



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
Curso de Engenharia Agrônoma



GIOVANNA GOMES ZANARELI

USO DE ÓLEO ESSENCIAL DE CITROS PARA CONTROLE DE FITONEMATOIDE

ARARAS/SP
2025



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
Curso de Engenharia Agrônoma



GIOVANNA GOMES ZANARELI

USO DE ÓLEO ESSENCIAL DE CITROS PARA CONTROLE DE FITONEMATÓIDES

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

Orientador: Prof. Dr. Evandro Henrique Schinor

ARARAS/SP
2025

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos meus pais Adilson Zanareli e Edilamar Gomes, e ao meu irmão Renan Zanareli que sempre me apoiaram e me auxiliaram ao longo de todos esses anos.

Agradeço também à República Viracopos, onde morei durante meus anos de graduação e além de crescer em muitos aspectos, cultivei amizades para a vida toda.

Agradeço ainda ao meu grupo de amigos Ádely, Elaine, Evellyn, Kaio e Felipe, que estavam ao meu lado durante esses anos na UFSCar, deixando até os estudos mais divertidos.

Agradeço ao laboratório LANEM, por me auxiliar durante todo o desenvolvimento do meu projeto e ao Prof. Dr. Evandro Schinor, por acreditar em mim e no meu potencial.

Agradeço também à Bárbara Pavanelli, que me ajudou imensamente durante todo o processo do trabalho.

E, por último, agradeço ao meu namorado Gianluca Aggio, por sempre me apoiar, me incentivar e deixar meus dias mais leves e alegres.

LISTA DE TABELA

Tabela 1. Número de nematoides móveis em solução <i>in vitro</i> com óleos de laranja Pêra (LP) e mexicana Late IAC 585 (LM) em diferentes dosagens e tempo.....	36
---	----

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ciclo de vida de <i>Meloidogyne enterolobii</i> , Fonte: Desenho de Patrícia Milano, retirado de Pavanelli (2022).	19
Figura 2. Ovo, juvenil (J2) e fêmea adulta de <i>Meloidogyne enterolobii</i> , Fonte: Pavanelli, Bárbara (2025)	19
Figura 3. Ciclo de vida de <i>Pratylenchus brachyurus</i> em soja. Fonte: Lopez-Nicora <i>et al.</i> (2021).	20
Figura 4. Fêmeas de <i>Pratylenchus brachyurus</i> e <i>Pratylenchus zaeae</i> , encontrados em raízes de soja e cana de açúcar, respectivamente. Fonte: Nascimento & Lopes, 2022.	21
Figura 5. Ciclo do <i>Heterodera glycines</i> . Figura adaptada de Torres <i>et al.</i> (2008).	22
Figura 6. Cistos de <i>Heterodera</i> sp., Fonte: Pavanelli, Bárbara (2025).	23
Figura 7. Fêmea de <i>Helicotylenchus</i> sp., Fonte: Pavanelli, Bárbara (2025).	24
Figura 8. Área de coleta dos nematoides (asterisco) e classes de solo por quadra do Centro de Ciências Agrárias/UFSCar Campus Araras; Fonte: Fernando A, Yoshida, 2016	29
Figura 9. Extração de óleo essencial da casca de laranja Pêra e frascos de vidro âmbar contendo óleo essencial de laranja Pêra. Fonte: autor, 2025	30
Figura 10. Soluções controle, laranja Pêra e mexerica Late IAC 585, e agitação da solução de LM. Fonte: autor, 2025	31
Figura 11. Placas ELISA com nematoides e óleo de mexerica Late IAC 585. Fonte: autor, 2025	32
Figura 12. Placas ELISA com os tratamentos de óleo de laranja Pêra e mexerica Late IAC 585 em BOD. Fonte: autor, 2025.	33
Figura 13. Microscópio e contador numérico utilizados para contabilizar os nematoides móveis e imóveis, e <i>Helicotylenchus</i> sp. observado no ensaio. Fonte: autor, 2025	33
Figura 14. Número de nematoides móveis nos tratamentos de laranja Pêra e mexerica Late IAC 585 em função da dosagem e tempo (2025).	36
Figura 15. Porcentagem de eficiência de controle in vitro de nematoides com diferentes concentrações de óleos essenciais de laranja Pêra e mexerica Late IAC 585 (2025).	37

RESUMO

Os fitonematoides representam um dos principais desafios fitossanitários para a agricultura, causando prejuízos significativos em culturas de importância econômica, incluindo a citricultura. O controle convencional dessas pragas é geralmente baseado no uso de nematicidas químicos, os quais apresentam limitações como impacto ambiental, alta toxicidade e risco de seleção de populações resistentes. Nesse contexto, cresce o interesse por alternativas sustentáveis, dentre as quais se destacam os óleos essenciais. Assim, este trabalho teve como objetivo avaliar o potencial nematicida *in vitro* dos óleos essenciais de laranja Pêra (*Citrus × sinensis*) e mexerica Late IAC 585 (*Citrus × deliciosa*) no controle de nematoides coletados de solo agrícola. O experimento foi conduzido no laboratório de nematologia (LANEM), na Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), no campus Araras. Os óleos essenciais foram extraídos por hidrodestilação em aparelho de Clevenger, utilizando as cascas dos frutos. Os ensaios foram conduzidos em placas ELISA, com as concentrações de 0, 100, 200 e 400 $\mu\text{L mL}^{-1}$, avaliando-se a mobilidade dos nematoides nos tempos de 0 e 24 horas. Os resultados demonstraram que ambos os óleos essenciais reduziram significativamente o número de nematoides móveis, indicando atividade nematicida. A maior dose, 400 $\mu\text{L mL}^{-1}$, apresentou as respostas mais expressivas, alcançando até 91,48% de eficácia para o óleo de laranja Pêra. O óleo de mexerica Late IAC 585 também apresentou elevada eficiência de até 78,82%, na dosagem de 200 $\mu\text{L mL}^{-1}$. Diferenças observadas entre os óleos podem ser atribuídas às suas composições químicas distintas, como diferentes teores de limoneno, γ -terpineno e outros terpenoides bioativos. Conclui-se que os óleos essenciais de citros avaliados possuem potencial promissor como agentes naturais para o manejo de fitonematoides, constituindo alternativa sustentável aos nematicidas químicos.

Palavras chaves: Fitonematoide, Fitotecnia, Citricultura, Sustentabilidade

ABSTRACT

Plant-parasitic nematodes represent one of the major phytosanitary challenges in agriculture, causing significant losses in economically important crops, including citrus production. Conventional control of these pests is typically based on chemical nematicides, which present limitations such as environmental impact, high toxicity, and the risk of selecting resistant populations. In this context, interest in sustainable alternatives has increased, particularly the use of essential oils. Therefore, this study aimed to evaluate the *in vitro* nematicidal potential of essential oils extracted from Pêra sweet orange (*Citrus × sinensis*) and Late IAC 585 mandarin (*Citrus × deliciosa*) in the control of nematodes collected from agricultural soil. The experiment was conducted at the LANEM laboratory of the Federal University of São Carlos (UFSCar), Araras campus. Essential oils were obtained by hydrodistillation using a Clevenger apparatus, employing fruit peels as raw material. Bioassays were performed in ELISA plates at concentrations of 0, 100, 200, and 400 $\mu\text{L mL}^{-1}$, evaluating nematode mobility at 0 and 24 hours. The results showed that both essential oils significantly reduced the number of mobile nematodes, indicating nematicidal activity. The highest concentration, 400 $\mu\text{L mL}^{-1}$, produced the most expressive effect, reaching up to 91.48% efficacy for Pêra sweet orange oil. The Late IAC 585 mandarin oil also exhibited high effectiveness, reaching up to 78.82% efficacy at the 200 $\mu\text{L mL}^{-1}$ dosage. The differences observed between the oils may be attributed to their distinct chemical compositions, including varying levels of limonene, γ -terpinene, and other bioactive terpenoids. It is concluded that the evaluated citrus essential oils show promising potential as natural agents for the management of plant-parasitic nematodes, representing a sustainable alternative to chemical nematicides.

Keywords: Phytonematode, Crop Science, Citrus Production, Sustainability.

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	9
2.	OBJETIVO	11
2.1.	Objetivo Geral	11
2.2.	Objetivos Específicos	11
3.	REVISÃO BIBLIOGRAFICA	12
3.1.	ÓLEO ESSENCIAL	12
3.2.	NEMATOIDES FITOPARASITAS	14
3.2.1.	CARACTERÍSTICAS GERAIS	14
3.2.2.	MÉTODOS DE CONTROLE	16
3.2.3.	PRINCIPAIS ESPÉCIES NO BRASIL E SEUS DANOS	18
3.3.	CITRICULTURA	25
3.3.1.	Laranja Pêra	26
3.3.2.	Mexerica Late IAC 585	27
4.	MATERIAL E MÉTODOS	28
4.1.	GEOLACOLIZAÇÃO	28
4.2.	OBTENÇÃO DOS NEMATOIDES	28
4.3.	OBTENÇÃO DOS ÓLEOS ESSENCIAIS	29
4.4.	EFEITO DOS ÓLEOS ESSENCIAIS SOBRE OS NEMATOIDES	30
4.5.	DELINEAMNETO EXPERIMENTAL	34
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
6.	CONCLUSÃO	41
7.	REFERENCIAS	42

1. INTRODUÇÃO

A agricultura é um dos pilares econômicos do Brasil, sendo responsável por significativa parcela do Produto Interno Bruto (PIB), geração de empregos e exportações. Culturas como soja, milho, café, cana-de-açúcar, hortaliças e citros possuem grande importância tanto no mercado interno quanto externo. No entanto, todas essas culturas estão sujeitas a diversos estresses abióticos e bióticos, entre os quais os nematoides fitoparasitas se destacam como um dos principais agentes causadores de perdas econômicas na produção agrícola.

Estima-se que, no mundo, os nematoides causem prejuízos anuais superiores a 80 bilhões de dólares na agricultura (Nicol *et al.*, 2011), sendo que, no Brasil, as perdas diretas e indiretas podem alcançar 35 bilhões de reais por ano, segundo dados da Sociedade Brasileira de Nematologia (2022). Essas perdas ocorrem principalmente devido à redução no desenvolvimento radicular, à menor absorção de água e nutrientes e ao comprometimento da produtividade das culturas (Shao *et al.*, 2023).

Historicamente, o controle de nematoides e outras pragas agrícolas têm sido realizado com base no uso de defensivos químicos, os quais, embora eficazes em curto prazo, apresentam limitações importantes, como a contaminação ambiental, a seleção de populações resistentes, riscos à saúde humana e altos custos para o produtor (Silva *et al.*, 2019). Essas questões reforçam a necessidade de buscar alternativas sustentáveis que conciliem eficiência no manejo fitossanitário com menor impacto ambiental. Nesse sentido, cresce o interesse pelo uso de agentes biológicos, extratos vegetais e bioinsumos, que podem atuar de forma seletiva, segura e compatível com práticas de agricultura sustentável (Bardin *et al.*, 2015).

Entre as alternativas promissoras estão os óleos essenciais (OEs), compostos voláteis obtidos a partir de tecidos vegetais aromáticos. Os OEs são formados principalmente por terpenos, aldeídos e fenóis, que apresentam diversas propriedades biológicas, como atividade antifúngica, bactericida, inseticida e nematicida. Pesquisas recentes têm demonstrado que óleos de espécies como *Origanum vulgare*, *Mentha piperita* e *Cymbopogon citratus* são capazes de inibir o desenvolvimento e a reprodução de *Meloidogyne incognita*, com taxas de mortalidade superiores a 80% em condições laboratoriais (Mohamed *et al.*, 2020; Silva *et al.*, 2021).

Nesse contexto, destaca-se o potencial dos óleos essenciais extraídos de frutas cítricas, que possuem em sua composição alta concentração de d-limoneno, um monoterpene com

comprovada atividade bioinseticida e nematicida. O Brasil, como líder na produção de citros, gera grande quantidade de resíduos industriais, como cascas e polpas, que podem ser reaproveitados para a extração desses compostos. Apesar da disponibilidade e da viabilidade econômica, há poucos estudos avaliando a eficácia dos óleos essenciais cítricos no controle de nematoides, especialmente em condições agrícolas tropicais (Isman, 2006).

Dessa forma, este trabalho visa avaliar a atividade nematicida dos óleos essenciais de duas variedades cítricas: laranja Pêra (*Citrus × sinensis* L. Osbeck) e mexerica Late IAC 585 (*Citrus × deliciosa* Tenore), contra nematoides fitopatogênicos. Espera-se que os resultados possam contribuir para o desenvolvimento de bioinsumos viáveis e sustentáveis, além de agregar valor a subprodutos da cadeia citrícola e colaborar para um manejo agrícola mais eficiente e ecológico.

2. OBJETIVO

2.1. Objetivo Geral

Avaliar o potencial nematicida *in vitro* dos óleos essenciais de variedades de citros no controle de fitonematoides.

2.2. Objetivos Específicos

- Avaliar a atividade nematicida *in vitro* dos óleos essenciais de laranja Pêra (*Citrus × sinensis* L. Osbeck) e mexerica Late IAC 585 (*Citrus × deliciosa* Tenore) extraídos da casca dos frutos;
- Avaliar a eficácia de controle dos nematoides das dosagens (0, 100, 200, 400 $\mu\text{L mL}^{-1}$) entre os diferentes óleos essenciais estudados.

3. REVISÃO BIBLIOGRAFICA

3.1. ÓLEO ESSENCIAL

Óleos essenciais são extratos naturais, lipofílicos e voláteis obtidos de partes de plantas aromáticas como folhas, flores, sementes, cascas e frutos. Compostos majoritariamente por monoterpenos, por exemplo, limoneno e carvacrol, fenóis, como eugenol e timol, e álcoois como geraniol, apresentando também aldeídos, cetonas e ésteres, seus constituintes variam conforme a espécie vegetal, condição de cultivo, parte da planta utilizada e método de extração (Dhifi *et al.*, 2016).

Esses compostos são produzidos como metabólitos secundários e apresentam forte odor característico, sendo amplamente utilizados nas indústrias farmacêutica, alimentícia, cosmética e agrícola. Do ponto de vista químico, os óleos essenciais são constituídos principalmente por terpenos e terpenoides, além de compostos aromáticos derivados do fenilpropano, cuja combinação confere propriedades biológicas diversificadas (Bakkali *et al.*, 2008).

Eles também desempenham funções ecológicas importantes para as plantas, atuando na defesa contra herbívoros, patógenos e competidores, além de participarem de interações planta-inseto e planta-microrganismo. Essas funções biológicas justificam o crescente interesse científico no uso dos óleos essenciais como agentes naturais no controle de pragas e doenças agrícolas (Bakkali *et al.*, 2008). Atualmente, os óleos essenciais são alvo de crescente interesse científico por seu potencial antimicrobiano, antifúngico, inseticida e nematicida, especialmente no contexto da agricultura sustentável.

Diversos estudos demonstram o efeito nematicida de óleos essenciais: óleo de orégano apresentou mais de 80% de mortalidade de *Meloidogyne incognita* em bioensaios (Mohamed *et al.*, 2020); óleo de citronela e eucalipto demonstraram eficácia na redução de infecções radiculares (Silva *et al.*, 2021); e outros compostos mostraram-se capazes de inibir a eclosão de ovos e a mobilidade de juvenis.

Graças à alta lipossolubilidade e baixa massa molar, os componentes dos óleos essenciais penetram facilmente em membranas celulares, promovendo alterações na permeabilidade, desorganização estrutural e perda do equilíbrio osmótico, resultando em paralisia e morte dos organismos, apresentando, por isso, ações terapêuticas e biológicas de amplo espectro, inclusive na agricultura, medicina, cosméticos e alimentos (Bakkali *et al.*, 2008).

A composição química dos óleos essenciais é altamente variável e pode ser influenciada por fatores como espécie vegetal, variedade genética, estágio de desenvolvimento da planta, condições climáticas, solo, parte da planta utilizada e método de extração. Mesmo óleos obtidos de uma mesma espécie podem apresentar diferenças significativas na proporção de seus constituintes majoritários, o que impacta diretamente suas propriedades biológicas (Burt, 2004).

Os óleos essenciais de citros são extraídos principalmente da casca de frutas do gênero *Citrus* (laranja, limão, tangerina etc.). O composto majoritário desses óleos é o d-limoneno, um monoterpene responsável por até 90% da fração volátil do óleo, o qual também é um composto comprovadamente eficaz contra pragas agrícolas, incluindo insetos e fitonematoides. Outros constituintes relevantes incluem mirceno, alfa-pineno, sabineno, linalol e compostos oxigenados, como citral e citronelal (Santos *et al.*, 2023).

Além da eficácia biológica, os OEs de *Citrus* têm a vantagem de serem subprodutos abundantes da indústria de sucos, tornando-se economicamente viáveis para uso agrícola. A casca, que seria descartada, pode ser aproveitada para extração dos óleos, promovendo valorização de resíduos agroindustriais e contribuindo para uma produção mais circular e sustentável (Zunkeller, 2023).

No campo da agronomia, os óleos essenciais de *Citrus* vêm sendo estudados como alternativas naturais ao uso de defensivos químicos, principalmente no controle de doenças e pragas. A dissertação de Zunkeller (2023) demonstrou que óleos essenciais extraídos de variedades de tangerinas, como a mexerica Late IAC 585, apresentam elevada atividade antifúngica contra o fungo *Colletotrichum abscissum*, causador da podridão floral dos citros. Essa atividade é atribuída à presença de limoneno, γ -terpineno e outros compostos bioativos que interferem no crescimento fúngico e na germinação dos esporos.

De modo geral, esses compostos aliam eficácia biológica, sustentabilidade econômica e baixo risco ambiental, tornando-se aliados estratégicos para uma agricultura mais sustentável e moderna. Com aplicação comprovada no controle de pragas (nematoides, insetos e fitopatógenos) e benefícios adicionais na redução de resíduos e aproveitamento industrial, apresentando um papel crescente no agronegócio nacional e global (Liu *et al.*, 2020).

3.2. NEMATOIDES FITOPARASITAS

3.2.1. CARACTERÍSTICAS GERAIS

Os nematoides fitoparasitas são vermes microscópicos, multicelulares e de corpo alongado, pertencentes ao filo Nematoda, que apresentam hábito de vida parasitário obrigatório em plantas e organismos pluricelulares. Esses organismos habitam o solo ou os tecidos vegetais, atacando principalmente órgãos subterrâneos como raízes, rizomas, tubérculos e bulbos, e estão distribuídos em praticamente todos os solos cultiváveis do mundo, sendo particularmente problemáticos em regiões de clima tropical e subtropical, como o Brasil (Tejo *et al.*, 2020).

Morfológicamente, os nematoides apresentam corpo cilíndrico, alongado e filiforme, recoberto por uma cutícula flexível secretada pela hipoderme, que lhes confere proteção e elasticidade. Essa estrutura, associada à musculatura longitudinal e ao pseudoceloma, uma cavidade corporal preenchida por fluido, possibilita o movimento serpenteante característico no solo e dentro dos tecidos vegetais (Boschiero, 2024). O sistema digestivo é completo, estendendo-se da boca até o ânus, e inclui o esôfago, que é modificado para formar um estilete bucal. Essa estrutura, tem a forma de agulha, e é uma das principais adaptações morfológicas dos nematoides fitoparasitas, sendo utilizada para perfurar as células vegetais, sugar seu conteúdo e injetar secreções provenientes das glândulas esofágicas, que contêm enzimas hidrolíticas e substâncias conhecidas como effectors, capazes de degradar as paredes celulares, suprimir respostas de defesa da planta e induzir a formação de células de alimentação especializadas, como as células gigantes observadas em infecções por *Meloidogyne* spp. (Embrapa, 2022).

O ciclo de vida dos fitonematoides compreende seis estádios: ovo, quatro estádios juvenis (J1 a J4) e o adulto, sendo que a passagem entre os estádios ocorre por ecdises, ou seja, trocas periódicas da cutícula. O desenvolvimento inicia-se no interior do ovo, onde ocorre a formação do primeiro estágio juvenil (J1). Após a primeira muda, ainda dentro do ovo, forma-se o segundo estágio juvenil (J2), que geralmente representa a fase infectante da maioria das espécies. O J2 eclode do ovo e se desloca ativamente no solo, orientando-se por estímulos químicos liberados pelas raízes das plantas hospedeiras (Perry; Moens, 2013).

Após a penetração no sistema radicular, o nematoide pode adotar diferentes estratégias parasitárias, dependendo do gênero e da espécie, podendo migrar entre os tecidos ou estabelecer um sítio de alimentação fixo. Durante esse período, ocorrem sucessivas mudas

juvenis até a fase adulta, quando o organismo atinge a maturidade reprodutiva (Ferraz; Brown, 2016).

A reprodução pode ocorrer de forma sexuada ou por partenogênese, dependendo da espécie, o que contribui para sua ampla disseminação. As espécies de fitonematoides podem ser classificadas em ectoparasitas, que não penetram as raízes e se alimentam externamente delas, sendo encontrados principalmente nos solos, endoparasitas migratórios, que penetram completamente o sistema radicular das plantas e se movimentam pelos tecidos internos, endoparasitas sedentários, que apesar de penetrarem completamente, eles permanecem fixos em um local de alimentação dentro da raiz, e semiendoparasitas, que fica parcialmente dentro dos tecidos (Inomoto, 2011).

A duração do ciclo de vida varia conforme a espécie, a temperatura do solo, a umidade e a disponibilidade do hospedeiro, podendo completar-se em 20 a 45 dias em condições favoráveis. Essa rápida multiplicação populacional permite que pequenas infestações iniciais evoluam rapidamente para níveis economicamente prejudiciais (Perry *et al.*, 2009).

Sua fisiologia também é fortemente adaptada ao parasitismo vegetal. Durante o processo de infecção, o segundo estágio juvenil (J2) migra pelo solo até penetrar as raízes das plantas hospedeiras. A penetração ocorre de forma mecânica e enzimática, promovendo a ruptura das paredes celulares e o estabelecimento do parasita no interior do tecido radicular (Inomoto, 2011). A partir desse momento, o nematoide passa a se alimentar do conteúdo celular, alterando o metabolismo da planta e comprometendo a absorção de água e nutrientes. Como consequência, surgem sintomas típicos de deficiência nutricional, clorose, murcha e redução do desenvolvimento vegetal, o que resulta em quedas expressivas de produtividade. Além disso, as lesões nas raízes provocadas pelos nematoides favorecem a entrada de outros patógenos, como fungos e bactérias, agravando o impacto sobre as plantas cultivadas (Ferraz & Brown, 2016).

Diferentemente de outros patógenos, os danos causados por fitonematoides são frequentemente subestimados, uma vez que os sintomas aéreos, como clorose, murcha e redução do crescimento, são inespecíficos e facilmente confundidos com deficiência nutricional ou estresse hídrico. No sistema radicular, entretanto, os nematoides promovem lesões, necroses, deformações e redução do volume de raízes, comprometendo a absorção de água e nutrientes e resultando em menor vigor das plantas e queda de produtividade (Perry; Moens, 2011).

Eles apresentam ampla gama de hospedeiros e estão associados a culturas anuais e perenes, incluindo grãos como soja, milho e trigo; fibras como algodão; hortaliças; frutíferas; plantas ornamentais e espécies florestais. Essa ampla distribuição e diversidade de hospedeiros tornam o manejo desses patógenos particularmente desafiador, sobretudo em sistemas de monocultivo e em áreas com histórico de infestação, onde populações elevadas podem se estabelecer e persistir por longos períodos no solo (Decraemer; Hunt, 2013).

Estima-se que os fitonematoides causem perdas globais superiores a US\$ 100 bilhões por ano, afetando praticamente todas as culturas de importância econômica (Nicol *et al.*, 2011). De acordo com estimativas da Global Crop Protection (2015), as perdas causadas por nematoides no agronegócio nacional chegam a aproximadamente R\$ 35 bilhões por ano. Apenas na cultura da soja, estudos realizados pela Syngenta em parceria com a Agroconsult e a SBN (Sociedade Brasileira de Nematologia), indicam prejuízos acumulados que ultrapassam R\$ 65 bilhões, sendo que em algumas regiões produtivas, como o oeste da Bahia, já foram registradas reduções de produtividade superiores a 50% devido à infestação por nematoides (Soares, 2022). Esses números evidenciam o elevado impacto econômico e produtivo desses patógenos no Brasil, destacando a necessidade de adoção de estratégias integradas de manejo.

3.2.2. MÉTODOS DE CONTROLE

O manejo de fitonematoides envolve um conjunto de estratégias que podem ser classificadas em métodos culturais, genéticos, físicos, químicos e biológicos, sendo que a adoção isolada de apenas uma dessas abordagens raramente é suficiente para manter as populações abaixo do nível de dano econômico. Dessa forma, o manejo integrado de nematoides tem sido amplamente recomendado, visando combinar diferentes métodos de controle de maneira complementar e sustentável (Sikora *et al.*, 2018).

Entre os métodos culturais, destacam-se práticas como a rotação de culturas, o uso de plantas não hospedeiras ou antagonistas, a incorporação de resíduos orgânicos e o manejo adequado do solo. Essas estratégias atuam principalmente na redução da densidade populacional dos nematoides ao longo do tempo, interferindo na disponibilidade de hospedeiros e na sobrevivência dos organismos no solo. Culturas como crotalária, milheto e algumas espécies de braquiária têm sido amplamente estudadas por sua capacidade de reduzir populações de fitonematoides, especialmente em sistemas agrícolas intensivos (Tihohod, 1993; Dias *et al.*, 2023).

O uso de cultivares resistentes ou tolerantes constitui outra estratégia importante no manejo de fitonematoides, sendo amplamente empregada em culturas anuais e perenes. A resistência vegetal pode limitar a penetração, o desenvolvimento ou a reprodução dos nematoides, reduzindo significativamente os danos à cultura. No entanto, a disponibilidade de genótipos resistentes ainda é restrita para muitas espécies vegetais, e a pressão de seleção pode levar à adaptação das populações de nematoides, o que reforça a necessidade de uso integrado dessa estratégia (Perry; Moens, 2011).

O controle químico tem sido amplamente utilizado na agricultura devido à sua ação rápida e à eficiência na redução das populações desses organismos no solo e nas raízes. Tradicionalmente, os nematicidas químicos atuam interferindo em processos fisiológicos essenciais dos nematoides, como a transmissão nervosa, resultando em paralisia, redução da mobilidade e morte. Essa estratégia é frequentemente empregada em culturas de alto valor econômico ou em áreas com elevados níveis de infestação, onde perdas significativas de produtividade podem ocorrer (Chitwood, 2002).

Apesar da eficiência, o uso de nematicidas químicos apresenta limitações importantes, incluindo o risco de contaminação ambiental, toxicidade a organismos não alvo e restrições regulatórias cada vez mais rigorosas. Além disso, o custo elevado dos produtos e os impactos negativos sobre a microbiota do solo tornam o uso isolado do controle químico uma alternativa pouco sustentável a longo prazo. Dessa forma, o controle químico tem sido progressivamente inserido em estratégias de manejo integrado, sendo combinado com métodos culturais, biológicos e o uso de produtos de origem vegetal, visando maior eficiência e menor impacto ambiental (Perry; Moens, 2011; Sikora *et al.*, 2018).

Nesse contexto, o controle biológico e o uso de produtos de origem natural vêm ganhando destaque como alternativas promissoras no manejo de fitonematoides. Microrganismos antagonistas, como fungos nematófagos (*Pochonia chlamydosporia*, *Purpureocillium lilacinum*) e bactérias rizosféricas, podem atuar na redução das populações por meio de parasitismo, antibiose ou indução de resistência nas plantas. Paralelamente, compostos vegetais, como os óleos essenciais, apresentam potencial significativo devido à sua diversidade química, múltiplos mecanismos de ação e menor impacto ambiental, sendo considerados ferramentas complementares dentro de programas de manejo integrado (Siddiqui; Shahid, 2012; Pavela; Benelli, 2016).

3.2.3. PRINCIPAIS ESPÉCIES NO BRASIL E SEUS DANOS

3.2.3.1. *Meloidogyne spp.*

O gênero *Meloidogyne spp.*, conhecido como nematoide-das-galhas, apresenta mais de 80 espécies descritas, como *Meloidogyne incognita*, *M. javanica*, *M. enterolobii*, entre outras. Esses nematoides apresentam ampla gama de hospedeiros e atacam culturas como soja, milho, algodão, feijão, café, cana-de-açúcar, goiaba, citros e diversas hortaliças (Silva *et al.*, 2019).

São vermes endoparasitas, ou seja, penetram completamente seus corpos no interior da raiz ou outro órgão vegetal por pelo menos uma parte de seus ciclos de vida. Os machos são vermiformes, móveis no solo e não se alimentam após alcançarem a fase adulta, tendo como principal função buscar fêmeas para reprodução (Embrapa, 2022). As fêmeas são sedentárias, o que significa que entram na raiz e permanecem fixas em um nicho, formando estruturas de alimentação permanentes, elas apresentam corpo globoso na sua fase adulta, de coloração esbranquiçada, são a principal responsável pela reprodução e pelos danos observados nas plantas, quando ela se fixa em uma região, começa a secretar substâncias que induzem alterações fisiológicas nas células da planta, formando as chamadas células gigantes, que atuam como fontes de alimento (Mccarter *et al.*, 2003).

Eles penetram no sistema radicular e causam a formação de galhas visíveis nas raízes devido à indução de células gigantes (hipertrofia e hiperplasia), prejudicando o fluxo de seiva, assim comprometendo a absorção de água e nutrientes, resultando na redução do crescimento radicular, amarelecimento das folhas, murchamento e queda na produtividade. Entre as culturas frequentemente afetadas estão a soja, algodão, milho, café, cana-de-açúcar, hortaliças e frutíferas (Ferris, 2024).

As perdas econômicas associadas a *Meloidogyne spp.* são expressivas no Brasil, especialmente em culturas de grande relevância econômica. Estimativas nacionais apontam que os nematoides-das-galhas estão entre os principais responsáveis por prejuízos ocasionados por fitonematoides, contribuindo significativamente para as perdas anuais que ultrapassam US\$ 10 bilhões no agronegócio brasileiro (Silva *et al.*, 2023).

O ciclo completo de *Meloidogyne* (Figuras 1 e 2) costuma incluir ovo, quatro estádios juvenis (J1 a J4) e o adulto. O primeiro estágio juvenil (J1) desenvolve-se dentro do ovo e sofre ecdise antes da eclosão. O segundo estágio juvenil (J2) é a forma infectante, que migra no solo até encontrar a raiz hospedeira e penetrá-la. Após a penetração e estabelecimento no tecido radicular, o J2 migra internamente até se acomodar próximo ao cilindro vascular, onde se alimenta e transforma-se em J3, J4 e, por fim, adulto. A fêmea adulta deposita centenas de

ovos em uma massa gelatinosa externa à raiz ou no interior da galha, dependendo da espécie. Em condições favoráveis, o ciclo pode durar entre 21 e 28 dias em solo quente. (Ferraz & Brown, 2016).

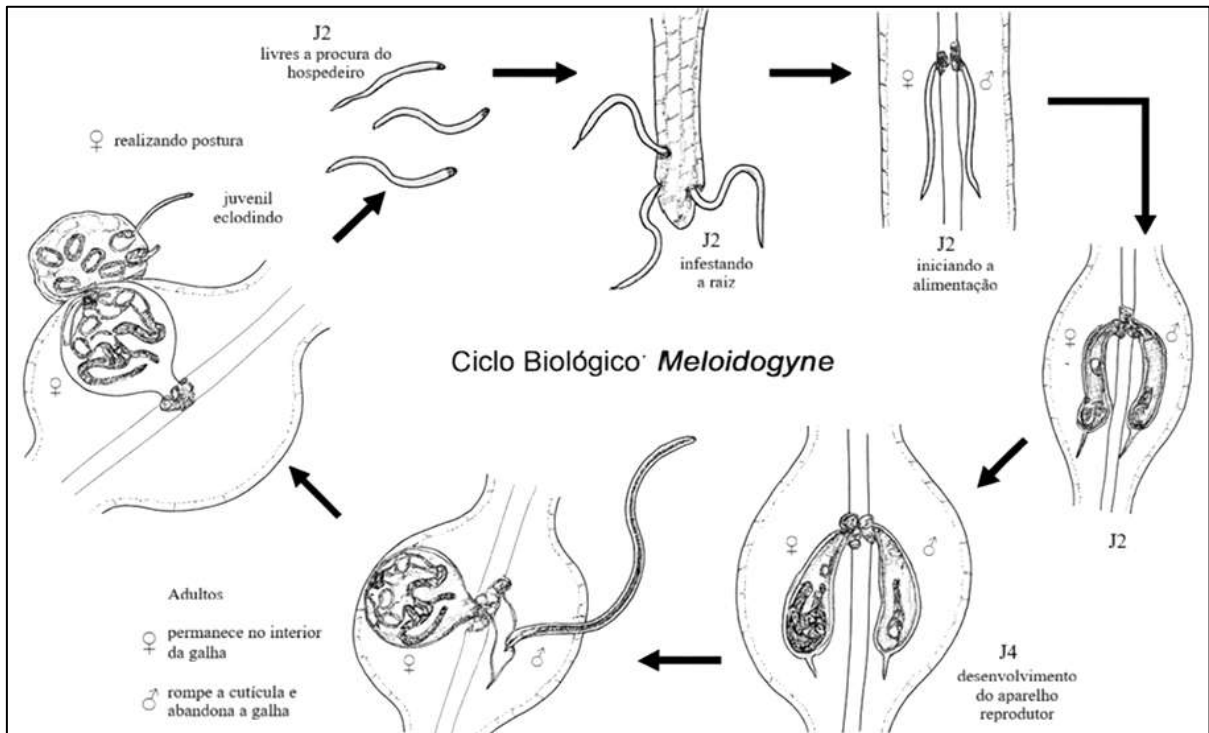


Figura 1. Ciclo de vida de *Meloidogyne enterolobii*, Fonte: Desenho de Patrícia Milano, retirado de Pavanelli (2022).

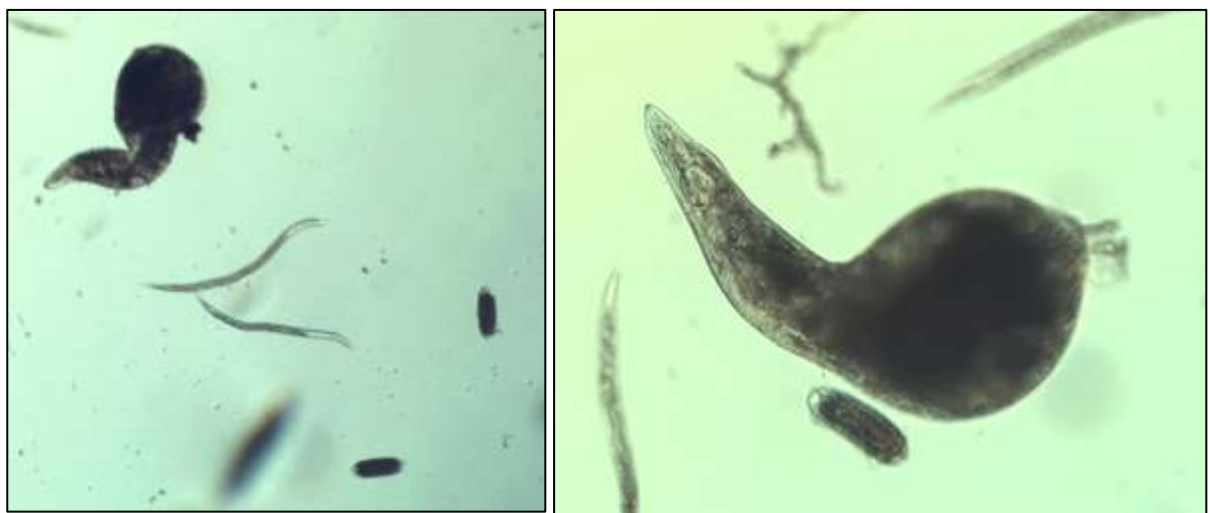


Figura 2. Ovo, juvenil (J2) e fêmea adulta de *Meloidogyne enterolobii*, Fonte: Pavanelli, Bárbara (2025)

3.2.3.2. *Pratylenchus* spp.

O *Pratylenchus* spp., também conhecido como nematoide-das-lesões, é um endoparasita migrador, de forma vermiforme (filiforme), corpo alongado, cilíndrico e transparente com a cauda geralmente cônica ou truncada e um estilete bucal bem desenvolvido, que penetram e se movimentam dentro dos tecidos radiculares, os destruindo e causando necroses ao se alimentarem deles, também servindo de porta de entrada para patógenos secundários, como fungos e bactérias, agravando os danos (Goulart, 2008).

No Brasil, as principais espécies são *P. brachyurus*, *P. zaeae* e *P. coffeae*, que atacam culturas como soja, algodão, milho, café, cana-de-açúcar, batata, feijão, entre outras. Diferentemente de nematoides sedentários, os *Pratylenchus* migratórios se deslocam tanto no tecido radicular quanto no solo adjacente. A fêmea pode depositar ovos nas raízes ou no solo próximo e o ciclo pode variar entre 45 e 65 dias ou até mesmo mais curto (24-36 dias em condições ideais) dependendo da espécie (Figuras 3 e 4), temperatura, umidade e hospedeiro. Essa flexibilidade e mobilidade aumentam o desafio de manejo, pois múltiplas gerações podem ocorrer ao longo de uma safra e os sintomas são pouco específicos, o que dificulta o diagnóstico e a intervenção precoce (Ferris, 2024).

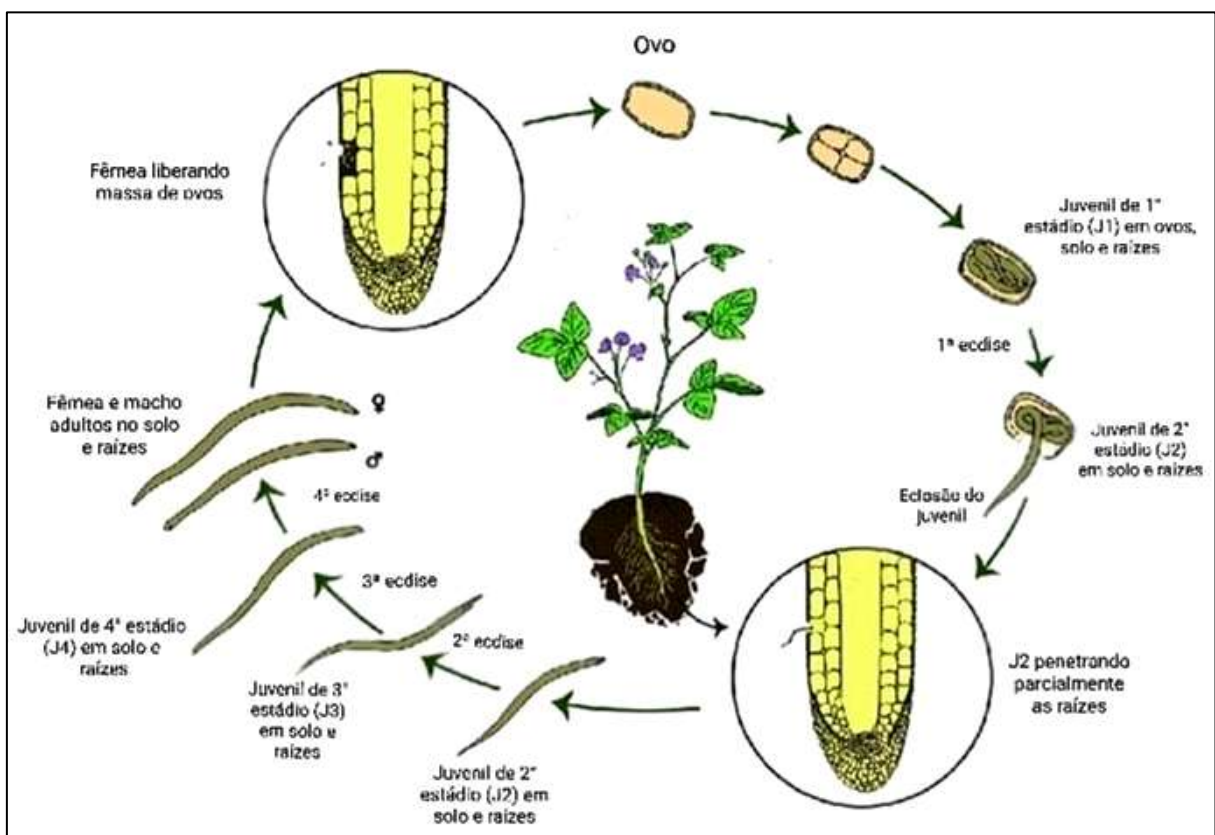


Figura 3. Ciclo de vida de *Pratylenchus brachyurus* em soja. Fonte: Lopez-Nicora *et al.* (2021).

Seus sintomas, apesar de não serem tão específicos, incluem a redução do crescimento, sistema radicular, desenvolvimento e da produtividade, pelo comprometimento da função radicular (Goulart, 2008). As perdas ocasionadas por *Pratylenchus* spp., especialmente *P. brachyurus*, vêm crescendo significativamente no Brasil, acompanhando a expansão das áreas de soja e milho suscetíveis. Estudos conduzidos por Mattos *et al.* (2016) verificaram que plantas de soja cultivadas em áreas infestadas apresentaram reduções de até 44,3% na altura e 39,7% no número de vagens, refletindo diretamente na queda de produtividade.



Figura 4. Fêmeas de *Pratylenchus brachyurus* e *Pratylenchus zeae*, encontrados em raízes de soja e cana de açúcar, respectivamente. Fonte: Nascimento & Lopes, 2022.

3.2.3.3. *Heterodera* spp.

O gênero *Heterodera* spp., conhecido por nematoide do cisto, são endoparasitas sedentários que formam cistos resistentes, estruturas protetoras que abrigam os ovos, permitindo a sobrevivência por longos períodos no solo. A espécie *Heterodera glycines* é a mais conhecida, parasitando exclusivamente a soja e causando grandes prejuízos econômicos. A presença dos cistos dificulta o controle e favorece a persistência da infestação no campo (Embrapa, 2023).

Seu ciclo de vida (Figura 5) inicia-se com ovos depositados tanto em uma massa gelatinosa quanto dentro do corpo da fêmea, que após a morte se transforma em um cisto rígido e protetor. Ele passa por quatro estádios juvenis (J1 a J4) e o adulto, com o segundo

estádio juvenil (J2) sendo a fase infectante. O ciclo completo pode durar de 21 a 24 dias, dependendo das condições ambientais. Após a última muda, as fêmeas tornam-se inchadas, adquirem forma de limão ou barril (flask-shaped), permanecendo fixas à raiz, enquanto os machos, de corpo fino e vermiforme, deixam a raiz para fertilizar as fêmeas. Após a fertilização, a fêmea armazena centenas de ovos em seu interior; quando morre, sua cutícula se transforma em um cisto marrom resistente (Figura 6), capaz de proteger os ovos por até sete anos no solo, mesmo na ausência de hospedeiro (Thapa *et al.*, 2017).

Essa capacidade de sobrevivência prolongada torna o manejo de *Heterodera spp.* em sistemas agrícolas intensivos, pois a reinfestação é facilitada e requer estratégias de longo prazo. Embora a magnitude nacional exata das perdas varie conforme a região e o nível de infestação, estima-se que *H. glycines* contribua de maneira relevante para os prejuízos que somam bilhões de dólares anualmente no agronegócio brasileiro, conforme relatado em avaliações gerais de impacto dos fitonematoides (Silva *et al.*, 2023). A persistência prolongada dos cistos no solo agrava essas perdas ao dificultar a erradicação da praga.

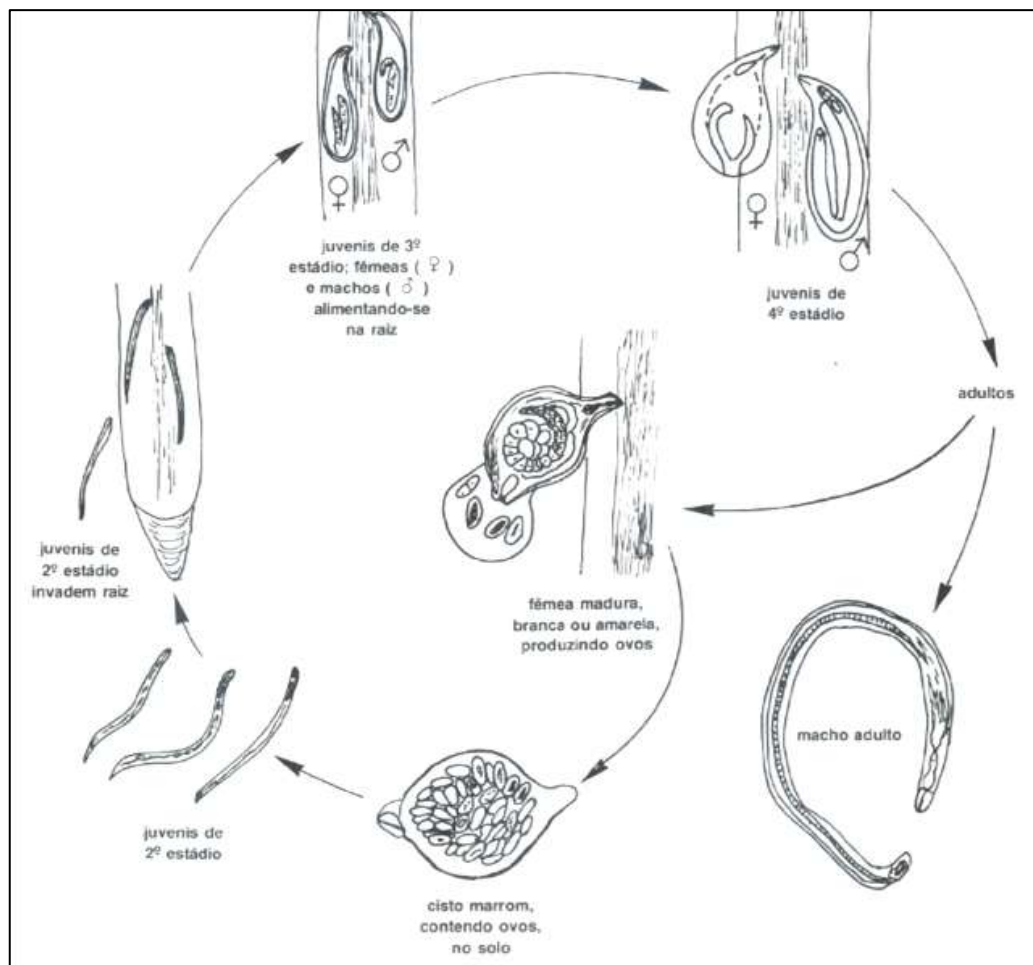


Figura 5. Ciclo do *Heterodera glycines*. Figura adaptada de Torres *et al.* (2008).



Figura 6. Cistos de *Heterodera* sp., Fonte: Pavanelli, Bárbara (2025).

3.2.3.4. *Helicotylenchus* spp.

O *Helicotylenchus* spp. (nematóide-espiralado), apresenta ampla distribuição, sendo um dos mais comuns no solo agrícola, e crescente importância agrícola, com hábito migrador e alimentação externa das raízes (ectoparasita), resultando em ferimentos e favorecimento à entrada de patógenos.

Entre as espécies mais comuns no Brasil estão *Helicotylenchus dihystra* e *Helicotylenchus multicinctus.*, com sintomas como pequenas lesões superficiais nas raízes que apresentam coloração marrom a preta, com pontuações características no tecido atacado. Em culturas como soja, milho, algodão e bananeira, esses danos resultam em redução do crescimento e volume das raízes, além de escurecimento dos tecidos, sintomas que podem ser sutis a campo, mas que comprometem a eficiência do sistema radicular (Garbin & Costa, 2013).

Para algumas espécies, todo seu ciclo pode se completar em cerca de 30 a 45 dias. O primeiro estágio juvenil (J1) desenvolve-se dentro do ovo e sofre a primeira muda ainda dentro da casca; o J2 e estágios posteriores apresentam cauda com processo digitate visível; o desenvolvimento do sistema reprodutor feminino inicia-se no J3; no J4 os machos e fêmeas (Figura 7) completam a maturidade e ela inicia a postura de ovos. Todos os estágios podem ocorrer dentro da raiz hospedeira ou adjacentes ao tecido radicular, e embora a movimentação

livre seja limitada, a persistência no solo e tubérculos facilita a infestação de novas plantas (Ferraz & Monteiro, 2002).

Apesar de causar danos menos quantitativos que os nematoides sedentários, a frequência elevada e o dano cumulativo tornam *Helicotylenchus* spp. relevantes para a fitossanidade, especialmente em sistemas onde o solo é pouco manejado ou os sintomas são sutis e difíceis de quantificar. O gênero *Helicotylenchus*, embora historicamente ser considerado de menor impacto que outros fitonematoides, tem ganhado importância econômica devido à sua alta prevalência no solo agrícola e à capacidade de predispor plantas à infecção por outros patógenos.



Figura 7. Fêmea de *Helicotylenchus* sp., Fonte: Pavanelli, Bárbara (2025).

3.3.CITRICULTURA

As espécies do gênero *Citrus* são perenes, de clima tropical e subtropical, exigindo solos bem drenados e boa luminosidade. São conhecidas por sua produção de frutos ricos em vitamina C e por conter óleos essenciais em suas cascas, com alto teor de compostos bioativos como o d-limoneno. A composição e concentração de óleo essencial podem variar entre as variedades, influenciando sua atividade biológica.

Representa uma das mais importantes culturas frutíferas do Brasil, tanto do ponto de vista econômico quanto nutricional. A citricultura fornece frutos amplamente consumidos pela população, como laranja, limão e tangerina, que são ricos em vitamina C, antioxidantes, fibras e compostos bioativos, essenciais para a manutenção da saúde humana. O consumo regular desses frutos auxilia na prevenção de doenças cardiovasculares, no fortalecimento do sistema imunológico e na manutenção de uma dieta equilibrada e diversificada (IBGE, 2023).

Além do papel nutricional, a cultura dos citros ocupa posição de destaque na balança comercial agrícola brasileira. O Brasil é o maior produtor mundial de laranja e o principal exportador de suco de laranja concentrado congelado, respondendo por aproximadamente 70% das exportações globais do produto. Esse desempenho é fortemente ancorado no cinturão citrícola brasileiro, localizado entre os estados de São Paulo e Minas Gerais, onde se concentra mais de 80% da produção nacional (Costa *et al.*, 2018).

A citricultura brasileira movimenta uma ampla cadeia produtiva, que vai desde a produção nas lavouras até o processamento industrial e a exportação. Essa cadeia envolve atividades como produção de mudas, aplicação de defensivos, fertilização, colheita, transporte, processamento e comercialização. Estima-se que o setor gere mais de 200 mil empregos diretos e indiretos no país, com importante impacto na economia rural e na geração de renda em pequenas e médias propriedades (Rubin, 2025).

De forma semelhante a outras culturas estratégicas, a citricultura também contribui significativamente para a segurança alimentar, dado seu alto consumo interno e acessibilidade. Em 2022, o consumo médio per capita de laranja no Brasil foi estimado em 39 kg/habitante/ano, evidenciando sua popularidade entre os brasileiros (IBGE, 2023). O setor também desempenha papel relevante na diversificação do portfólio agrícola nacional e na adaptação de práticas sustentáveis, especialmente com o crescimento da demanda por produtos orgânicos e o desenvolvimento de tecnologias alternativas de manejo.

Contudo, o setor enfrenta desafios como oscilações climáticas, aumento de pragas e doenças, e custos crescentes de produção. Tais fatores exigem inovação constante e a adoção

de estratégias sustentáveis para garantir competitividade, produtividade e preservação ambiental.

A cadeia produtiva da citricultura é responsável pela geração de grandes volumes de resíduos agroindustriais, especialmente durante o processamento industrial dos frutos para a produção de suco. Estima-se que entre 50% e 60% da massa total dos frutos cítricos seja convertida em resíduos sólidos, compostos principalmente por cascas, bagaço e sementes, após a extração do suco (Borges *et al.*, 2021).

Em escala global, a produção de resíduos provenientes do processamento de cítricos atinge valores expressivos. Estimativas indicam que a indústria citrícola mundial gere entre 68 e 100 milhões de toneladas de resíduos por ano, considerando todas as espécies de citros, sendo as cascas de laranja a fração predominante. Apenas as cascas de laranja representam cerca de 10 milhões de toneladas anuais, configurando um dos maiores fluxos de resíduos agroindustriais do setor de frutas (Satari; Karimi, 2018).

A indústria brasileira de suco de laranja produz aproximadamente 3 a 4 milhões de toneladas de resíduos por ano, compostos majoritariamente por cascas e polpa, concentrados principalmente no estado de São Paulo. O manejo adequado desses resíduos é fundamental para reduzir impactos ambientais, uma vez que seu acúmulo pode resultar em processos fermentativos indesejáveis, emissão de gases e contaminação do solo e da água (Borges *et al.*, 2021).

Esse elevado percentual evidencia o potencial desses resíduos como fonte de matérias-primas para obtenção de produtos de valor agregado, ao invés de seu simples descarte ou uso de baixo valor econômico.

3.3.1. Laranja Pêra

Pertencente à família Rutaceae, e ao grupo das laranjas doces, a laranja Pêra é uma das cultivares mais populares no Brasil, sendo caracterizada pelo fruto de casca fina, formato ovalado, polpa suculenta, de cor laranja viva, e sabor adocicado com leve acidez e com cerca de 3 a 4 sementes por fruto, é altamente valorizada tanto para o consumo *in natura* quanto para a produção de sucos, sendo um dos pilares da citricultura brasileira (Salibe, 2002).

Possui uma composição rica em água, açúcares naturais, fibras e compostos bioativos, apresenta alto teor de vitamina C, além de vitaminas de complexo B e A, e em minerais como potássio, cálcio, fósforo e magnésio, e flavonoides como hesperidina e narirutina, além de óleos essenciais, sendo o d-limoneno o principal componente da casca, com teor de até 95%, e

outros como β -Mirceno, α -Pinoeno, Decanal e Octanal (aldeídos), Linalol (Teixeira *et al.*, 2013).

Por esta razão, ela traz diversos benefícios nutricionais para a saúde, como fortalecimento do sistema imunológico, ação antioxidante, que ajuda na prevenção de doenças cardiovasculares, melhora a digestão e o trânsito intestinal e hidratação e reposição de minerais. Com isso, a laranja Pêra desempenha um grande papel no agronegócio brasileiro, sendo utilizada tanto para consumo interno, seja *in natura* ou em suco, como para exportação, sendo uma das mais exportadas, especialmente para os Estados Unidos e Europa, e utilizada na produção de óleos, essências e subprodutos como polpa e casca para ração animal (Rodrigues, 2019).

3.3.2. Mexerica Late IAC 585

A variedade mexerica Late IAC 585 pertence ao grupo das tangerinas e foi desenvolvida e registrada pelo Instituto Agrônômico de Campinas (IAC). Essa cultivar se destaca principalmente pela maturação tardia, sendo colhida entre os meses de junho e agosto nas condições climáticas do estado de São Paulo (Gonçalves *et al*, 2017). Essa característica permite ampliar o período de oferta de frutas cítricas no mercado, o que é estratégico tanto para o setor produtivo quanto para o abastecimento em épocas de menor disponibilidade de outras variedades.

A planta, enxertada em limão Cravo, apresenta porte médio e boa produtividade, com boa adaptação a diferentes regiões produtoras, especialmente no estado de São Paulo. Os frutos possuem formato achatado, tamanho pequeno a médio, e casca lisa, com glândulas de óleo proeminentes e coloração amarelo-alaranjada. A polpa alaranjada é succulenta e contém, em média, 13 sementes por fruto, com um sabor equilibrado entre doçura e acidez (Gonçalves *et al*, 2017).

Os óleos essenciais extraídos da casca contêm altas concentrações de limoneno e γ -terpineno, responsáveis pelo aroma característico da fruta e por propriedades antifúngicas e antimicrobianas (Zunkeller, 2023). Em resumo, a mexerica IAC Late madura reúne qualidades agronômicas, nutricionais e comerciais que a tornam uma opção promissora para a citricultura brasileira. Seu cultivo contribui para a diversificação de pomares, ampliação do calendário de colheita e valorização de subprodutos agrícolas, promovendo uma produção mais sustentável e economicamente viável.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1.GEOLOCALIZAÇÃO

Os ensaios foram conduzidos no Laboratório de Nematologia (LANEM) do Departamento de Biotecnologia e Produção Vegetal e Animal (DBPVA) da Universidade Federal de São Carlos, no campus de Ciências Agrárias em Araras, São Paulo, situado nas coordenadas correspondentes (-22.315880393966484 S, -47.39016544000972W), sob a supervisão do Professor Doutor Evandro Henrique Schinor.

4.2.OBTENÇÃO DOS NEMATOIDES

Neste trabalho, os nematoides utilizados foram coletados de uma amostra composta de solo retirada do setor de Horticultura do campus(Figura 8). O solo dessa região é do tipo Latossolo Vermelho Distroférico (LVd). Em relação à sua composição, esse solo tem uma quantidade elevada de matéria orgânica, apresenta textura argilosa, é moderado em características, caulinitico, mesoférico e possui carga catiônica (Yoshida *et al.*, 2016).

A amostra composta foi formada a partir da coleta de subamostras distribuídas em zigue-zague ao longo da área, seguindo procedimento usual para garantir representatividade do solo e reduzir variabilidade espacial. Todas as subamostras foram homogeneizadas, constituindo um único volume de solo para posterior extração dos nematoides.

A extração dos nematoides foi realizada pelo método de Jenkins modificado. No método de Jenkins (1964) original, a amostra passa por peneiras de até 400 mesh para retirada de maiores impurezas, buscando isolar ao máximo os nematoides do material coletado. Depois ele passa por um processo de centrifugação a 1750 rpm, seguido de outra centrifugação após a adição de solução de sacarose, que, devido à diferença de densidade, promove a flutuação dos nematoides e a separação dos demais resíduos sólidos. No método modificado, após essa etapa, realizou-se uma segunda centrifugação em sacarose, com o objetivo de aumentar a eficiência da recuperação dos nematoides. Por fim, o material foi lavado para remoção da sacarose e os nematoides foram coletados e armazenados em potes de vidro para a montagem do experimento.



Figura 8. Área de coleta dos nematoides (asterisco) e classes de solo por quadra do Centro de Ciências Agrárias/UFSCar Campus Araras; Fonte: Fernando A, Yoshida, 2016

4.3.OBTENÇÃO DOS ÓLEOS ESSENCIAIS

Foram utilizadas duas variedades de citros, sendo elas laranja Pêra (*Citrus × sinensis*) e mexerica Late IAC 585 (*Citrus × deliciosa*) enxertada em limão Cravo (*Citrus × limonia*), em pomar experimental localizado no Centro de Citricultura Sylvio Moreira do Instituto Agrônômico (IAC), localizado em Cordeirópolis, São Paulo.

Os frutos maduros utilizados no experimento foram cedidos pelo IAC, e o processamento de descasque e corte das cascas, com tamanho aproximado de 0,5 cm², foi realizado no LANEM. A cascas foram separadas em sacos e preservadas sob condições de congelamento a -18°C até o momento da extração dos óleos.

Para a extração dos óleos de ambas as variedades, cerca de 400 g de casca foram colocadas em um destilador tipo Clevenger, juntamente com 800 mL de água destilada, sendo submetidas ao processo de hidrodestilação durante quatro horas (Figura 9). Após a extração, eles foram transferidos para frascos de vidro âmbar e mantidos sob congelamento em freezer a -18 °C para conservação (Figura 9), garantindo a estabilidade dos compostos ativos até o momento de sua utilização nos testes laboratoriais.



Figura 9. Extração de óleo essencial da casca de laranja Pêra e frascos de vidro âmbar contendo óleo essencial de laranja Pêra. Fonte: autor, 2025

4.4. EFEITO DOS ÓLEOS ESSENCIAIS SOBRE OS NEMATOIDES

Para avaliar o efeito dos óleos sobre os nematoides, foram testadas as concentrações de 0 (testemunha); 100; 200 e 400 $\mu\text{L mL}^{-1}$ das duas variedades cítricas.

Os materiais utilizados, como as ponteiros das pipetas e o agente emulsificante Tween® 20, foram previamente autoclavados para esterilização. Também foram separadas placas tipo ELISA, a qual contém 24 cavidades e que serviram como suporte para as unidades experimentais e suas respectivas tampas para evitar perda e interferência por volatilização.

Os nematoides foram separados em um volume total de 600 μL por cada cavidade da placa ELISA. Os volumes dos óleos foram definidos com base nas concentrações desejadas. Com isso, utilizou-se 6 mL dos óleos essenciais e 2 mL de água para a testemunha (Figura

10), e foi adicionado a cada um deles o Tween[®] 20 a 0,1%, seguida de agitação para garantir a homogeneização da mistura e para melhor solubilização deles (Figura 10).



Figura 10. Soluções controle, laranja Pêra (LP) e mexerica Late IAC 585 (LM), e agitação da solução de LM. Fonte: autor, 2025

Antes da aplicação dos tratamentos, foi realizada uma primeira contagem de nematoides sem exposição aos óleos, funcionando como controle inicial. Em seguida, os tratamentos foram divididos em quatro diferentes concentrações, sendo utilizadas as dosagens de 0 (testemunha), 100, 200 e 400 $\mu\text{L mL}^{-1}$ em relação à solução de nematoides. A aplicação dos óleos nas placas foi definida dividindo a placa em duas partes, onde cada uma se referia a um tratamento (Figura 11).

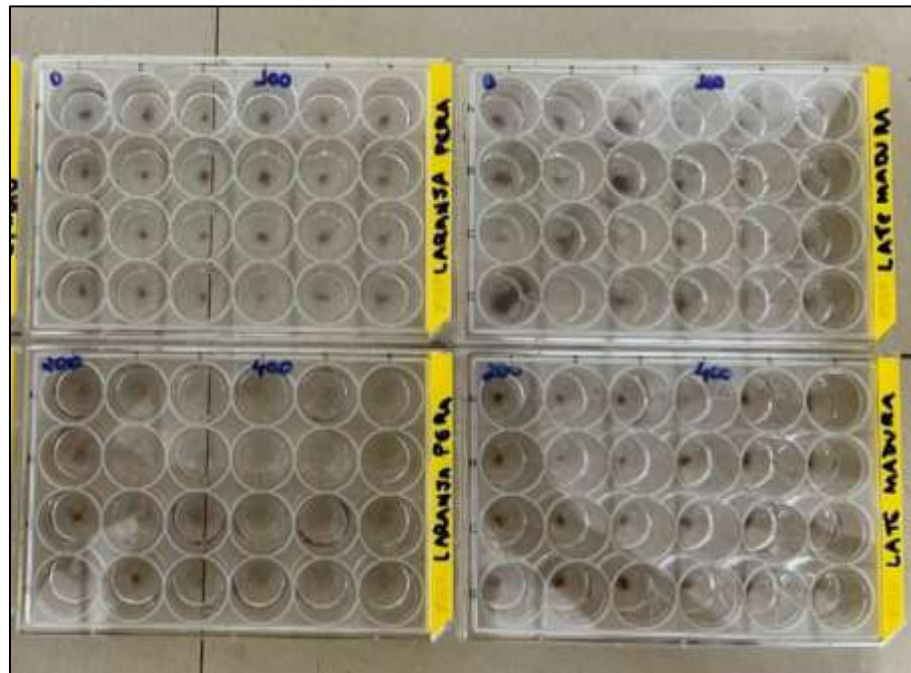


Figura 11. Placas ELISA com nematoides e óleo de mexerica Late IAC 585. Fonte: autor, 2025

Após essa etapa, os tratamentos foram adicionados aos poços das placas contendo os nematoides. As contagens de mortalidade foram feitas em dois intervalos de tempo de 0 e 24 horas de exposição. Durante esse período, as placas foram mantidas em BOD a uma temperatura constante de 27 C (Figura 12).

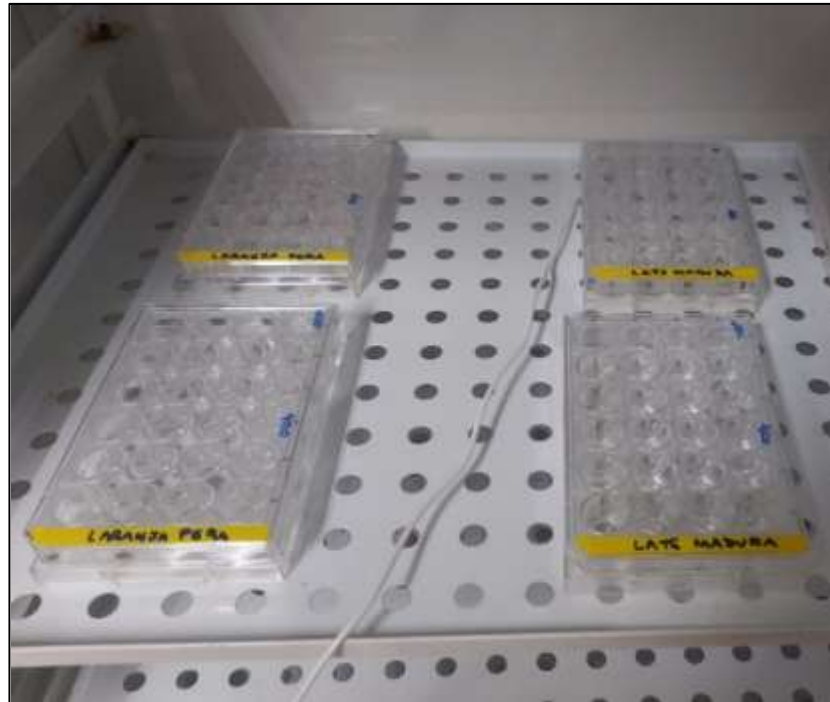


Figura 12. Placas ELISA com os tratamentos de óleo de laranja Pêra e mexerica Late IAC 585 em BOD. Fonte: autor, 2025.

Para avaliação da eficácia dos óleos, foi realizada a contagem dos nematoides por meio de microscopia e um contador numérico manual (Figura 13), diferenciando-se os indivíduos móveis dos imóveis, em estado estático, os quais foram considerados mortos.



Figura 13. Microscópio e contador numérico utilizados para contabilizar os nematoides móveis e imóveis, e *Helicotylenchus* sp. (seta) observado no ensaio. Fonte: autor, 2025

4.5. DELINEAMNETO EXPERIMENTAL

O experimento foi conduzido em delineamento de blocos casualizados (DBC), com os tratamentos dispostos em esquema fatorial 2 x 2 x 4, com 12 repetições por tratamento e dosagem.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA), considerando os efeitos dos fatores tratamento, tempo de exposição e dosagem, bem como suas interações, pelo software SISVAR. As médias foram comparadas pelo teste Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade.

Foi analisada a taxa de eficácia dos tratamentos, a qual foi calculada a partir da equação de Henderson-Tilton:

$$Eficácia \% = \left(1 - \frac{n CO_0 \times n T_1}{n CO_1 \times n T_0} \right) \times 100$$

Onde nCO₀ e nCO₁ representam o número de nematoides móveis no tratamento controle, sem aplicação de óleo essencial, no início do experimento (tempo de 0h) e após 24h, respectivamente. Enquanto nT₀ e nT₁ são o número de nematoides móveis nos tratamentos com óleo de laranja Pêra e mexerica Late IAC 585 durante o tempo 0h e 24h, respectivamente.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O principal gênero de fitonematoides identificado durante a contagem, foi o *Helicotylenchus* spp., seguido em menores quantidade por gêneros como *Pratylenchus* spp., e *Rotylenchulus* spp. Isso se deve à amostra ter sido formada exclusivamente de solo, sem a presença de raízes, resultando no alto número de nematoides ectoparasitas, como os *Helicotylenchus*.

Observou-se que os tratamentos com óleo de laranja Pêra (LP) apresentaram número de nematoides móveis superiores aos observados com o óleo de mexerica Late IAC 585, incluindo a contagem de controle (Tabela 1).

No tempo 0, verificou-se que a menor média foi para o tratamento de LP na dose de 400 $\mu\text{L mL}^{-1}$, com 2,58 nematoides móveis, diferenciando-se estatisticamente das demais doses, que apresentaram valores de 18,17; 24,58 e 21,33 nas doses de 0, 100 e 200 $\mu\text{L mL}^{-1}$ respectivamente, indicando inibição acentuada da mobilidade dos nematoides. Enquanto isso, para o tratamento com mexerica Late IAC 585 (LM), no mesmo período, apresentou médias similares entre si, com valores de 4,58; 2,92; 1,92 e 2,67 nematoides nas dosagens de 0 a 400 $\mu\text{L mL}^{-1}$, respectivamente (Tabela 1).

Após 24 horas de exposição, verificou-se uma redução notável nas médias para ambos os tratamentos, refletindo o efeito acumulativo do tempo sobre a ação dos compostos. O óleo LP manteve-se com a dose de 400 $\mu\text{L mL}^{-1}$ como melhor resposta, alcançando um valor de 0,08 nematoides móveis, indicando ação prolongada e residual dos compostos bioativos, as demais dosagens de 0, 100 e 200 $\mu\text{L mL}^{-1}$, apresentaram valores de 6,42; 3,17 e 4,25, respectivamente, se mantendo superiores em comparação com a LM, as quais permaneceram baixas e estatisticamente semelhantes entre as todas as doses, com médias de 1,92; 0,42; 0,17 e 0,42 (Tabela 1).

A Figura 14 ilustra o comportamento dos tratamentos em função das doses e dos tempos de exposição, o qual pode-se visualizar a redução progressiva da mobilidade dos nematoides à medida que aumenta a dose e o tempo de contato com os óleos essenciais. Observa-se que para ambos os tratamentos, as curvas apresentam declínio acentuado, especialmente na sua dosagem superior, sendo proporcional às contagens controle.

Tabela 1. Número de nematoides móveis em solução *in vitro* com óleos de laranja Pêra (LP) e mexerica Late IAC 585 (LM) em diferentes dosagens e tempo.

Tratamento	Tempo (h)	Dosagem ($\mu\text{L mL}^{-1}$)			
		0	100	200	400
LP	0	18,17 aA	24,58 aA	21,33 aA	2,58 aB
LM	0	4,58 bA	2,92 bA	1,92 bA	2,67 aA
LP	24	6,42 aA	3,17 aA	4,25 aA	0,08 aA
LM	24	1,92 aA	0,42 aA	0,17 aA	0,42 aA

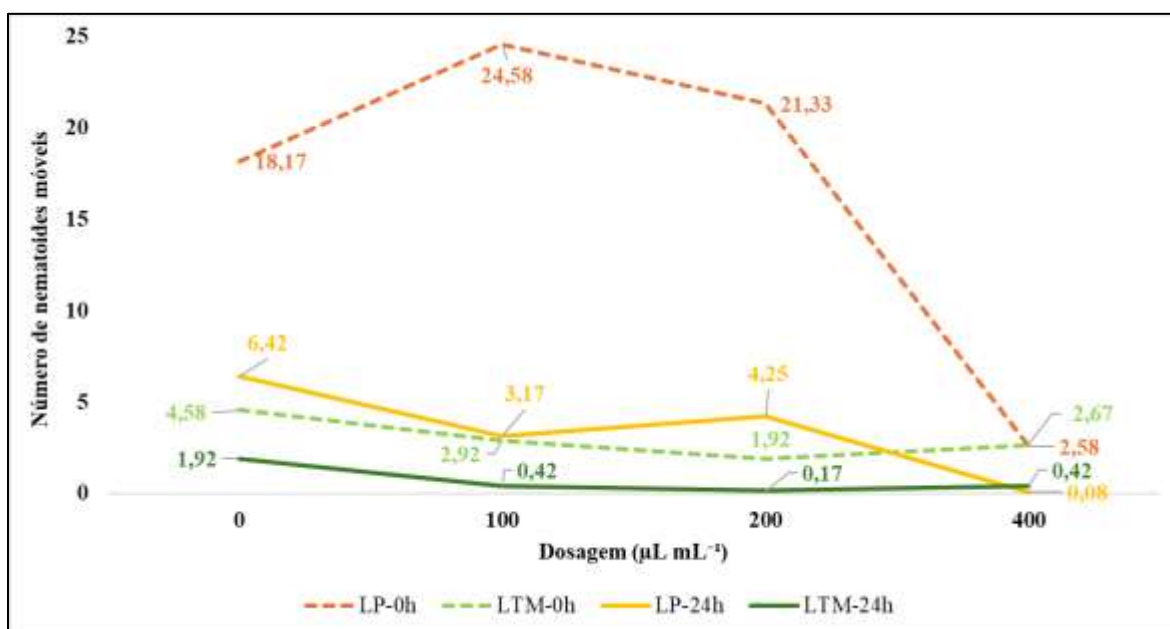


Figura 14. Número de nematoides móveis nos tratamentos de laranja Pêra e mexerica Late IAC 585 em função da dosagem e tempo (2025).

Médias seguidas de mesma letra (maiúscula diferenciando dosagem dentro do mesmo tratamento e tempo e minúsculas diferenciando tratamento dentro da mesma dose e tempo) não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Utilizando do método de Henderson-Tilton, pode-se analisar a eficiência dos tratamentos em comparação com seus controles iniciais. O óleo de LP apresentou eficácia de 61,79%, 43,35% e 91,48% nas doses de 100, 200 e 400 $\mu\text{L mL}^{-1}$, respectivamente, reforçando os resultados obtidos anteriormente. Já o óleo de LM apresentou 62,28%, 78,82% e 61,43% nas mesmas concentrações (Figura 15). Esses valores demonstram que, embora não haja

linearidade perfeita entre dose e eficiência, a maior concentração foi, de modo geral, a mais efetiva, alcançando 91,48% de imobilização dos nematoides no caso do óleo de Laranja Pêra.

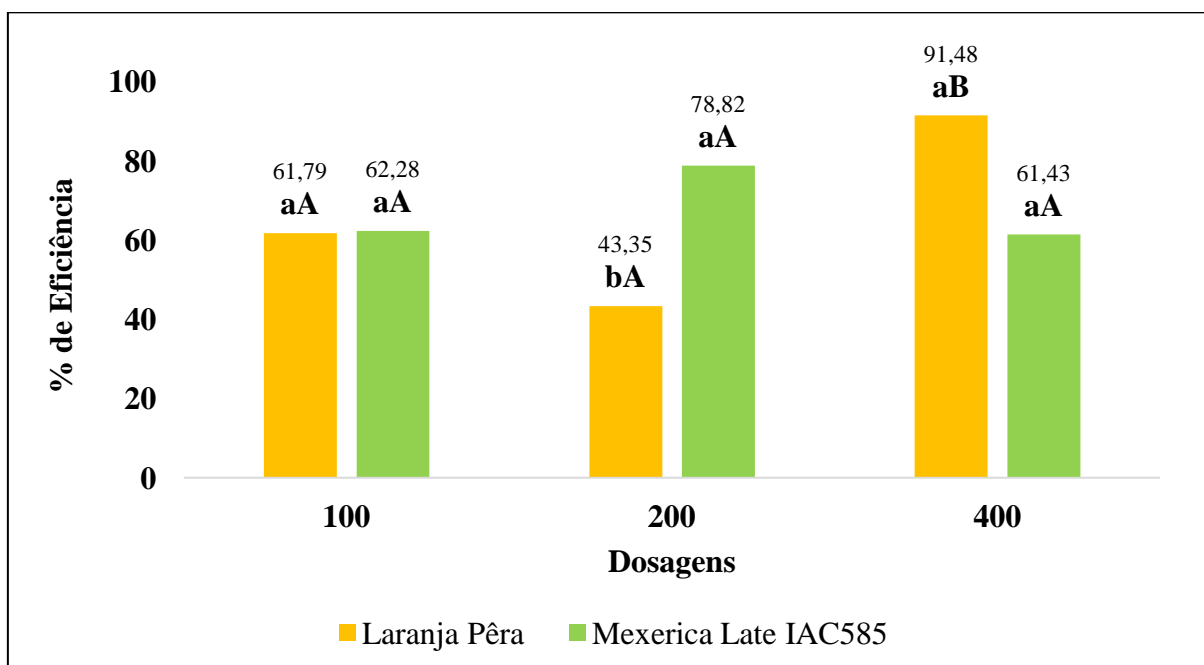


Figura 15. Porcentagem de eficiência de controle *in vitro* de nematoides com diferentes concentrações de óleos essenciais de laranja Pêra e mexerica Late IAC 585 (2025).

Os resultados obtidos neste estudo evidenciam o potencial dos óleos essenciais cítricos como agentes nematicidas eficazes na redução da mobilidade de fitonematoides em condições laboratoriais. A diminuição do número de nematoides móveis ao longo dos tratamentos e doses avaliadas demonstra a capacidade dos compostos bioativos presentes nos óleos de interferir no metabolismo e na integridade celular dos organismos, principalmente por meio de mecanismos associados à desestabilização de membranas, interferência no sistema nervoso e inibição de processos fisiológicos essenciais (Oka *et al.*, 2000). Tais achados estão de acordo com o que tem sido amplamente relatado na literatura, que aponta os óleos essenciais como alternativas promissoras para o manejo sustentável de nematoides, especialmente devido à presença de compostos como limoneno, citral e linalol, frequentemente associados a efeitos tóxicos e paralisantes. Esses resultados estão de acordo com o observado por Catani *et al.* (2023), que verificaram forte atividade nematicida de monoterpênos cítricos contra *Meloidogyne* spp., reforçando a afinidade desses compostos com alvos biológicos característicos dos fitonematoides.

A influência das doses também se mostrou evidente, uma vez que concentrações mais elevadas dos óleos proporcionaram reduções mais acentuadas no número de nematoides móveis. Esse comportamento dose-dependente também foi identificado nos trabalhos de D'Addabbo *et al.* (2020), que relataram maior mortalidade de nematoides com o aumento das concentrações de óleos essenciais, e por Ebadollahi *et al.* (2021), que observaram resposta semelhante em bioensaios com compostos de *Satureja*, um gênero de plantas aromáticas da família Lamiaceae. A convergência entre os resultados do presente estudo e esses trabalhos demonstra que o incremento de dose intensifica a disponibilidade e ação dos compostos ativos, causando maior permeabilidade de membranas e acúmulo intracelular de substâncias tóxicas. Ao mesmo tempo, as diferenças estatísticas observadas entre as doses sugerem que, embora o aumento da concentração favoreça a eficácia, há limites superiores relacionados à saturação da ação ou possíveis barreiras estruturais dos nematoides.

Em relação aos tempos de exposição, verificou-se que intervalos maiores proporcionaram efeitos mais pronunciados sobre a mobilidade, o que é consistente com outros estudos que apontam a ação acumulativa de compostos bioativos sobre nematoides. De acordo com Faria *et al.* (2021), a manutenção do contato entre os organismos e o óleo essencial intensifica processos de desidratação e paralisia progressiva, de modo semelhante ao observado nesta pesquisa. A relação entre dose e tempo é particularmente importante, pois os efeitos se potencializam: doses elevadas exigem menor tempo de exposição e, em concentrações menores, a efetividade aumenta conforme o período de contato se prolonga. Essa interação também foi descrita por Faria *et al.* (2023), que identificaram desempenho superior de tratamentos prolongados na inativação de juvenis de *Meloidogyne ethiopica*.

Outro ponto importante refere-se à variação entre os tratamentos avaliados. Embora ambos os óleos essenciais tenham apresentado algum grau de efeito nematicida, diferenças foram observadas quanto ao nível de redução da mobilidade e à intensidade da resposta dose-tempo. Essas variações são coerentes com análises químicas presentes na literatura, que demonstram que a composição dos óleos essenciais pode variar significativamente conforme a origem, o método de extração e a parte utilizada da planta. Estudos como os de Dhifi *et al.* (2016) e Catani *et al.* (2022) demonstram que pequenas alterações na composição química, principalmente na proporção de monoterpenos e sesquiterpenos, podem influenciar diretamente a toxicidade e a velocidade de ação contra fitonematoides.

Esses resultados estão de acordo com o que foi observado no trabalho de Jeon *et al.* (2016), no qual o óleo essencial cítrico apresentou maior capacidade de redução da

mobilidade quando comparado a outros óleos, mesmo que apresentassem compostos majoritários semelhantes. Assim, a diferença de resposta entre os tratamentos avaliados nesta pesquisa reforça que não apenas o composto principal determina a ação nematicida, mas sim o conjunto de moléculas presentes, muitas vezes atuando de maneira sinérgica ou antagonista.

A análise comparativa entre os próprios óleos ao longo dos diferentes tempos, também traz resultados interessantes de serem observados. O comportamento do óleo de laranja Pêra sugere uma ação dependente do tempo de exposição, com aumento progressivo da eficiência nas avaliações mais tardias. Esse padrão está de acordo com estudos que relatam que compostos lipofílicos presentes em óleos essenciais cítricos podem causar alterações graduais na integridade das membranas celulares e no funcionamento do sistema neuromuscular de nematoides, levando à imobilização progressiva dos indivíduos expostos (Goyal *et al.*, 2021). Assim, a maior eficácia observada nas concentrações mais elevadas pode estar relacionada ao maior acúmulo desses compostos no organismo do nematoide ao longo do tempo.

Por outro lado, o óleo essencial de mexerica Late IAC 585 apresentou efeito mais rápido, com redução expressiva da mobilidade já nas primeiras avaliações, porém com menor incremento de eficiência quando a concentração foi aumentada. Esse comportamento pode estar associado à composição química específica desse óleo, caracterizada pela presença de terpenos com ação neurotóxica imediata, os quais promovem efeitos subletais rápidos, mas nem sempre resultam em aumento proporcional da mortalidade com o acréscimo da dose (Pavela; Benelli, 2016).

Além disso, a comparação entre os resultados obtidos e os índices de eficácia calculados reforça a consistência dos efeitos observados. A elevada eficácia apresentada por alguns tratamentos confirma que a redução da mobilidade não ocorreu de maneira aleatória, mas sim como efeito direto da ação dos compostos presentes nos óleos essenciais. O óleo da Laranja Pêra apresenta teor de limoneno significativamente mais elevado, entre 68% e 98%, conferindo-lhe ação nematicida reconhecida, como relatado em estudos envolvendo compostos cítricos (Barua *et al.*, 2020). Em contrapartida, o óleo da Mexerica Late IAC 585 contém menor proporção de limoneno, variando de 58,89% em frutos imaturos e 66,19% em frutos maduros, mas se distingue pela presença de γ -terpineno e carvacrol, compostos associados a efeitos biocidas rápidos e intensos (Viuda-martos *et al.*, 2008). A análise dos índices de eficácia confirma que a redução da mobilidade dos nematoides observada nos ensaios não ocorreu de forma aleatória, mas sim como resultado direto da ação desses compostos, reforçando a consistência dos efeitos (Ferreira *et al.*, 2025). Essas diferenças

químicas entre os óleos justificam tanto a ação mais imediata do óleo de Mexerica quanto a ação cumulativa e prolongada do óleo de laranja Pêra, corroborando a literatura que relaciona maiores teores de limoneno a efeitos fisiológicos progressivos, enquanto fenóis e terpenos oxigenados promovem respostas rápidas sobre os organismos-alvo.

Diante dos resultados alcançados neste trabalho, é importante considerar que as condições laboratoriais as quais foram realizadas o experimento podem não refletir integralmente a complexidade de sistemas agrícolas reais. Dessa forma, sugere-se que pesquisas futuras explorem ensaios *in vivo*, avaliando a aplicabilidade dos óleos essenciais diretamente no solo ou em plantas hospedeiras, o que permitiria analisar interações mais complexas, como efeitos sobre a microbiota do solo, possíveis fitotoxicidades e variações relacionadas à dinâmica ambiental.

Além disso, estudos adicionais poderiam focar em apenas um gênero de fitonematoide e explorar novas concentrações, diferentes tempos de exposição, variações no método de aplicação e até combinações de óleos essenciais ou de produtos naturais, a fim de verificar potenciais interações. A caracterização química mais detalhada dos óleos utilizados e a identificação de seus compostos majoritários também seriam valiosas para compreender quais moléculas são responsáveis pela ação observada. Em conjunto, essas abordagens ampliariam o entendimento do mecanismo de ação e contribuiriam para otimizar o uso de óleos cítricos como alternativas sustentáveis no manejo de fitonematoides.

6. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos neste estudo demonstram que os óleos essenciais extraídos das cascas de laranja Pêra e de mexerica Late IAC 585 apresentam potencial significativo no controle *in vitro* de fitonematoides. Ambos os óleos foram capazes de reduzir a mobilidade dos nematoides, indicando ação nematicida efetiva. As doses mais elevadas, de 400 $\mu\text{L mL}^{-1}$, promoveram reduções mais acentuadas no número de indivíduos móveis. O óleo de laranja Pêra apresentou maior eficácia acumulativa, enquanto o óleo de mexerica Late IAC 585 destacou-se pela ação inicial mais intensa.

Esses resultados reforçam a viabilidade do uso de óleos essenciais cítricos como alternativas sustentáveis no controle de nematoides, contribuindo para um manejo mais seguro e alinhado às práticas de agricultura sustentável. No entanto, por se tratar de um estudo conduzido em condições laboratoriais, recomenda-se que futuras pesquisas avaliem a aplicação desses óleos em ambiente agrícola, considerando fatores como interação com o solo, fitotoxicidade, persistência e eficiência em diferentes condições ambientais e avaliações com um gênero específico de nematoides.

7. REFERENCIAS

- Bakkali, F.; Averbeck, S.; Averbeck, D.; Idaomar, M. Biological effects of essential oils – A review. **Food and Chemical Toxicology**, v. 46, n. 2, p. 446-475, 2008.
- Bardin, M., Ajouz, S., Comby, M., Lopez-Ferber, M., Graillot, B., Siegwart, M., & Nicot, P. C. (2015). Is the efficacy of biological control against plant diseases likely to be more durable than that of chemical pesticides? **Frontiers in Plant Science**, 6, 566.
- Barua, A; McDonald-howard, K; Mc Donnell, R. J.; Rae, R; Williams, C. D. Toxicity of essential oils to slug parasitic and entomopathogenic nematodes. **Journal of Pest Science**, v. 93, n. 4, p. 1411-1419, 2020.
- Borges, G. B. V.; Machado, A. M. R.; Gomes, F. C. O.; Garcia, C. F. Extraction, characterization and microbiological evaluation of essential oils from commercial citrus waste. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 7, e16126, 2021.
- Boschieiro, B. N. Fitonematoides: 4 principais gêneros, características e sintomas em plantas. *Agroadvance*, 2024. Atualizado em 26 jul. 2024. Disponível em: <https://agroadvance.com.br/blog-fitonematoides-parasitas-de-plantas/>. Acesso em: 26 jun. 2025.
- Brasil. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (**IBGE**). Produção Agrícola Municipal 2023: Laranja. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 28 mai. 2025.
- Burt, S. Essential oils: their antibacterial properties and potential applications in foods. **International journal of food microbiology**, v. 94, n. 3, p. 223-253, 2004.
- Catani, L. et al. Essential oils and their applications in agriculture and agricultural products: a literature analysis through VOSviewer. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v. 45, p. 102502, 2022.
- Catani, L; Manachini, B; Grassi, E; Guidi, L; Semprucci, F. Essential oils as nematocides in plant protection - A review. **Plants**, v. 12, n. 6, p. 1418, 2023.
- Chitwood, D. J. Phytochemical based strategies for nematode control. **Annual review of phytopathology**, v. 40, n. 1, p. 221-249, 2002.
- Costa, T. B.; Oliveira, H. S.; Silva, A. C. A percepção do citricultor sobre a citricultura brasileira. **Citrus Research & Technology**, v. 39, p. e1034, 2018.
- D’addabbo, T; Argentieri, M; Laquale, S; Candido, V; Avato, P. Relationship between chemical composition and nematocidal activity of different essential oils. **Plants**, v. 9, n. 11, p. 1546, 2020.
- Decraemer, W.; Hunt, D. J. Structure and classification. In: Perry, R. N.; Moens, M. (org.). **Plant nematology**. 2. ed. Wallingford: Cab international, 2013.
- Dhifi, W; Bellili, S; Jazi, S; Bahloul, N; Mnif, W. Essential Oils’ Chemical Characterization and Investigation of Some Biological Activities: A Critical Review. **Medicines (Basel)**, v. 3, n. 4, p. 25, 22 set. 2016.
- Ebadollahi, A; Sendi, J. J.; Ziaee, M; Krutmuang, P. Acaricidal, insecticidal, and nematocidal efficiency of essential oils isolated from the *Satureja* genus. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 18, n. 11, p. 6050, 2021.

EMBRAPA. Nematóide-das-galhas. Agência de Informação Tecnológica, 16 fev. 2022. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/cebola/producao/doencas/campo/nematoides/nematoide-das-galhas>. Acesso em: 21 jul. 2025.

EMBRAPA. Nematóide-dos-cistos da soja (*Heterodera glycines*). Pelotas, RS: Embrapa Clima Temperado, 2023. 1 folder. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1152487/nematoide-dos-cistos-da-soja-heterodera-glycines>. Acesso em: 2 jul. 2025.

EMBRAPA. Nematoides. Agência de Informação Embrapa. 2022 Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/pimenta/producao/doencas-e-pragas/doencas/nematoides>. Acesso em: 26 jun. 2025.

Faria, J. M. S.; Barbosa, P; Vieira, P; Vicente, C. S. L.; Figueiredo, A.C.; Mota, M. 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, J. M. S.; Rusinque, L; Cavaco, T; Nunes, J. C.; Inácio, M. L. Essential oil volatiles as sustainable antagonists for the root-knot nematode *Meloidogyne ethiopica*. **Sustainability**, v. 15, n. 14, p. 11421, 2023.

Ferraz, L. C. C. B.; Brown, D. J. F. Nematologia agrícola: princípios e importância. Brasília: **Embrapa**, 2016.

Ferraz, L. C. C. B.; Monteiro, A. R. Nematóides Fitoparasitas. In: Ferraz, L. C. C. B.; Monteiro, A. R. (eds.). **Fundamentos de Nematologia**. 2. ed. Jaboticabal: Sociedade Brasileira de Nematologia, 2002.

Ferreira, R.; Maleita, C.; Fonseca, L.; Esteves, I.; Sousa-Ferreira, I.; Cabrera, R.; Castilho, P. Chemical screening and nematicidal activity of essential oils from Macaronesian and Mediterranean plants for controlling plant-parasitic nematodes. **Plants**, v. 14, n. 3, p. 337, 2025.

Ferris, H. *Meloidogyne spp.* Nemaplex - The Nematode Database. University of California, Davis, 2024. Disponível em: <https://nemaplex.ucdavis.edu/taxadata/g076.aspx>. Acesso em: 25 ago. 2025.

Ferris, H. *Pratylenchus spp.* Nemaplex – The Nematode Database. University of California, Davis, 2024. Disponível em: <https://nemaplex.ucdavis.edu/Taxadata/G105s6.aspx>. Acesso em 25 ago. 2025.

Garbin, L. F.; Costa, M. J. N. Incidência do fitonematoide *Helicotylenchus* em análises laboratoriais do Mato Grosso. **Connection Line**, Várzea Grande, v. 1, n. 2, p. 90-102, 2013.

Global Crop Protection. (2015). Por ano, nematoides causam prejuízos de R\$ 35 bilhões ao agronegócio nacional. Disponível em: <https://globalcropprotection.com>. Acesso em 2 jul. 2025.

Gonçalves, C.; Aguiar, A. T. E.; Capanema, L. M. Cultivares IAC. O Agrônomo, Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), 2017. Disponível em: <https://oagronomico.iac.sp.gov.br/?p=854>. Acesso em: 21 jul. 2025.

Goulart, A. M. C. Aspectos gerais sobre nematoides das lesões radiculares (*Pratylenchus*). **Applied Research & Agrotechnology**, v. 1, n. 1, p. 55-62, 2008. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/asagr/a/4qCPPLr4hJrS8pSLQBSKXjc/?lang=pt>. Acesso em: 17 ago. 2025.

Goyal, L.; Kaushal, S.; Dhillon, N.K.; Heena. Nematicidal potential of *Citrus reticulata* peel essential oil, isolated major compound and its derivatives against *Meloidogyne incognita*. **Archives of Phytopathology and Plant Protection**, v. 54, n. 9-10, p. 449-467, 2021. doi:10.1080/03235408.2021.1890369.

Gupta, A.; Sharma, S.; 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.

Inomoto, M. M. Biologia dos fitonematoides. 2011. Disponível em: <https://www.nematologia.com.br/files/uploads/2011/09/biol.pdf>. Acesso em: 26 jun. 2025.

Isman, M. B. Botanical insecticides, deterrents, and repellents in modern agriculture and an increasingly regulated world. **Annual Review of Entomology**, v. 51, p. 45-66, 2006.

Jenkins, W.R. A rapid centrifugal-flotation technique for separating nematodes from soil. **Plant Disease Reporter** 48:692, 1964

Jeon, J.H.; Ko, H.R.; Kim, S.J.; Lee, J.K. Chemical compositions and nematicidal activities of essential oils on *Meloidogyne hapla* under laboratory conditions. **The Korean Journal of Pesticide Science**, v. 20, n. 1, p. 30-34, 2016.

Liu, L.; Dai, T.; Zhang, M; *et al.* Citrus Essential Oils (CEOs) and Their Applications in Food: An Overview. **Foods**, v. 9, n. 3, p. 396, mar. 2020.

Lopes-nicora, H. et al., Manual de Fitopatologia agrícola. **Bases y procedimientos**. Atlas: Universidad San Carlos. 2021. DOI:10.53997/DFXA5914

Mattos, V. S.; Dias-Arieira, C. R.; França, S. K. Population dynamics of the root lesion nematode *Pratylenchus brachyurus* in soybean fields in Tocantins state and its effect on soybean yield. **Embrapa**, 2016. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1030429>. Acesso em: 17 ago. 2025.

McCarter, J. P.; Davey, J. W.; Aitken, A.; Morris, J.; Whelan, S.; Perry, R. N.; Ainsworth, C. Analysis and functional classification of transcripts from the nematode *Meloidogyne incognita*. **Genome Biology**, v. 4, n. 4, p. R26, 2003. Disponível em: <http://genomebiology.com/2003/4/4/R26>. Acesso em: 26 jun. 2025.

Mohamed, E. M.; Abd-Elkarim, E. K.; El-Darier, S. M. Nematicidal activity of oregano essential oil against *Meloidogyne incognita*. **International Journal of Scientific Research**, v. 9, n. 1, p. 32-40, 2020.

Nascimento, D. D.; Lopes, A. P. M. Nematoides *Pratylenchus*. **Blog Syngenta Digital**. 2022. Disponível em: <https://blog.syngentadigital.ag/nematoides-pratylenchus/>. Acesso em: 18 nov. 2025

Nicol, J. M.; Starr, J. L.; Perry, R. N.; Coyne, D. L.; Den Nette, K.; Halford, P. D.; Rios, T. Current nematode threats to world agriculture. In: *Genomics and Molecular Genetics of Plant-Nematode Interactions*. **Springer**, 2011. p. 21-43.

Oka, Y.; Nacar, S.; Putievsky, E.; Ravid, U.; Yaniv, Z.; Spiegel, Y. Nematicidal activity of essential oils and their components against the root-knot nematode. **Phytopathology**, v. 90, n. 7, p. 710-715, 2000.

- Pavanelli, B. **Avaliação de híbridos de goiaba tailandesa (*Psidium guajava*) e ara-amarelo (*Psidium cattleianum*) quanto à resistência ao nematoide *Meloidogyne enterolobii***. 2025. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Ciências Biológicas) - Departamento de Ciências da Natureza, Matemática e Educação, Universidade Federal de São Carlos, Araras, SP, 2025.
- Pavela, R.; Benelli, G. Essential oils as ecofriendly biopesticides? Challenges and constraints. **Trends in Plant Science**, v. 21, n. 12, p. 1000–1007, 2016.
- Perry, R. N.; Moens, M. Introduction to plant-parasitic nematodes: modes of parasitism. In: Perry, R. N.; Moens, M. (org.). **Plant nematology**. Wallingford: Cab international, 2011.
- Perry, R. N.; Moens, M.; Starr, J. L. Root-knot nematodes. Wallingford: **CABI**, 2009.
- Perry, R. N.; Moens, M. Plant nematology. 2. ed. Wallingford: **CABI**, 2013.
- Rodrigues, M. R. *et al.* Atributos físico-químicos de frutos de laranja 'Pêra' produzidos sob sistemas de cultivo orgânico e convencional. **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, Chapecó, v.5, n.1, p.117-127, 2019. Disponível em: <https://revistabrasileirademeioambiente.com/index.php/RVBMA/article/view/180>. Acesso em: 20 jul. 2025.
- Rubin, D. Egito é o maior fornecedor de laranjas para o Brasil. **ANBA - Agência de Notícias Brasil-Árabe**, 14 mar. 2025. Disponível em: <https://anba.com.br/egito-e-o-maior-fornecedor-de-laranjas-para-brasil/>. Acesso em: 20 jul. 2025.
- Salibe, A. A. *et al.* Sinopse de conhecimentos e pesquisas sobre a laranja 'Pêra'. Laranja, Cordeirópolis, v. 23, n. 1, p. 231-245, 2002. Disponível em: <https://host-article-assets.s3.amazonaws.com/citrusrt/59afd21e0e8825e625dde272/fulltext.pdf>. Acesso em: 20 jul. 2025.
- Santos, F. R.; Souza, J. L. C.; Silva, B. R.; Pereira, C. C. O.; Flores, R. A.; Souza, E. R. B. Yield of essential oil from varieties of Citrus sinensis (L.) Osbeck. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 45, 2023. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbf/a/LTKhntXQTTVsYgKyZyJcTbP/>. Acesso em: 17 ago. 2025.
- Satari, B.; Karimi, K. Citrus processing wastes: environmental impacts, recent advances, and future perspectives in total valorization. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 129, p. 153-167, 2018.
- SBN. **Sociedade Brasileira de Nematologia**. Perdas por nematoides. 2022. Disponível em: <https://nematologia.com.br>. Acesso em: 31 maio 2025.
- Shao, H.; Zhang, P.; Peng, D.; Huang, W.; Kong, L.; Li, C.; Liu, E.; Peng, H. Current advances in the identification of plant nematode diseases: From lab assays to in- field diagnostics. **Frontiers in Plant Science**, v. 14, p. 1106784, 24 jan. 2023. DOI: 10.3389/fpls.2023.1106784. Acesso em: jul. 2025.
- Siddiqui, Z. A.; Shahid, S. S. Biocontrol of plant-parasitic nematodes by fungi and bacteria. **Cab reviews**, v. 7, n. 17, p. 1–12, 2012.
- Sikora, R. A. *et al.* Plant parasitic nematodes in subtropical and tropical agriculture. 3. ed. **Wallingford: Cab international**, 2018.
- Silva, M. F.; Campos, V. P.; Barros, A. F.; Silva, J. C. P.; Pedroso, M. P.; Silva, F. J.; Gomes, V. A.; Justino, J. C. Medicinal plant volatiles applied against the root-knot nematode *Meloidogyne incognita*. **Industrial Crops and Products**, v. 150, 112387, 2021.

Silva, R. F., Barbosa, L. C. A., & Ferreira, S. R. (2021). Toxicidade de óleos essenciais e seus constituintes em sistemas agrícolas. **Química Nova**, 44(4), 457–468.

Soares, P. Nematoides causam perdas de mais de 50% nas culturas de soja e algodão no oeste baiano. **Revista Cultivar**, 18 ago. 2022. Disponível em: <https://revistacultivar.com.br/noticias/nematoides-causam-perdas-de-mais-de-50percent-nas-culturas-de-soja-e-algodao-no-oeste-baiano>. Acesso em 18 ago. 2025.

Teixeira, J. P. F.; Marques, M. O. M.; Figueiredo, J. O. Composição química de óleos essenciais de quinze genótipos de limão em duas épocas de colheita. **Citrus Research & Technology**, Cordeirópolis, v. 34, n. 2, p. 65-74, 2013. Disponível em: <https://www.citrusrt.cesm.br/article/10.5935/2236-3122.20130008/pdf/citrusrt-34-2-65.pdf>. Acesso em: 20 jul. 2025.

Tejo, D. P.; Fernandes, C. H. S.; Buratto, J. S. Fitonematoides e estratégias adotadas em seu controle. **Ensaio**, v. 24, n. 2, p. 126-130, 2020.

Thapa, S.; Patel, J. A.; Reuter-Carlson, U.; Schroeder, N. E. Embryogenesis in the parasitic nematode *Heterodera glycines* is independent of host-derived hatching stimulation. **BMC Dev Biol**. 2017 Jan 11;17(1):2. doi: 10.1186/s12861-016-0144-7. PMID: 28077087; PMCID: PMC5225516.

Tihobod, D. 1993. Nematologia Agrícola Aplicada. Editora FUNEP, Jaboticabal (SP), 372 p.

Torres, R. G; Ribeiro, N. R.; Boer, A. S; Corbo, E; Fernandes, O.; Figueiredo A. G. Manejo Integrado de Nematóides em sistema de Plantio Direto no Cerrado 2008 (**Circular Técnica**).

Viuda-Martos, M.; Ruiz-Navajas, Y.; Fernández-López, J.; Pérez-Álvarez, J. A. Citrus essential oils: composition, bioactivity and application. **Food Science and Technology International**, v. 14, p. 367-378, 2008.

Yoshida, F. A.; Stolf, R. Mapeamento digital de atributos e classes de solos da UFSCar-Araras/SP. **Revista Ciência, Tecnologia & Ambiente**, v. 3, n. 1, p. 1-11, 2016.

Zunkeller, A. B. **Óleos essenciais de tangerinas para manejo de podridão floral dos citros (*Colletotrichum abscissum*)**. 2023. 116 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Produção Vegetal) – Universidade Federal de São Carlos, Centro de Ciências Agrárias, Araras, 2023. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/18259>. Acesso em: 20 jul. 2025