *Meloidogyne javanica*. A concentração de 2,5 µL, destacou-se com uma redução de eclosão de 67,76% dos juvenis.

O potencial do óleo essencial de copaíba mostra-se promissor como uma adição valiosa às estratégias de controle no manejo de *M. javanica*.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADEKUNLE, O. K.; ACHARYA, Ruchi; SINGH, Bikram. Toxicity of pure compounds isolated from *Tagetes minuta* oil to *Meloidogyne incognita*. **Australasian Plant Disease Notes**, v. 2, p. 101-104, 2007.

AHMAD, Gufran et al. Biological control: a novel strategy for the control of the plant parasitic nematodes. **Antonie van Leeuwenhoek**, v. 114, n. 7, p. 885-912, 2021.

ALBUQUERQUE, Maria Rose Jane R. et al. Nematicidal and larvicidal activities of the essential oils from aerial parts of *Pectis oligocephala* and *Pectis apodocephala* Baker. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 79, p. 209-213, 2007.

ANDRÉ, Weibson Paz Pinheiro et al. Óleos essenciais e seus compostos bioativos no controle de nematoides gastrintestinais de pequenos ruminantes. **Acta Scientiae Veterinariae**, v. 46, n. 1522, p. 1-14, 2018.

ANDRÉS, Maria Fe et al. Nematicidal activity of essential oils: a review. **Phytochemistry Reviews**, v. 11, p. 371-390, 2012.

ANDRÉS, Maria Fe et al. Nematicidal activity of essential oils: a review. **Phytochemistry reviews**, v. 11, p. 371-390, 2012.

BABU, Rosana O. et al. Virtual screening and in vitro assay of potential drug like inhibitors from spices against Glutathione-S-Transferase of *Meloidogyne incognita*. **Bioinformation**, v. 8, n. 7, p. 319, 2012.

BAI, Chuan Qi et al. Nematicidal constituents from the essential oil of *Chenopodium ambrosioides* aerial parts. **Journal of Chemistry**, v. 8, p. S143-S148, 2011.

BAKKALI, Fadil et al. Biological effects of essential oils—a review. **Food and chemical toxicology**, v. 46, n. 2, p. 446-475, 2008.

BARBOSA, P. et al. Nematicidal activity of essential oils and volatiles derived from Portuguese aromatic flora against the pinewood nematode, *Bursaphelenchus xylophilus*. **Journal of Nematology**, v. 42, n. 1, p. 8, 2010.

BATISH, Daizy R. et al. Eucalyptus essential oil as a natural pesticide. **Forest ecology and management**, v. 256, n. 12, p. 2166-2174, 2008.

BUCHBAUER, Gerhard. The detailed analysis of essential oils leads to the understanding of their properties. **CHEMICAL WEEKLY-BOMBAY-**, v. 45, n. 49, p. 163-165, 2000.

- BUTNARIU, Monica; SARAC, IJJOB. Essential oils from plants. **J. Biotechnol. Biomed. Sci**, v. 1, n. 4, p. 35-43, 2018.
- CATANI, Linda et al. Essential Oils as Nematicides in Plant Protection—A Review. **Plants**, v. 12, n. 6, p. 1418, 2023.
- CHEN, Jixiang; LI, Qing X.; SONG, Baoan. Chemical nematicides: Recent research progress and outlook. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 68, n. 44, p. 12175-12188, 2020.
- CHIELLINI, Carolina et al. Exploring the links between bacterial communities and magnetic susceptibility in bulk soil and rhizosphere of beech (*Fagus sylvatica* L.). **Applied Soil Ecology**, v. 138, p. 69-79, 2019.
- COUTINHO, Leopoldo Magno. O conceito de bioma. **Acta botanica brasílica**, v. 20, p. 13-23, 2006.
- DA SILVA, Esdras Henrique et al. Efeito do aldicarbe no ciclo de vida de *Meloidogyne incognita*. **Revista de Agricultura Neotropical**, 2019.
- DOUDA, Ondřej et al. Using plant essences as alternative mean for northern root-knot nematode (*Meloidogyne hapla*) management. **Journal of pest science**, v. 83, p. 217-221, 2010.
- DU, Bin et al. *Phanerochaete chrysosporium* strain B-22, a nematophagous fungus parasitizing *Meloidogyne incognita*. **PloS one**, v. 15, n. 1, p. e0216688, 2020.
- ECHEVERRIGARAY, Sergio; ZACARIA, Jucimar; BELTRÃO, Ricardo. Nematicidal activity of monoterpenoids against the root-knot nematode *Meloidogyne incognita*. **Phytopathology**, v. 100, n. 2, p. 199-203, 2010.
- ESCOBAR, Carolina et al. Overview of root-knot nematodes and giant cells. In: **Advances in botanical research**. Academic Press, p. 1-32. 2015.
- FARIA, Jorge MS et al. Phytochemicals as biopesticides against the pinewood nematode *Bursaphelenchus xylophilus*: A review on essential oils and their volatiles. **Plants**, v. 10, n. 12, p. 2614, 2021.
- FARIA, Jorge MS; RODRIGUES, Ana Margarida. Essential oils as potential biopesticides in the control of the genus *Meloidogyne*: a review. In: **Biology and Life Sciences Forum**. p. 26. MDPI, 2021.
- FERNANDES, Rafael Henrique et al. Bacillus spp. isolates for the control of *Meloidogyne incognita* in common bean. **Científica**, v. 46, n. 3, p. 235-240, 2018.
- FERRAZ, S. et al. Manejo sustentável de fitonematoides. **Viçosa: UFV**, v. 245, 2010.
- FERREIRA, Ana Paula G. et al. ATIVIDADE DO ÓLEO ESSENCIAL DE COPAÍBA (*Copaifera lagsdorfii*) NA ECLOSÃO DE *Meloidogyne javanica*. **Desenvolvimento rural e processos sociais nas ciências agrárias**. Atena, Ponta Grossa – PR. 2022.
- GARDIANO, Cristiane Gonçalves et al. Atividade nematicida de extratos de sementes de espécies de *Crotalaria* sobre *Meloidogyne javanica*. **Revista Trópica: Ciências Agrárias e Biológicas**, v. 4, n. 1, 2010.

GONÇALVES, Angelo Oliveira et al. EFEITO NEMATICIDA DE ÓLEO ESSENCIAL DE EUCALIPTO SOBRE NEMATOIDE DAS GALHAS. **Anais da Semana Acadêmica de Agronomia da Ufes-Campus de Alegre**, 2017.

GONTIJO, Lourenço Antônio Melo; DA SILVA MENDES, Lucas. Uso de fertilizante orgânico associado a microrganismos no controle de nematoides (*Meloidogyne incognita*). **Perquirere**, v. 2, n. 17, p. 19-26, 2020.

GUPTA, Aditi; SHARMA, Satyawati; NAIK, S. N. Biopesticidal value of selected essential oils against pathogenic fungus, termites, and nematodes. **International biodeterioration & biodegradation**, v. 65, n. 5, p. 703-707, 2011.

HAYDOCK, P. P. J. et al. Chemical control of nematodes. In: **Plant nematology**. Wallingford UK: CABI, 2006. p. 392-410.

ISMAN, Murray B. Plant essential oils for pest and disease management. **Crop protection**, v. 19, n. 8-10, p. 603-608, 2000.

JAVED, Nazir et al. Systemic and persistent effect of neem (*Azadirachta indica*) formulations against root-knot nematodes, *Meloidogyne javanica* and their storage life. **Crop Protection**, v. 26, n. 7, p. 911-916, 2007.

KLINK, Carlos A.; MACHADO, Ricardo B. A conservação do Cerrado brasileiro. **Megadiversidade**, v. 1, n. 1, p. 147-155, 2005.

KOSTYUKOVSKY, Moshe et al. Biological activity of two juvenoids and two ecdysteroids against three stored product insects. **Insect biochemistry and molecular biology**, v. 30, n. 8-9, p. 891-897, 2000.

KRUEGER, R. et al. Marigolds (*Tagetes* spp.) for nematode management. **Entomology and Nematology Department, Florida Cooperative Extension Service. University of Hawaii. HI**, v. 96822, 2007.

LAHLOU, Mouhssen; BERRADA, Rached. Composition and nematicidal activity of essential oils of three chemotypes of *Rosmarinus officinalis* L. acclimatized in Morocco. **Flavour and fragrance journal**, v. 18, n. 2, p. 124-127, 2003.

LAQUALE, S. et al. Essential oils as soil biofumigants for the control of the root-knot nematode *Meloidogyne incognita* on tomato. **Annals of Applied Biology**, v. 167, n. 2, p. 217-224, 2015.

LAQUALE, S. et al. Nematotoxic activity of essential oils from Monarda species. **Journal of pest science**, v. 91, p. 1115-1125, 2018.

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

LI, He Qin et al. Chemical composition and toxicities of the essential oil derived from *Kadsura heteroclita* stems against *Sitophilus zeamais* and *Meloidogyne incognita*. **J. Med. Plants Res**, v. 5, p. 4943-4948, 2011.

LIMA-MEDINA, Israel et al. Reação de cultivares de batata aos nematoides-das-galhas **Nematropica**, v. 46, n. 2, p. 188-196, 2016.

- LOPES, Everaldo A. et al. Potencial de isolados de fungos nematófagos no controle de *Meloidogyne javanica*. **Nematologia Brasileira**, v. 31, n. 2, p. 78-84, 2007.
- MACHADO, A. C. Z.; SILVA, S. A. da; FERRAZ, L. C. C. B. Métodos em nematologia agrícola. **Piracicaba: Sociedade Brasileira de Nematologia**, p. 184, 2019.
- MARINO, Regina Helena et al. Controle de *Meloidogyne incognita* raça 1 com óleo essencial de Lippia Alba. **Scientia Plena**, v. 8, n. 4 (a), 2012.
- MARINO, Regina Helena et al. Controle de *Meloidogyne incognita* raça 1 com óleo essencial de Lippia Alba. **Scientia Plena**, v. 8, n. 4 (a), 2012.
- MARQUES, Átila Alves et al. Chemical composition of pequi essential oil (*Caryocar brasiliense*) and nematicidal activity in the control of *Meloidogyne javanica*. **Revista Ceres**, v. 70, p. e70505, 2023.
- MARQUES, Átila Alves. **Atividade nematicida do óleo essencial da polpa de Pequi (*Caryocar brasiliense*) no controle de *Meloidogyne javanica***. 2020. 37 p. Trabalho de conclusão de curso (Curso Bacharelado em Agronomia). Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Morrinhos, Morrinhos, GO, 2020.
- MEYER, Susan LF et al. Dose–response effects of clove oil from *Syzygium aromaticum* on the root-knot nematode *Meloidogyne incognita*. **Pest Management Science: formerly Pesticide Science**, v. 64, n. 3, p. 223-229, 2008.
- MOREIRA, Francisco José Carvalho et al. Controle alternativo de nematoide das galhas (*Meloidogyne incognita*) raça 2, com óleos essenciais em solo. **Summa Phytopathologica**, v. 41, p. 207-213, 2015.
- MOREIRA, Francisco JoséCarvalho; SANTOS, Carmem DoloresGonzaga; INNECCO, Renato. Hatching and mortality of second-stage juveniles of *Meloidogyne incognita* race 2 in essential plant oils. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 40, n. 3, p. 441, 2009.
- NTALLI, Nikoletta G. et al. Phytochemistry and nematicidal activity of the essential oils from 8 Greek Lamiaceae aromatic plants and 13 terpene components. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 58, n. 13, p. 7856-7863, 2010.
- NUNES, Heliab B. et al. Parasitismo do nematoide de galhas, *Meloidogyne incognita*, em variedades de mamona. **Natureza on line**, p. 43-46, 2011.
- NUNES, Henrique Teixeira; MONTEIRO, Antonio Carlos; POMELA, Alan William Vilela. Uso de agentes microbianos e químico para o controle de *Meloidogyne incognita* em soja. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 32, p. 403-409, 2010.
- OKA, Yuji et al. Nematicidal activity of essential oils and their components against the root-knot nematode. **Phytopathology**, v. 90, n. 7, p. 710-715, 2000.
- OKA, Yuji et al. Nematicidal activity of essential oils and their components against the root-knot nematode. **Phytopathology**, v. 90, n. 7, p. 710-715, 2000.
- ONIFADE, Anthony K. et al. Nematicidal activity of *Haplophyllum tuberculatum* and *Plectranthus cylindraceus* oils against *Meloidogyne javanica*. **Biochemical Systematics and Ecology**, v. 36, n. 9, p. 679-683, 2008.

- OOTANI, Marcio Akio et al. Use of essential oils in agriculture. **Journal of biotechnology and biodiversity**, v. 4, n. 2, p. 162-174, 2013.
- PANDEY, R. et al. Essential oils as potent source of nematicidal compounds. **Journal of Phytopathology**, v. 148, n. 7-8, p. 501-502, 2000.
- PÉREZ, M. P. et al. Nematicidal activity of essential oils and organic amendments from Asteraceae against root-knot nematodes. **Plant Pathology**, v. 52, n. 3, p. 395-401, 2003.
- PÉREZ, M. P. et al. Nematicidal activity of essential oils and organic amendments from Asteraceae against root-knot nematodes. **Plant Pathology**, v. 52, n. 3, p. 395-401, 2003.
- PRIESTLEY, Caroline M. et al. Thymol, a constituent of thyme essential oil, is a positive allosteric modulator of human GABAA receptors and a homo-oligomeric GABA receptor from *Drosophila melanogaster*. **British journal of pharmacology**, v. 140, n. 8, p. 1363-1372, 2003.
- ROCHA, Leandro Souza et al. Reação de genótipos de maracujazeiro a *Meloidogyne incognita* raça 3 e *Meloidogyne javanica*. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 35, p. 1017-1024, 2013.
- RUTTER, William B.; FRANCO, Jessica; GLEASON, Cynthia. Rooting out the mechanisms of root-knot nematode–plant interactions. **Annual Review of Phytopathology**, v. 60, p. 43-76, 2022.
- SALGADO, S. M. L. et al. Hatching and mortality of second-stage juveniles of *Meloidogyne exigua* in essential plant oils. 2003.
- SANTOS, I. L.; COIMBRA, J. L.; REIS, A. T.C. C. Atividade de extratos aquosos de plantas do cerrado do estado da Bahia contra o nematoide das galhas *Meloidogyne javanica*. Cruz das Almas. **Magistra**, 21: 171-177, 2009.
- SANTOS, Jacilene Francisca Souza et al. Interação microbiana e fertilizante Protector® NM no controle de *Meloidogyne incognita*. **Scientia Plena**, v. 14, n. 11, 2018.
- SAXENA, D. B.; GOSWAMI, B. K.; TOMAR, S. S. Nematicidal activity of some essential oils against *Meloidogyne incognita*. **Indian Perfumer**, v. 3, p. 150, 1987.
- SCHOUTEDEN, Nele et al. Arbuscular mycorrhizal fungi for the biocontrol of plant-parasitic nematodes: a review of the mechanisms involved. **Frontiers in microbiology**, v. 6, p. 1280, 2015.
- SILVA, A. P. P.; MELO, B.; FERNANDES, N. Fruteiras do cerrado. **Núcleo de Estudos em Fruticultura no Cerrado**, p. 1, 2003.
- SILVA, Maria do Carmo Lopes da; SANTOS, Carmem Dolores Gonzaga; SILVA, Gilson Soares da. Espécies de *Meloidogyne* associadas a vegetais em microrregiões do estado do Ceará. **Revista Ciência Agronômica**, v. 47, p. 710-719, 2016.
- SINHA, Archana et al. Nematicidal activity of essential oils and their components against the root-knot nematode *Meloidogyne incognita*. **Indian Journal of Nematology**, v. 36, n. 1, p. 109-114, 2006.
- SOSA, Marta E. et al. Insecticidal and nematicidal essential oils from Argentinean *Eupatorium* and *Baccharis* spp. **Biochemical systematics and ecology**, v. 43, p. 132-138, 2012.

SOUZA, Ariana B. et al. Antimicrobial activity of terpenoids from *Copaifera langsdorffii* Desf. against cariogenic bacteria. **Phytotherapy Research**, v. 25, n. 2, p. 215-220, 2011.

STANGARLIN, J. R. et al. Control of plant diseases using extracts from medicinal plants and fungi. **Science against microbial pathogens: communicating current research and technological advances**. Badajoz: Formatex, v. 2, p. 1033-1042, 2011.

STRASSBURG, Bernardo BN et al. Moment of truth for the Cerrado hotspot. **Nature Ecology & Evolution**, v. 1, n. 4, p. 0099, 2017.

SUBEDI, Sudeep; THAPA, Bihani; SHRESTHA, Jiban. Root-knot nematode (*Meloidogyne incognita*) and its management: a review. **Journal of Agriculture and Natural Resources**. v. 2 p. 21-31. 2020.

TEOH, Eng Soon; TEOH, Eng Soon. Secondary metabolites of plants. **Medicinal orchids of Asia**, p. 59-73, 2016.

WATSON, Tristan T.; STRAUSS, Sarah L.; DESAEGER, Johan A. Identification and characterization of Javanese root-knot nematode (*Meloidogyne javanica*) suppressive soils in Florida. **Applied Soil Ecology**, v. 154, p. 103597, 2020.

WU, Qiuli et al. Association of oxidative stress with the formation of reproductive toxicity from mercury exposure on hermaphrodite nematode *Caenorhabditis elegans*. **Environmental toxicology and pharmacology**, v. 32, n. 2, p. 175-184, 2011.