



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS - CCA
BACHARELADO EM AGROECOLOGIA



MARIA JÚLIA GOUVÊA GONÇALVES

EFEITO DE FERTILIZANTES ORGANOMINERAIS NO CONTROLE DE
***Meloidogyne javanica* E NA PROMOÇÃO DE CRESCIMENTO EM MUDAS DE**
CAFÉ (*Coffea arabica*)

ARARAS - SP

2025

Maria Júlia Gouvêa Gonçalves

Efeito de fertilizantes organominerais no controle de *Meloidogyne javanica* e na promoção do crescimento de mudas de café (*Coffea arabica*)

Trabalho acadêmico apresentado ao Curso de Bacharelado em Agroecologia, da Universidade Federal de São Carlos - Campus Araras, como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Agroecologia.

Orientador: Evandro Henrique Schinor

ARARAS – SP

2025

AGRADECIMENTOS

Agradeço, em primeiro lugar, a Deus e à Nossa Senhora Aparecida, por iluminarem meus caminhos, fortalecerem minha fé e me permitirem chegar até aqui, mesmo diante das adversidades.

Aos meus pais, Andréa Gouvêa e Juarez Gonçalves, minha eterna gratidão por acreditarem em mim incondicionalmente, por todo amor, apoio e, acima de tudo, por adiarem seus próprios sonhos para que eu pudesse realizar os meus. Aos meus irmãos, Leonardo e Lucas, obrigada por toda a cumplicidade, parceria e amor que me acompanharam em cada etapa dessa jornada.

Aos meus avós, Maria e Luiz Gouvêa, por todo o carinho que me foi dado em vida e por terem compartilhado comigo sua paixão pela terra e pelas plantas, um legado que levo com orgulho e que floresce em cada etapa da minha formação.

Aos meus tios, Lúcia e Marco Graciliano, por me amarem como filha desde sempre e por estarem presentes de forma tão especial em minha vida. Às minhas primas Nicoli e Suellen Graciliano, que são, para mim, verdadeiras irmãs de coração, obrigada por dividirem comigo tantos momentos importantes.

À equipe do LANEM, minha sincera gratidão pelo acolhimento, pela troca de conhecimentos e por todos os aprendizados vivenciados. Ao professor Dr. Evandro Henrique Schinor, por sua paciência, dedicação e por compartilhar comigo sua experiência com generosidade e compromisso.

Ao meu grande amigo Rafael A. Cavalini, com quem compartilhei momentos inesquecíveis e que deixou marcas profundas de alegria e amizade em minha vida. Sua presença continua viva em minhas lembranças e caminha comigo, com carinho e saudade, até o fim desta jornada.

E, em especial, à República Koala's Klub, minha família escolhida. Vocês tornaram os momentos difíceis mais leves, repletos de amor, risos e irmandade. Obrigada por cada demonstração de afeto, por cada palavra de apoio e por se mostrarem, sempre, mais que belas: verdadeiramente companheiras.

“Eu sou a continuação de um sonho

Da minha mãe, do meu pai

De todos que vieram antes de mim.”

(BK’ – Continuação de um sonho)

RESUMO

Os nematoides do gênero *Meloidogyne*, especialmente *M. javanica*, figuram entre os principais fitopatógenos que afetam mudas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.), comprometendo o desenvolvimento inicial das plantas e a produtividade da lavoura. Diante das limitações do uso de nematicidas sintéticos e da necessidade de práticas mais sustentáveis, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o efeito de diferentes formulações de fertilizantes organominerais (FOM) e bioinsumos no controle de *M. javanica* e na promoção do crescimento de mudas de café. O experimento foi conduzido em casa de vegetação no campus da UFSCar, *Campus Araras*, em delineamento inteiramente casualizado com sete tratamentos e sete repetições. Os tratamentos consistiram em FOM (isolado e combinado com torta ou óleo de mamona), bionematicidas fúngico e bacteriano, Profix, além de um controle inoculado. Avaliaram-se as variáveis altura de planta, biomassa (parte aérea fresca e seca e raiz), teor relativo de clorofila (FALKER) e população de nematoides no solo e nas raízes. As análises estatísticas foram realizadas no *software* Sisvar, utilizando ANOVA e o teste de agrupamento Scott-Knott a 5% de significância. Embora os tratamentos não tenham promovido reduções estatisticamente significativas na população de nematoides, observou-se redução numérica em alguns casos, especialmente com FOM + torta de mamona e com o bionematicida bacteriano. Já as variáveis relacionadas ao desenvolvimento vegetal apresentaram melhores respostas nos tratamentos com FOM isolado, FOM + torta de mamona e Profix, demonstrando o potencial desses insumos na promoção do crescimento mesmo sob estresse biótico. Os resultados indicam que fertilizantes organominerais e resíduos vegetais são alternativas promissoras no manejo sustentável de mudas de cafeeiro e podem ser integrados a programas de manejo integrado de nematoides.

Palavras-chave: fitonematoides; bioinsumos; crescimento vegetal; cafeeiro

ABSTRACT

Root-knot nematodes of the genus *Meloidogyne*, particularly *M. javanica*, are among the main phytopathogens affecting coffee seedlings (*Coffea arabica* L.), compromising early plant development and crop productivity. Given the limitations of synthetic nematicides and the need for more sustainable practices, this study aimed to evaluate the effect of different formulations of organomineral fertilizers and bio-inputs on the control of *M. javanica* and on the growth promotion of coffee seedlings. The experiment was conducted in a greenhouse at UFSCar – Araras campus, in a completely randomized design with seven treatments and seven replications. The treatments consisted of organomineral fertilizer (FOM) applied alone or combined with castor cake or castor oil, fungal and bacterial bionematicides, Profix, and an inoculated control. The evaluated variables were plant height, biomass (fresh and dry shoot weight, root weight), relative chlorophyll content (FALKER), and nematode population in soil and roots. Statistical analyses were performed using the Sisvar software, through ANOVA and the Scott-Knott test at a 5% significance level. Although the treatments did not promote statistically significant reductions in nematode populations, numerical decreases were observed in some cases, particularly with FOM + castor cake and the bacterial bionematicide. The variables related to plant growth showed better results in treatments with FOM alone, FOM + castor cake, and Profix, demonstrating the potential of these inputs to promote growth even under biotic stress. The results suggest that organomineral fertilizers and plant-based residues are promising alternatives for the sustainable management of coffee seedlings and can be integrated into root-knot nematode management programs.

Keywords: phytonematodes; bioinput; plant growth; coffee tree

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Gênero *Meloidogyne*: fêmea em forma de saco com “pescoço” (= região esofagiana)..... 19
- Figura 2. Fêmeas de *Meloidogyne*: A, B - representação esquemática e micrografia da região perineal em *M. incognita*; C ,D - idem em *M. javanica*. As siglas são: Vu = vulva; An = ânus. 20
- Figura 3. Juvenis infectantes/J2 de *Meloidogyne* fora e no interior de raiz 22
- Figura 4. Peso fresco de raiz e peso fresco e seco da parte aérea de mudas de café, tratadas com fertilizantes organominerais e bionematicidas e inoculadas com *Meloidogyne javanica*.36
- Figura 5. População de *Meloidogyne javanica* por grama de raiz em mudas de café tratadas com fertilizantes organominerais e bionematicidas..... 39
- Figura 6. População de nematoides de vida livre e *Meloidogyne javanica* presentes no solo de mudas de café tratadas com fertilizantes organominerais e bionematicidas. 41
- Figura 7. População de nematoides de vida livre e *Meloidogyne javanica* presentes nas raízes de mudas de café tratadas com fertilizantes organominerais e bionematicidas 44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Altura de mudas de café tratadas com fertilizantes organominerais e bionematicidas após a inoculação com <i>Meloidogyne javanica</i>	32
Tabela 2. Teor de clorofila de mudas de café tratadas com fertilizantes organominerais e bionematicidas após a inoculação com <i>Meloidogyne javanica</i>	34

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
2. OBJETIVOS	14
2.1 Objetivo Geral.....	14
2.2 Objetivos Específicos	14
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
3.1 A cultura do café	15
3.2 <i>Meloidogyne javanica</i>	18
3.3 Fertilizantes organominerais (FOMs).....	24
4. MATERIAL E MÉTODOS	28
4.1 Localização do experimento.....	28
4.2 Material vegetal e preparo do substrato	28
4.3 Inoculação com <i>Meloidogyne javanica</i>	29
4.4 Aplicação dos tratamentos	29
4.5 Avaliação de crescimento e teor de clorofila	30
4.6 Coleta de biomassa e extração de nematoides.....	30
4.7 Análise estatística	30
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	32
5.1 Altura das Plantas.....	32
5.2 Teor de Clorofila	33
5.3 Biomassa	35
5.3.1 Peso de raiz	36
5.3.2 Peso de parte aérea fresca	37
5.3.3 Peso de parte aérea seca.....	38
5.4 População de Nematoides por Grama de Raiz.....	39
5.5 População de nematoides no solo.....	41
5.5.1 Nematoides de Vida Livre no Solo.....	41

5.5.2 População de <i>Meloidogyne javanica</i> no Solo	42
5.6 População de nematoides na raiz.....	43
5.6.1 Nematoides Vida Livre na Raiz	44
5.6.2 <i>Meloidogyne javanica</i> na Raiz.....	45
6. CONCLUSÃO.....	46
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47

1. INTRODUÇÃO

O cultivo de *Coffea arabica* constitui uma das atividades agrícolas mais relevantes do agronegócio mundial, tanto pelo volume de produção quanto pelo valor agregado ao produto final. O café é a segunda bebida mais consumida do planeta, atrás apenas da água, e movimenta uma complexa cadeia global que envolve milhões de produtores, comerciantes e consumidores. Entre as espécies cultivadas, o café arábica é responsável por aproximadamente 60% da produção mundial, sendo amplamente valorizado por sua qualidade sensorial superior (MAPA, 2024).

Nesse contexto, o Brasil ocupa posição de absoluto protagonismo. Segundo dados do IBGE (2023), em 2023 o país produziu cerca de 3,02 milhões de toneladas de café em grão, correspondendo a aproximadamente 50,9 milhões de sacas beneficiadas. Desse total, 76% referem-se à produção de *Coffea arabica*, evidenciando sua predominância. O estado de Minas Gerais lidera a produção nacional, com mais de 26 milhões de sacas, representando 51,3% do volume nacional (IBGE, 2023). Além de maior produtor, o Brasil também figura como principal exportador global: em 2024, as exportações brasileiras totalizaram 39,4 milhões de sacas, movimentando US\$ 8,2 bilhões em receita cambial (MAPA, 2025).

No mercado interno, o consumo também é expressivo. Estima-se que o brasileiro consuma, em média, 4,79 kg de café torrado per capita ao ano, totalizando 21,2 milhões de sacas consumidas em 2023, o que posiciona o Brasil como o segundo maior consumidor mundial (ABIC, 2024). A cafeicultura nacional está presente em mais de 1.400 municípios e envolve cerca de 300 mil propriedades rurais, sendo 78% delas conduzidas por agricultores familiares (MAPA, 2025). Tais números refletem não apenas a relevância econômica da atividade, mas também sua profunda inserção social e territorial.

Dessa forma, o café não apenas contribui significativamente para o PIB agropecuário brasileiro, mas também configura uma cultura estratégica para o desenvolvimento rural, a geração de empregos e a sustentabilidade de pequenos e médios produtores. Nesse cenário, assegurar o desempenho agrônomo da lavoura, com foco na sanidade vegetal e no aumento da produtividade, torna-se uma prioridade técnica e política (Ferreira, 2022).

Apesar do seu potencial produtivo, a cafeicultura enfrenta diversos desafios fitossanitários, entre os quais se destacam os danos causados por nematoides. Os nematoides são organismos do filo *Nematoda*, predominantemente microscópicos, com ampla distribuição nos mais diversos ecossistemas, incluindo o solo agrícola. Dentre eles, os fitonematoides

representam um grupo de interesse agrônômico, pois parasitam plantas, causando prejuízos econômicos expressivos (Oliveira; Rosa, 2018).

Entre os fitonematoides de maior impacto na cafeicultura, destacam-se os nematoides de galhas do gênero *Meloidogyne*, com ênfase nas espécies *M. incognita* e *Meloidogyne javanica* (Oliveira; Rosa, 2018).

A infecção do cafeeiro por *Meloidogyne spp.* ocorre especificamente no segundo estágio juvenil (J2), fase em que a larva é móvel e capaz de causar infecção na planta. Após eclodirem dos ovos no solo, essas larvas migram em direção às raízes da planta hospedeira, penetrando os tecidos e instalando-se no sistema vascular. A partir desse ponto, elas secretam substâncias que alteram a fisiologia celular do hospedeiro, levando à formação das galhas e à instalação de células gigantes que sustentam sua alimentação (Oliveira; Rosa, 2018).

A disseminação dos nematoides nas lavouras ocorre de maneira passiva, geralmente por meio de solo contaminado aderido a implementos agrícolas, água de irrigação, fluxo superficial e, principalmente, pela introdução de mudas infectadas, o que representa uma das vias mais críticas de transmissão em viveiros (Lordello, 1964). Uma vez estabelecidos, esses parasitas tendem a se perpetuar no solo por longos períodos, o que dificulta o manejo e exige medidas preventivas e integradas para sua contenção (Ferreira, 2022).

Em razão de sua agressividade e persistência no ambiente, os nematoides de galhas são hoje considerados um dos principais desafios para a sustentabilidade da cafeicultura brasileira, exigindo constante atenção técnica e estratégias de controle compatíveis com sistemas de produção responsáveis e eficientes (Ferreira, 2022).

O controle de nematoides, tradicionalmente, é feito com nematicidas químicos, que são produtos desenvolvidos especificamente para o controle desses parasitas, visando reduzir suas populações no solo e minimizar os danos causados às plantas. Eles atuam principalmente por contato ou ingestão, afetando o sistema nervoso dos nematoides, o que leva à paralisação e morte dos organismos (Pinheiro, 2022). No entanto, o uso desses produtos enfrenta desafios crescentes relacionados à saúde ambiental e humana, além do desenvolvimento de resistência pelos patógenos.

Apesar da eficiência inicial, esse método apresenta limitações como o alto custo e os riscos ambientais, incluindo a contaminação do solo e da água, além da toxicidade para organismos não alvo (Araujo; Bragante; Bragante, 2012). De acordo com dados da Embrapa, os custos do controle químico podem variar entre R\$ 800,00 e R\$ 1.500,00 por hectare, dependendo do produto e da dose utilizada (Pinheiro, 2022).

Além disso, o uso indiscriminado e prolongado de nematicidas tem levado à seleção de populações resistentes de nematoides, reduzindo a eficácia desses produtos. Em resposta a esses riscos, a legislação brasileira tem restringido a comercialização e o uso de diversos nematicidas considerados perigosos. A Lei nº 14.785, de 27 de dezembro de 2023, estabelece normas rigorosas para a pesquisa, produção e uso de agrotóxicos, incluindo a proibição de substâncias de alta toxicidade para a saúde humana e o meio ambiente (Brasil, 2023).

O controle cultural envolve práticas como rotação de culturas, uso de plantas resistentes ou tolerantes e manejo do solo para reduzir a população dos nematoides. Embora essa abordagem seja ambientalmente sustentável e de baixo custo, sua eficácia é limitada em sistemas de monocultivo intensivo, comuns na cafeicultura, e pode demandar mais tempo para apresentar resultados significativos (Ferreira, 2022).

Diante das limitações dos métodos convencionais, surgem como alternativas o controle biológico e a utilização de fertilizantes organominerais (FOMs).

O controle biológico é realizado pela formulação de produtos que utiliza organismos antagonistas naturais dos nematoides, como fungos, bactérias e vírus. Esses agentes de controle biológico operam por diversos mecanismos, incluindo o parasitismo de ovos, competição por nutrientes e espaço na rizosfera, além da produção de substâncias tóxicas ao patógeno (Galbieri; Belot, 2016).

Entre os agentes biológicos de destaque estão os fungos *Pochonia chlamydosporia* e *Purpureocillium lilacinum*, amplamente estudados por sua capacidade de parasitar ovos e juvenis de *Meloidogyne* spp., atuar por competição e antibiose e ainda induzir resistência sistêmica nas plantas (Oliveira; Rosa, 2018). *P. chlamydosporia*, em especial, tem se mostrado eficaz no controle de *M. javanica* em culturas como soja, demonstrando elevada compatibilidade com diversos tipos de solo e boa persistência na rizosfera.

Além dos fungos, bactérias como *Priestia megaterium* (anteriormente *Bacillus megaterium*) têm emergido como bionematicidas promissores. Estas bactérias endofíticas atuam por múltiplos mecanismos, incluindo solubilização de nutrientes, produção de fitohormônios, indução de genes de defesa nas plantas e liberação de compostos antimicrobianos voláteis (Banihashemian et al., 2023). Em experimentos com culturas como kiwi (*Actinidia chinensis*), o tratamento com *P. megaterium* reduziu significativamente o número de galhas, massas de ovos e juvenis no solo, além de estimular o crescimento da parte aérea e radicular das mudas (Banihashemian et al., 2023).

Outra estratégia integrada no controle de fitonematoides é o uso de fertilizantes organominerais, definidos como insumos que combinam fontes orgânicas (resíduos vegetais, esterco ou compostos) com minerais, favorecendo a nutrição da planta e melhorando as condições microbiológicas e físico-químicas do solo (Ferreira, 2022).

Esses produtos promovem o suprimento equilibrado de nutrientes, a melhoria das propriedades físicas e biológicas do solo e, em alguns casos, a liberação de compostos com ação nematicida (Ferreira, 2022). Na prática, FOM à base de torta de mamona, cama de frango ou compostos orgânicos enriquecidos com fósforo e potássio têm sido utilizados com sucesso na cultura do café, promovendo não apenas o vigor das plantas, mas também contribuindo para a redução da incidência de nematoides ao estimular microrganismos antagonistas (Oliveira; Rosa, 2018).

A torta de mamona tem se destacado como um insumo promissor no manejo alternativo de fitonematoides, devido à sua composição rica em compostos nitrogenados, fenóis, alcaloides e ácidos graxos como o ácido ricinoleico, que possuem reconhecido potencial nematicida (Oliveira; Rosa, 2018). Durante o processo de decomposição no solo, esses compostos voláteis exercem efeito biofumigante, interferindo na viabilidade de ovos e na mobilidade de juvenis de *Meloidogyne spp.*, conforme demonstrado em ensaios conduzidos com *M. incognita* (Pedroso, 2016).

O uso crescente dessas soluções é estimulado por políticas públicas que priorizam práticas sustentáveis. A Lei nº 14.785/2023, por exemplo, regulamenta o uso de produtos biológicos e restringe substâncias químicas de alto risco, fortalecendo a adoção de métodos alternativos (BRASIL, 2023). Além disso, programas como o Consórcio Pesquisa Café, coordenado pela Embrapa, incentivam o desenvolvimento de tecnologias voltadas à sustentabilidade na produção cafeeira (RUFINO, 2006).

Dentre as principais vantagens do uso de bionematicidas e FOM, destacam-se a baixa toxicidade, ausência de resíduos, segurança para o aplicador e contribuição para a saúde do solo. Essas práticas, ao integrarem produtividade e responsabilidade ambiental, alinham-se às novas exigências do mercado e às metas de sustentabilidade defendidas por órgãos como o MAPA e a ABIC (MAPA, 2025; ABIC, 2024).

Diante do exposto, com o presente trabalho buscou-se avaliar o potencial nematicida e estimulante de crescimento de fertilizantes organominerais em mudas de cafeeiro e, com isso, espera-se contribuir com a geração de tecnologias sustentáveis para a produção de mudas de cafeeiro mais vigorosas e saudáveis visando alta produtividade no campo.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Avaliar o potencial de fertilizantes organominerais como estimuladores de crescimento e agentes de controle de *Meloidogyne javanica* em mudas de café (*Coffea arabica*).

2.2 Objetivos Específicos

- Avaliar o desenvolvimento das mudas de café arábica (altura, massa seca e fresca da parte aérea e massa fresca de raiz) em função da aplicação dos fertilizantes organominerais;
- Avaliar a aplicação de fertilizantes organominerais e bionematicidas comerciais no desenvolvimento de mudas de café;
- Avaliar o efeito dos tratamentos sobre a população de nematoides na raiz e no solo.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 A cultura do café

A cultura do café ocupa papel central na economia, sociedade e na história do Brasil, sendo um dos principais motores do desenvolvimento agrícola nacional desde o século XIX. Atualmente, o país continua a exercer protagonismo nesse cenário, sendo líder mundial na produção e exportação de café (MAPA, 2025). Tal posição confere ao café não apenas relevância econômica, mas também uma importância social marcante, especialmente em regiões produtoras, onde a atividade cafeicultura gera renda, empregos e dinamiza mercados locais (Medeiros; Rodrigues, 2017).

Em termos econômicos, o café representa uma das culturas mais lucrativas do agronegócio brasileiro. Em 2023, o Brasil produziu cerca de 3,1 milhões de toneladas de café, consolidando-se como o maior produtor global, com destaque para os estados de Minas Gerais, Espírito Santo, São Paulo e Bahia (IBGE, 2023). A atividade emprega diretamente mais de 8 milhões de pessoas, especialmente em pequenas e médias propriedades, o que evidencia sua importância social (MAPA, 2024). Ainda segundo a Associação Brasileira da Indústria de Café (ABIC, 2024), o Brasil também é o segundo maior consumidor mundial da bebida, o que revela uma cadeia produtiva robusta e diversificada, que vai da produção primária à indústria de torrefação e exportação.

Historicamente, o café foi responsável por impulsionar a economia brasileira durante o século XIX e início do século XX, financiando a infraestrutura, como ferrovias, e moldando a estrutura fundiária e urbana de importantes regiões, principalmente o Sudeste (Delfim Netto, 2009). Essa trajetória histórica continua a reverberar nas práticas agrícolas atuais e no próprio imaginário nacional, conferindo ao café um status cultural único (Martins, 2012).

Quanto às espécies cultivadas, a cafeicultura brasileira é dominada por duas principais: o café arábica (*Coffea arabica*) e o café robusta (*Coffea canephora*), este último frequentemente identificado como conilon no Brasil. O arábica é responsável por cerca de 70% da produção nacional e caracteriza-se por um sabor mais suave, acidez pronunciada e aroma complexo. É cultivado, sobretudo, em altitudes elevadas, entre 800 e 1.200 metros, com temperaturas ideais entre 18°C e 22°C (Carvalho, et al., 2022). Já o robusta, mais resistente a pragas e adaptado a climas quentes e úmidos, é cultivado principalmente no Espírito Santo, Rondônia e parte da Bahia. Essa variedade possui um sabor mais amargo e maior teor de cafeína, sendo amplamente utilizada em blends industriais (Oliveira, 2021).

Atualmente, estima-se que mais de 300 mil produtores estejam envolvidos com a cafeicultura, sendo que a maioria é composta por pequenos agricultores familiares (Oliveira; Rosa, 2018). Essa capilaridade social confere ao setor um importante papel na inclusão produtiva, na fixação do homem no campo e na dinamização das economias locais. A sustentabilidade da atividade, no entanto, exige que os sistemas produtivos sejam constantemente atualizados frente aos desafios impostos por pragas, doenças, mudanças climáticas e degradação ambiental.

Nesse contexto, destaca-se a modernização da cafeicultura brasileira nas últimas décadas, marcada pela mecanização, uso de cultivares resistentes, manejo integrado de pragas e doenças, adubação racional, irrigação localizada e, mais recentemente, pela adoção de bioinsumos como parte de uma transição para sistemas mais sustentáveis (Ferreira, 2022). As exigências do mercado consumidor por produtos com certificação, rastreabilidade e menor impacto ambiental têm reforçado essa tendência, levando o setor a investir em tecnologias que conciliem produtividade e sustentabilidade.

A produtividade da cultura do café está fortemente condicionada a fatores ambientais e de manejo. O clima ideal com distribuição equilibrada de chuvas, temperaturas moderadas e ausência de geadas é determinante para o bom desenvolvimento da planta (Vieira, 2023). Além disso, a qualidade do solo, especialmente em termos de fertilidade, estrutura e presença de matéria orgânica, exerce impacto direto sobre a produtividade (Ferreira, 2022). Práticas inadequadas de manejo, como adubações desequilibradas ou podas imprecisas, podem comprometer o potencial produtivo das lavouras. Também é importante considerar o papel das doenças e pragas, que, quando não controladas, reduzem significativamente a produção e a qualidade dos grãos (Machado et al., 2020).

A formação de mudas de alta qualidade é uma etapa crítica para o sucesso da lavoura cafeeira. Mudanças vigorosas, com sistema radicular bem desenvolvido, proporcionam maior uniformidade no estande, melhor aproveitamento dos nutrientes e maior tolerância a estresses abióticos e bióticos, além de apresentarem maior potencial produtivo após o transplante (Oliveira; Rosa, 2018). No entanto, a fase de viveiro é também um dos pontos mais vulneráveis da cadeia produtiva, uma vez que a presença de patógenos de solo pode comprometer seriamente o desenvolvimento inicial das plantas.

Dentre os principais entraves fitossanitários enfrentados pela cafeicultura, os nematoides de solo representam uma ameaça silenciosa, mas de grande impacto. Esses organismos, em especial os do gênero *Meloidogyne*, causam a formação de galhas nas raízes,

dificultando a absorção de água e nutrientes pelas plantas e resultando em sintomas de deficiência nutricional e queda de produtividade (Oliveira; Rosa, 2018). Estima-se que os danos causados pelos nematoides podem variar entre 20% e 50% da produção, dependendo da intensidade da infestação e da suscetibilidade da cultivar (Pinheiro, 2022).

Além da redução da produtividade, os nematoides dificultam o estabelecimento de novas lavouras, comprometendo a longevidade e a sustentabilidade econômica das propriedades (Galbieri; Belot, 2016). As perdas são intensificadas quando o controle não é realizado de forma preventiva, uma vez que o diagnóstico precoce é dificultado pela localização subterrânea dos sintomas (Araujo; Bragante; Bragante, 2012).

Em áreas infestadas, os nematoides-das-galhas comprometem a estrutura e funcionalidade das raízes, interferem na absorção de água e nutrientes, e reduzem drasticamente o crescimento vegetativo das mudas. Em razão disso, o manejo fitossanitário no viveiro deve ser rigoroso, incluindo o uso de substratos livres de patógenos, práticas higiênicas, seleção de mudas saudáveis, além do uso de insumos com efeito supressor, como biofertilizantes, bionematicidas e fertilizantes organominerais (Ferreira 2022).

Frente a esse cenário, torna-se evidente a necessidade de inovação no manejo da cultura, com foco em práticas sustentáveis e adaptadas às novas exigências ambientais e legais. A substituição gradual de insumos químicos por alternativas orgânicas ou organominerais surge como uma resposta coerente e viável. Os fertilizantes organominerais, por exemplo, vêm sendo cada vez mais utilizados devido à sua capacidade de melhorar a fertilidade do solo e a saúde das plantas, ao mesmo tempo que contribuem para a supressão de organismos patogênicos, como os nematoides (Pedroso, 2016; Alcebíades et al., 2019). Compostos como a torta de mamona, ricos em nitrogênio e com propriedades nematicidas, têm mostrado resultados promissores, especialmente em cultivos protegidos (Banihashemian et al., 2023).

Ademais, a Lei nº 14.785/2023, que dispõe sobre a experimentação e a produção de fertilizantes especiais, estabelece diretrizes importantes para a regulamentação desses insumos, incentivando o desenvolvimento de tecnologias que conciliem produtividade e sustentabilidade (Brasil, 2023). Isso representa uma oportunidade para o avanço da cafeicultura em direção a modelos de produção mais resilientes e ambientalmente responsáveis.

Outro ponto que merece destaque é a importância da pesquisa pública e da extensão rural no fortalecimento da cadeia do café. Programas como o PNP&D Café, coordenado pela

Embrapa, têm fomentado a geração de conhecimento técnico-científico e a capacitação de produtores em práticas modernas e sustentáveis (Rufino, 2006). Essa integração entre ciência e campo é essencial para garantir que inovações tecnológicas, como os fertilizantes organominerais, cheguem efetivamente aos produtores e sejam incorporadas às rotinas produtivas.

Dessa forma, a cultura do café, embora historicamente consolidada, segue em constante processo de renovação e adaptação. Os desafios contemporâneos, como a pressão por sustentabilidade, a variabilidade climática e os riscos fitossanitários, exigem uma abordagem técnica robusta, integrada e inovadora. A adoção de práticas de manejo que respeitem o meio ambiente e promovam a saúde do solo é uma das chaves para manter a competitividade do setor e assegurar a continuidade do protagonismo brasileiro no cenário global da cafeicultura (Siqueira, 2005; Medeiros; Rodrigues, 2017).

3.2 *Meloidogyne javanica*

O gênero *Meloidogyne*, conhecido como nematoides-das-galhas, compreende um dos grupos de fitonematoides mais importantes da agricultura global. Sua relevância decorre da ampla gama de hospedeiros, da capacidade de sobrevivência no solo e do alto potencial reprodutivo, características que favorecem infestações severas e perdas econômicas expressivas (Ferraz; Brown, 2016).

Dentre as mais de 100 espécies descritas até hoje, quatro se destacam por sua ampla distribuição geográfica e importância agrônômica: *M. incognita*, *M. javanica*, *M. arenaria* e *M. hapla* (Ferraz; Brown, 2016). Estas espécies são frequentemente associadas a prejuízos significativos em culturas como tomate, cenoura, algodão, batata, café, soja, entre outras, tornando-se alvo recorrente de programas de manejo integrado.

A espécie *M. javanica*, em particular, é notoriamente adaptada às condições tropicais e subtropicais, sendo amplamente distribuída em solos arenosos e leves, características comuns em regiões produtoras do Brasil (Pinheiro; Pereira, 2013).

A morfologia dos nematoides do gênero *Meloidogyne* é bastante característica. A fêmea de *M. javanica* é o principal estágio responsável pelo parasitismo e reprodução da espécie. Apresenta corpo globoso ou piriforme, coloração esbranquiçada, e permanece fixada no interior da raiz hospedeira, geralmente no córtex ou próximo ao cilindro central (Figura 1). Sua morfologia é adaptada à vida sedentária, com estilete bem desenvolvido e glândulas

esofagianas que secretam substâncias responsáveis pela indução de células gigantes no tecido vegetal (Ferraz; Brown, 2016).

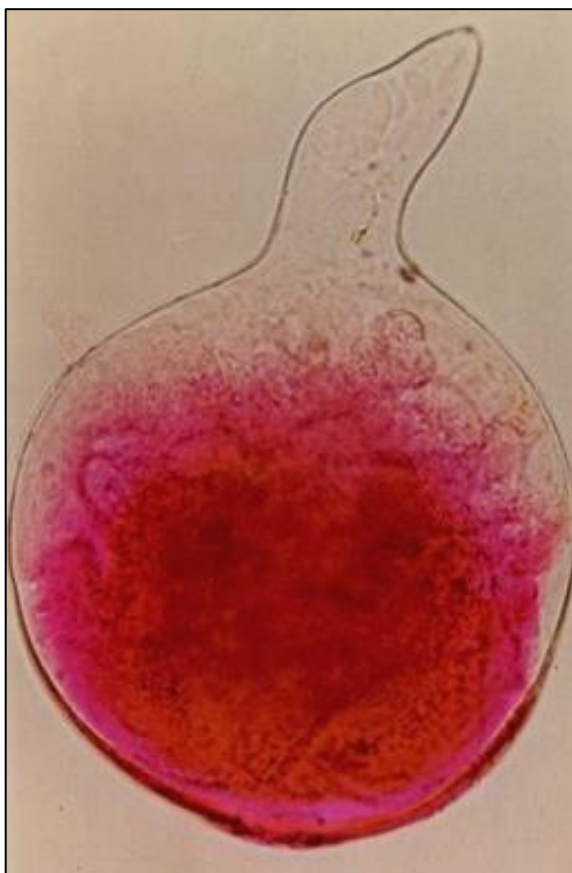


Figura 1. Gênero *Meloidogyne*: fêmea em forma de saco com “pescoço” (= região esofagiana) (Ferraz; Brown, 2016, p.126).

Essas células gigantes, formadas por hipertrofia e sincronia nuclear, atuam como um sítio de alimentação contínuo, permitindo que a fêmea se nutra de forma eficiente ao longo do seu desenvolvimento. O processo de formação dessas estruturas representa uma modificação fisiológica intensa da planta, mediada por proteínas e efetores liberados durante a alimentação do nematoide (Zamboni, 2019).

A fêmea é ovípara, depositando seus ovos em uma massa gelatinosa na superfície da raiz ou no solo próximo. Essa massa protege os ovos contra ressecamento e predadores, além de permitir a dispersão gradual dos juvenis. Cada fêmea é capaz de produzir centenas a milhares de ovos ao longo de sua vida, o que, aliado à curta duração do ciclo (cerca de 25 a 30 dias em condições ideais), resulta em populações altamente explosivas no campo (Ferraz; Brown, 2016).

Uma característica importante para diagnóstico é o padrão de estrias perineais da fêmea adulta (Figura 2). Em *M. javanica*, esse padrão é formado por estrias finas, lisas, com

arco dorsal baixo e margens laterais pouco pronunciadas, permitindo a diferenciação de outras espécies do gênero (Zamboni, 2019).

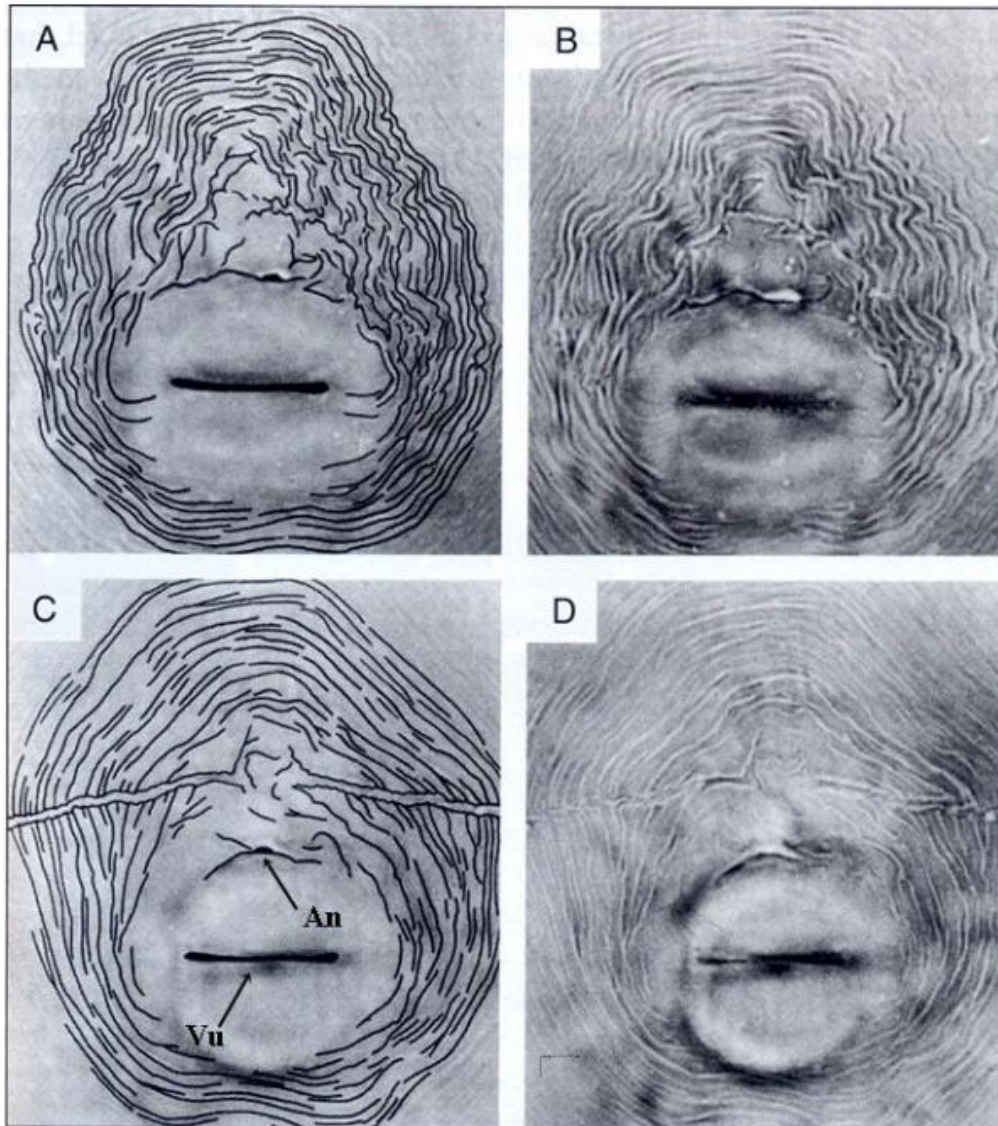


Figura 2. Fêmeas de *Meloidogyne*: A, B - representação esquemática e micrografia da região perineal em *M. incognita*; C, D - idem em *M. javanica*. As siglas são: Vu = vulva; An = ânus (Ferraz; Brown, 2016, p. 128).

Embora sejam sedentárias, as fêmeas controlam ativamente a fisiologia da planta hospedeira por meio de sinalização bioquímica complexa. Essa capacidade de manipular o metabolismo vegetal torna o controle dessa fase particularmente difícil, exigindo estratégias preventivas e manejo integrado.

Já o macho, apresenta características morfológicas e funcionais distintas das fêmeas. Enquanto estas são sedentárias, globosas e permanecem fixas ao sistema radicular da planta hospedeira, os machos têm corpo vermiforme, são móveis e livres no solo. Sua principal

característica morfológica é a forma alongada e estreita, com cutícula lisa e presença de um estilete menos robusto que o das fêmeas (Ferraz; Brown, 2016).

Funcionalmente, os machos emergem do sistema radicular após o quarto estágio juvenil, e, embora possuam sistema reprodutor funcional, raramente participam da reprodução em espécies partenogênicas como *M. javanica*. A reprodução ocorre predominantemente sem fecundação (apomixia), tornando os machos praticamente dispensáveis para a perpetuação da espécie (Zamboni, 2019). No entanto, sua presença no ciclo de vida pode estar associada a condições ambientais desfavoráveis ou ao estresse do hospedeiro, sugerindo uma possível função adaptativa ainda pouco compreendida (Ferraz; Brown, 2016).

Do ponto de vista ecológico, os machos têm mobilidade suficiente para migrar no solo e localizar fêmeas, mas raramente são encontrados em grande número no campo. A sua ocorrência, embora limitada, é importante para estudos taxonômicos e genéticos, dado que eles mantêm características morfológicas úteis para a identificação da espécie (Zamboni, 2019).

A reprodução em *M. javanica* ocorre predominantemente por partenogênese mitótica (ou apomixia), um tipo de reprodução assexuada em que não há necessidade de fecundação por machos. As fêmeas adultas produzem ovos viáveis por mitose, gerando descendentes geneticamente idênticos (Ferraz; Brown, 2016). Essa estratégia é altamente eficiente, pois permite rápida multiplicação da população em curto intervalo de tempo, mesmo na ausência de machos os quais, apesar de morfológicamente completos, raramente participam do processo reprodutivo (Zamboni, 2019).

Cada fêmea pode depositar centenas até mais de mil ovos, agrupados em uma massa gelatinosa produzida pelas glândulas anais. Essa matriz protege os ovos contra condições adversas e facilita sua liberação no solo ou sobre a raiz (Ferraz; Brown, 2016). O ambiente influencia diretamente a taxa de reprodução: em temperaturas entre 25 °C e 30 °C, o ciclo completo, da eclosão à postura, pode ocorrer em cerca de 30 dias, permitindo várias gerações durante uma única safra (Pinheiro; Pereira, 2013).

Essa forma de reprodução tem implicações importantes para o manejo. A ausência de recombinação genética torna as populações relativamente homogêneas, mas também favorece a seleção de variantes adaptadas a cultivares resistentes ou práticas de controle específicas, exigindo cuidado na adoção contínua de uma mesma estratégia (Zamboni, 2019).

O ciclo de vida de *M. javanica* inicia-se com ovos depositados em uma matriz gelatinosa na superfície radicular da planta hospedeira. Desses ovos emergem os juvenis de

segundo estágio (J2), que são os únicos estágios infectivos. Após a penetração pelas raízes, geralmente na zona de alongação, os J2 migram intercelularmente até alcançar o cilindro central (Figura 3), onde estabelecem um sítio de alimentação permanente induzindo a formação de células gigantes (Zamboni, 2019).



Figura 3. Juvenis infectantes/J2 de *Meloidogyne* fora e no interior de raiz (Ferraz; Brown, 2016).

Esse processo desencadeia hipertrofia e hiperplasia dos tecidos, resultando na formação das galhas. A partir daí, os nematoides passam por três mudas até atingirem o estágio adulto. O ciclo completo pode ser concluído em 25 a 35 dias, dependendo das condições edafoclimáticas, especialmente da temperatura (Ferraz; Brown, 2016).

A relação entre *M. javanica* e suas plantas hospedeiras é do tipo parasitismo obrigatório e altamente especializado. A instalação do nematoide na raiz provoca profundas alterações na fisiologia vegetal. A formação das células gigantes, que atuam como fonte contínua de nutrientes, interfere no fluxo normal de água e assimilados, o que repercute em sintomas como clorose, murcha em dias quentes, redução do crescimento e, em infestações severas, morte da planta (Ferraz; Brown, 2016).

Além dos sintomas aéreos, o principal indicativo da presença de *M. javanica* é a formação de galhas nas raízes, que podem variar de tamanho e forma, dependendo da espécie vegetal. Em tomateiro, por exemplo, essas galhas são facilmente visíveis a olho nu e podem se apresentar em grande quantidade, comprometendo severamente o desenvolvimento radicular (Pinheiro; Pereira, 2013).

Outro aspecto crítico da interação é a predisposição da planta a infecções secundárias por fungos e bactérias, facilitadas pelas lesões causadas durante a penetração e movimentação

do nematoide nos tecidos (Zamboni, 2019). Isso agrava ainda mais os efeitos deletérios sobre o sistema radicular e compromete o manejo fitossanitário.

M. javanica distingue-se das demais espécies do gênero tanto por características morfológicas quanto por sua adaptabilidade ecológica. A análise da região perineal da fêmea, método tradicional de identificação, revela padrões específicos de estriação e configuração da vulva, que permitem diferenciá-la de *M. incognita* e *M. arenaria* (Zamboni, 2019).

Essa espécie é notoriamente policíclica e apresenta grande plasticidade fenotípica, o que lhe confere elevada capacidade de adaptação a diferentes tipos de solo, hospedeiros e sistemas de cultivo (Ferraz; Brown, 2016). Sua alta fecundidade e o curto ciclo de vida favorecem o estabelecimento de populações densas em curto espaço de tempo, dificultando o controle e contribuindo para perdas agrícolas recorrentes.

Além disso, *M. javanica* possui ampla gama de hospedeiros, o que limita a eficácia de estratégias de rotação de culturas se não forem bem planejadas (Pinheiro; Pereira, 2013). Sua presença é recorrente em áreas com histórico de monocultivos intensivos, principalmente em hortaliças como tomate, pimentão e cenoura, onde os danos são mais evidentes.

O controle de *M. javanica* deve ser pautado por um enfoque integrado, combinando práticas culturais, químicas, biológicas e, sobretudo, preventivas. A rotação de culturas com plantas não hospedeiras ou antagonistas, como crotalária (*Crotalaria spp.*) e milheto (*Pennisetum glaucum*), é uma das principais ferramentas culturais disponíveis (Ferraz; Brown, 2016).

A utilização de cultivares resistentes é uma estratégia eficaz, porém limitada pela variabilidade genética do nematoide e pelo risco de quebra de resistência. Em tomateiro, por exemplo, cultivares com o gene *Mi* podem apresentar resistência, mas apenas contra determinadas raças de *Meloidogyne* (Pinheiro; Pereira, 2013).

O uso de agentes biológicos vem ganhando destaque nos últimos anos, principalmente os bionematicidas à base de fungos e bactérias antagonistas. Embora a eficácia desses produtos possa variar em função de fatores ambientais, eles representam alternativa sustentável e ambientalmente segura em comparação aos nematicidas químicos, cuja utilização está cada vez mais restrita (Zamboni, 2019).

Dentro dessa abordagem, os fertilizantes organominerais aparecem como ferramentas promissoras para o manejo de *M. javanica*. Além de fornecerem nutrientes à planta, alguns compostos orgânicos presentes nesses fertilizantes promovem atividade microbiana no solo e podem atuar diretamente na supressão dos nematoides, seja por liberação de compostos

tóxicos, melhoria da estrutura do solo ou estímulo à resistência sistêmica da planta (Zamboni, 2019).

A adoção de fertilizantes organominerais ricos em carbono orgânico, como torta de mamona, torta de filtro e resíduos vegetais compostados, tem demonstrado, em diversos estudos, efeitos positivos tanto na redução da população de nematoides quanto no incremento do crescimento das plantas (Ferraz; Brown, 2016). A integração desses insumos com bionemáticas potencializa o efeito supressivo e contribui para a sustentabilidade do manejo.

3.3 Fertilizantes organominerais (FOMs)

Os FOMs representam uma alternativa promissora dentro do contexto da agricultura sustentável, especialmente em culturas perenes como o cafeeiro. Esses produtos são formulados a partir da mistura de fertilizantes minerais com materiais orgânicos estabilizados, como tortas vegetais, compostos orgânicos e resíduos agroindustriais. Essa combinação proporciona não apenas o fornecimento equilibrado de nutrientes às plantas, mas também melhorias significativas na estrutura e na atividade biológica do solo (Fernandes et al., 2021). Sua aplicação combina benefícios nutricionais, microbiológicos e físico-químicos do solo, proporcionando efeitos diretos e indiretos sobre a saúde vegetal e sobre populações de fitonematoides, como os do gênero *Meloidogyne* (Ferreira; Brown, 2016; Oliveira, 2019).

De acordo com a legislação vigente (Brasil, 2023), FOMs são definidos como produtos resultantes da combinação de materiais orgânicos de origem vegetal, animal ou ambos com fontes minerais de nutrientes, podendo conter elementos essenciais primários, secundários e micronutrientes. Essa formulação híbrida confere ao produto características únicas, enquanto os compostos orgânicos favorecem a melhoria da estrutura do solo e a atividade microbiológica, os componentes minerais asseguram a disponibilidade imediata de nutrientes essenciais ao desenvolvimento das plantas (Oliveira, 2019).

Ao contrário dos fertilizantes exclusivamente minerais ou orgânicos, os FOMs reúnem vantagens dos dois grupos, promovendo nutrição equilibrada, incremento da fertilidade do solo e, mais recentemente, sendo investigados quanto ao seu potencial fitossanitário, especialmente no controle de patógenos radiculares (Zamboni, 2019).

A composição dos FOMs pode variar conforme o tipo de cultura-alvo e as condições edafoclimáticas. No entanto, alguns componentes são recorrentes. Fontes orgânicas como tortas vegetais, esterco curtido, resíduos de agroindústrias, húmus de minhoca e compostos

vegetais são amplamente utilizados como substrato de base. Esses materiais exercem função estruturante e estimulam a atividade de microrganismos benéficos (Ferreira; Brown, 2016).

Do ponto de vista mineral, os FOMs geralmente contêm fósforo (P), potássio (K) e nitrogênio (N), em diferentes proporções. O fósforo favorece o enraizamento e a resistência das plantas ao estresse, enquanto o potássio atua no equilíbrio hídrico e na defesa contra doenças. Micronutrientes como zinco, manganês, cobre e boro também podem ser incorporados, contribuindo para a regulação de processos fisiológicos e reforço estrutural das raízes (Oliveira, 2019; Araujo; Bragante; Bragante, 2012).

A ação dos FOMs sobre fitonematoides pode ocorrer por mecanismos diretos e indiretos. Do ponto de vista direto, a liberação de compostos bioativos, como ácidos orgânicos, fenóis e substâncias alelopáticas presentes nos materiais orgânicos, pode inibir a eclosão de ovos, reduzir a mobilidade de juvenis de segundo estágio (J2) ou interferir na capacidade de penetração nas raízes (Galbieri; Belot, 2016; Ferraz; Brown, 2016).

No campo indireto, observa-se um fortalecimento geral da planta e da rizosfera. Os FOM promovem maior vigor radicular e incremento da microbiota do solo, incluindo antagonistas naturais de nematoides, como fungos nematófagos e bactérias do gênero *Bacillus* e *Pseudomonas*. A competição e predação exercidas por esses microrganismos criam um ambiente hostil à proliferação dos nematoides (Zamboni, 2019; Araujo; Bragante; Bragante, 2012). Além disso, o aumento da matéria orgânica melhora a capacidade de retenção de água e de troca catiônica do solo, contribuindo para a resiliência das plantas ao ataque de patógenos.

Na cafeicultura, a aplicação de FOMs tem sido investigada tanto pelo seu potencial de nutrir as plantas quanto pelo efeito supressor sobre fitonematoides, como *M. javanica*. A utilização de resíduos vegetais com ação bioativa, como a torta de mamona (*Ricinus communis*), confere a esses insumos um papel adicional no manejo fitossanitário das mudas, sobretudo durante o estágio de viveiro, onde o sistema radicular ainda está em formação e altamente suscetível a patógenos do solo (FERREIRA et al., 2012).

Estudos conduzidos por Ferreira (2014) demonstraram que a formulação UFV-TM100, composta exclusivamente por torta de mamona, foi eficaz na supressão de populações de *M. javanica* e *M. exigua* em diferentes culturas, incluindo tomate, alface e café. A aplicação do produto resultou não apenas na redução da densidade populacional de nematoides, mas também em ganhos agrônômicos expressivos, como aumento na massa seca, na altura e no vigor das plantas. Esses resultados indicam que a torta de mamona, além de

atuar como fonte de nitrogênio orgânico, libera compostos tóxicos que afetam diretamente ovos e juvenis dos nematoides.

A eficácia nematicida da torta de mamona está associada à presença de compostos como ricina, ricinina e uma diversidade de Compostos Orgânicos Voláteis (Beltrão; Oliveira, 2009). Em estudo desenvolvido por Pedroso (2016), foram identificadas 32 moléculas voláteis resultantes da decomposição da torta em solo, com destaque para substâncias como fenol, 4-metil-fenol, γ -decalactona e ácido butanoico. Essas moléculas apresentaram toxicidade significativa sobre J2 de *M. incognita*, indicando a potencialidade desses compostos também sobre *M. javanica*.

Do ponto de vista nutricional, os FOMs promovem melhorias nos atributos físicos e químicos do solo, como aumento da matéria orgânica, da capacidade de retenção de água, da CTC e da atividade microbiana. Essas mudanças contribuem para a formação de um ambiente rizosférico mais favorável ao crescimento radicular e à colonização por microrganismos benéficos, reforçando a resiliência do sistema contra estresses bióticos (Fernandes et al., 2021).

Estudos indicam que plantas tratadas com FOMs apresentam redução na formação de galhas e menor densidade populacional de nematoides nas raízes e no solo. Essa menor pressão biótica, associada ao melhor desempenho fisiológico, resulta em maior produtividade e qualidade dos frutos, como observado em culturas perenes e semiperenes (Zamboni, 2019).

Além dos efeitos isolados, a associação de FOMs com agentes biológicos tem sido apontada como uma estratégia sinérgica no manejo de fitonematoides. Ferreira (2022) destacam que a aplicação conjunta de *Pochonia chlamydosporia* com torta de mamona não compromete a viabilidade do fungo, permitindo o controle simultâneo de ovos de *Meloidogyne* por mecanismos físicos, químicos e biológicos. Isso abre espaço para o desenvolvimento de tecnologias integradas baseadas na compatibilidade entre insumos sustentáveis.

A aplicação eficiente de FOMs requer, no entanto, atenção a fatores como dose, época e forma de aplicação. A torta de mamona, por exemplo, pode apresentar fitotoxidez se aplicada em excesso ou sem o devido período de pré-incorporação. Estudos indicam que a aplicação deve ser realizada com antecedência mínima de 14 dias ao transplante, a fim de garantir a decomposição dos compostos mais agressivos e otimizar sua ação sobre o solo e o patógeno (Ferreira, 2022).

Portanto, os FOMs constituem uma ferramenta estratégica no manejo integrado de nematoides, especialmente em viveiros de mudas de cafeeiro. Sua capacidade de promover o crescimento vegetal, melhorar a qualidade do solo e exercer ação supressora sobre *M. javanica* os posiciona como insumos multifuncionais em sistemas agrícolas sustentáveis. A continuidade das pesquisas sobre formulações, compatibilidade com agentes biológicos e efeitos residuais será determinante para a consolidação desses produtos como padrão tecnológico na cafeicultura brasileira.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Localização do experimento

O experimento foi conduzido em casa de vegetação no campus da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), Centro de Ciências Agrárias, localizado no município de Araras, estado de São Paulo, Brasil, sob coordenadas geográficas de 22°21'43" S de latitude e 47°23'03" W de longitude, sob a orientação do Professor Doutor Evandro Henrique Schinor.

A área experimental apresenta clima tropical de altitude, classificado como Cwa segundo a classificação climática de Köppen. As características climáticas locais incluem temperaturas médias anuais entre 19°C e 22°C. O uso de casa de vegetação visou proporcionar um ambiente controlado, minimizando a interferência de variáveis ambientais como temperatura, umidade e precipitação, o que é fundamental para experimentos envolvendo fitonematoides como *M. javanica*.

4.2 Material vegetal e preparo do substrato

As mudas utilizadas foram de *Coffea arabica* L., adquiridas com aproximadamente 70 dias após a semeadura. Em 04 de outubro de 2024, as mudas foram transplantadas para recipientes plásticos com dimensões de 22 × 14 cm. Cada recipiente foi preenchido com 684 g de solo e 146 g de substrato comercial, totalizando 830 g de material por unidade experimental. Ambos foram umedecidos antes da autoclavagem. Tanto o solo quanto o substrato foram autoclavados antes do plantio, com o objetivo de eliminar organismos patogênicos e garantir a uniformidade microbiológica do substrato.

A esterilização por autoclavagem é uma prática recomendada em experimentos com bioensaios e bionematicidas, pois elimina organismos patogênicos e reduz a interferência de microrganismos nativos do solo, permitindo a avaliação mais precisa dos efeitos dos tratamentos aplicados (Manea et al., 2024). De acordo com Oliveira e Rosa (2018), a adoção de substratos esterilizados é fundamental para garantir a eficiência e a reprodutibilidade dos testes envolvendo agentes biológicos em condições controladas, especialmente em viveiros e casa de vegetação.

4.3 Inoculação com *Meloidogyne javanica*

A inoculação das plantas com *M. javanica* foi realizada no 31º dia após a chegada das mudas. Cada planta recebeu 2,5 mL de uma suspensão contendo ovos e juvenis do nematoide, totalizando 4.650 indivíduos por vaso, aplicados ao redor da base do caule com o auxílio de uma pipeta, junto ao sistema radicular. A aplicação foi feita com cuidado para garantir a distribuição uniforme e a efetiva penetração dos juvenis no solo, favorecendo a infecção natural das raízes. O inóculo foi adquirido do Departamento de Nematologia do Instituto Biológico de Campinas em parceria com a empresa Valoriza Agronegócios e Fertilizantes, e previamente quantificado para garantir homogeneidade entre as repetições. O procedimento seguiu a metodologia descrita por Hussey e Barker (1973), adaptada para condições de casa de vegetação e recipientes individuais. A aplicação em sulco ao redor da base da planta favorece o contato dos nematoides com a rizosfera e melhora a eficiência da inoculação (Hussey; Barker, 1973).

4.4 Aplicação dos tratamentos

Após 24hs da inoculação dos nematoides, foi realizada a aplicação dos tratamentos. O delineamento experimental adotado foi inteiramente casualizado, com sete tratamentos e sete repetições, totalizando 49 unidades experimentais. Cada tratamento foi aplicado individualmente em cada planta, conforme descrito a seguir:

1. Controle inoculado (sem aplicação de insumos);
2. Bionematicida fúngico à base de *Pochonia chlamydosporia* (CCT 7957) e *Purpureocillium lilacinum* (CCT 2146), aplicado na dose de 0,1 mL por planta, sem diluição;
3. Produto comercial Profix, bionematicida microbiológico, aplicado na dose de 0,154 g diluído em 0,308 mL de água por planta;
4. Fertilizante organomineral (FOM) da empresa Valoriza na dose de 2,82 g por planta;
5. FOM + óleo de mamona: 2,82 g + 3 mL por planta;
6. FOM + torta de mamona moída: 2,82 g + 1,54 g por planta;
7. Bionematicida bacteriano à base de *Priestia megaterium* (CBMAI 2813), 0,1 mL por planta, sem diluição.

4.5 Avaliação de crescimento e teor de clorofila

As medições de altura de planta e teor de clorofila nas folhas foram realizadas quinzenalmente, utilizando-se régua milimetrada e clorofiLog Falker modelo CFL2060, respectivamente. O valor final considerado para cada planta foi obtido pela média das medições realizadas ao longo do experimento. Esse procedimento é amplamente utilizado em pesquisas com cafeeiro por sua eficiência em monitorar o estado nutricional e fisiológico das plantas.

4.6 Coleta de biomassa e extração de nematoides

As coletas das plantas foram realizadas em duas etapas. No 117º dia de experimento, foram desmontados os blocos 3, 4 e 7. No 125º dia, foram desmontados os blocos 1, 2, 5 e 6. As raízes foram cuidadosamente lavadas, cortadas e pesadas ainda frescas. A parte aérea foi também pesada fresca e, em seguida, acondicionada em sacos de papel e levada à estufa de circulação forçada a 65°C por cinco dias. Durante esse período, as amostras foram pesadas diariamente até que apresentassem peso constante, indicando que a matéria seca havia sido completamente estabilizada.

As amostras de solo (300 cc por unidade experimental) e raízes foram processadas individualmente para extração de nematoides utilizando o método de Jenkins modificado, de forma que a adição de sacarose ocorreu duas vezes e no método tradicional apenas uma, que se baseia em centrifugação com solução de sacarose e flotação (Jenkins, 1964). A contagem foi realizada por microscopia óptica, utilizando 2 mL da suspensão extraída por amostra. O número de nematoides por grama de raiz foi determinado por meio da equação (1)

$$N = \frac{T}{M} \quad (1)$$

Sendo:

N o número de nematoides por grama de raiz;

T o número total de nematoides contados na amostra e;

M a massa da raiz analisada em gramas.

4.7 Análise estatística

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA) para verificar a existência de diferenças significativas entre os tratamentos avaliados. Quando identificado

efeito significativo, as médias foram comparadas pelo teste de agrupamento Scott-Knott, adotando-se o nível de significância de 5%. A escolha desse teste se justifica por sua eficiência em discriminar grupos com maior precisão em experimentos com múltiplos tratamentos e variabilidade moderada. As análises foram realizadas com o auxílio do *software* estatístico SISVAR.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Altura das Plantas

A altura das plantas foi quantificada em quatro momentos ao longo do ciclo experimental, com o objetivo de avaliar o crescimento vegetativo das mudas de cafeeiro nos diferentes tratamentos. A análise estatística revelou que houve diferença significativa apenas para o fator tempo, indicando que o desenvolvimento das plantas foi influenciado exclusivamente pelo avanço temporal. Não foram observadas diferenças estatísticas entre os tratamentos, nem interação significativa entre tratamento e tempo, demonstrando que todos os insumos aplicados proporcionaram respostas similares em termos de alongamento da parte aérea (Tabela 1).

Tabela 1. Altura de mudas de café tratadas com fertilizantes organominerais e bionemáticas após a inoculação com *Meloidogyne javanica*.

Tratamentos	Dias após a inoculação			
	6	20	40	90
T1-Controle inoculado	15,50 aC*	16,93 aC	23,50 aB	28,07 aA
T2-Bionemática fúngica	14,36 aD	16,64 aD	22,50 aC	30,86 aA
T3-Profix	15,14 aD	18,43 aC	23,00 aB	31,14 aA
T4-FOM	15,28 aC	17,43 aC	24,21 aB	31,86 aA
T5-FOM + óleo de mamona	14,86 aC	16,14 aC	23,71 aB	30,93 aA
T6-FOM + torta de mamona	15,28 aC	17,78 aC	23,28 aB	31,00 aA
T7-Bionemática bacteriana	15,57 aC	18,07 aC	24,57 aB	30,71 aA

* Médias seguidas de mesma letra, maiúscula, na linha, e minúscula, na coluna não diferem entre si pelo teste Scott Knott (5%).

As médias de altura apresentaram um crescimento progressivo e consistente ao longo das avaliações, com os seguintes valores registrados: 15,14 cm (tempo 1), 17,35 cm (tempo 2), 23,54 cm (tempo 3) e 30,65 cm (tempo 4). Esse padrão crescente está de acordo com o comportamento esperado para mudas em condições controladas de viveiro, refletindo boa adaptação das plantas ao ambiente e às práticas de manejo adotadas.

A ausência de diferença significativa entre os tratamentos pode estar associada a vários fatores. Primeiramente, o cafeeiro é uma espécie perene que apresenta crescimento contínuo e relativamente uniforme em fases iniciais, sendo mais responsivo a variações nutricionais e ambientais ao longo do tempo (Ferreira et al., 2012). Além disso, todos os

tratamentos continham algum tipo de insumo potencialmente benéfico, seja um bionematicida, fertilizante organomineral ou resíduo vegetal, o que pode ter contribuído para um padrão de crescimento uniforme.

Apesar da ausência de significância estatística, a evolução dos valores médios indica que os tratamentos não comprometeram o crescimento vertical das plantas, e que o sistema radicular pode ter se desenvolvido de maneira equilibrada. Estudos como os de Oliveira e Rosa (2018) demonstram que o uso de compostos orgânicos e organominerais tende a promover condições favoráveis ao crescimento inicial de mudas, principalmente por melhorar a estrutura do substrato, estimular a microbiota benéfica e disponibilizar nutrientes de forma gradual. Mesmo que esses benefícios não se traduzam imediatamente em diferenças estatísticas na altura, podem influenciar outras variáveis como biomassa e estado nutricional, o que foi parcialmente observado em outras seções deste trabalho.

Outro aspecto relevante é o tempo de avaliação. Em experimentos com mudas de cafeeiro, os efeitos de fertilizantes organominerais e bioinsumos tendem a se manifestar com maior clareza ao longo do tempo, especialmente nas fases em que o sistema radicular e a parte aérea encontram-se em expansão ativa. Segundo Oliveira e Rosa (2018), a ação de insumos orgânicos pode ser gradativa, influenciando o crescimento de forma acumulativa à medida que a rizosfera é colonizada e os nutrientes se tornam biodisponíveis. Essa dinâmica justifica a necessidade de períodos mais longos de avaliação para captar diferenças significativas no desempenho fisiológico e agrônômico das plantas. Dessa forma, o intervalo de 90 Dias Após Inoculação (DAI) pode ter sido suficiente apenas para revelar tendências iniciais de crescimento, mas não para distinguir de forma estatisticamente robusta os efeitos dos tratamentos sobre a altura.

Por fim, é importante destacar que o crescimento consistente das mudas ao longo do tempo, independentemente do tratamento, indica eficiência geral do sistema de cultivo em casa de vegetação e qualidade das práticas experimentais adotadas, como o uso de solo autoclavado, substrato equilibrado e irrigação regular. A estabilidade ambiental garantida pela estufa também pode ter minimizado a variabilidade de resposta entre os tratamentos.

5.2 Teor de Clorofila

O teor relativo de clorofila nas folhas das mudas de cafeeiro, estimado por valores ICF (índice de clorofila Falker), é um indicador sensível do estado nutricional, principalmente em relação ao nitrogênio, e reflete diretamente a capacidade fotossintética da planta. No presente

estudo, os dados foram analisados em quatro momentos distintos, com o objetivo de acompanhar a dinâmica fisiológica das mudas sob diferentes tratamentos e inoculadas com o nematoide *Meloidogyne javanica* (Tabela 2).

Tabela 2. Teor de clorofila de mudas de café tratadas com fertilizantes organominerais e bionematicidas após a inoculação com *Meloidogyne javanica*. Araras, SP, (2024).

Tratamentos	DAI			
	6	20	40	90
T1-Controle inoculado	68,37 aB*	63,61 aB	77,38 bA	65,33 aB
T2-Bionematicida fúngico	69,54 aA	61,91 aB	74,98 bA	65,00 aB
T3-Profix	69,30 aB	66,26 aB	83,46 aA	64,81 aB
T4-FOM	67,53 aB	64,56 aB	81,00 aA	68,13 aB
T5-FOM + óleo de mamona	69,98 aB	66,14 aB	83,77 aA	67,77 aB
T6-FOM + torta de mamona	68,10 aB	64,04 aB	81,84 aA	67,86 aB
T7-Bionematicida bacteriano	68,17 aB	64,36 aB	77,57 bA	67,68 aB

* Médias seguidas de mesma letra, maiúscula, na linha, e minúscula, na coluna não diferem entre si pelo teste Scott Knott (5%).

Houve diferença significativa para o fator tempo, indicando que o teor de clorofila variou ao longo do ciclo, independentemente do tratamento. Esse padrão é coerente com o desenvolvimento natural da planta e com as alterações fisiológicas que ocorrem durante o crescimento vegetativo, como expansão foliar e acúmulo de pigmentos fotossintéticos.

Além disso, foi observada diferença significativa entre os tratamentos apenas aos 40 DAI. Nas demais avaliações, os tratamentos não diferiram estatisticamente entre si, e não houve interação significativa entre tratamento e tempo, indicando que, de modo geral, os tratamentos apresentaram comportamentos semelhantes ao longo do tempo.

Aos 40 DAI, os tratamentos 5 (FOM + óleo de mamona), 3 (Profix), 6 (FOM + torta de mamona) e 4 (FOM isolado) destacaram-se com os maiores valores de ICF: 83,77; 83,46; 81,84 e 81,30, respectivamente. Já os tratamentos 1 (controle inoculado), 2 (bionematicida fúngico) e 7 (bionematicida bacteriano) apresentaram teores significativamente menores: 77,38; 74,99 e 77,57, respectivamente.

Esses resultados indicam que tratamentos com base em fertilizantes organominerais e resíduos vegetais foram os que proporcionaram maior acúmulo de clorofila nas folhas nesse momento do experimento, sugerindo um efeito positivo sobre o estado nutricional das plantas e, possivelmente, sobre a eficiência fotossintética. O desempenho superior dos tratamentos 3, 4, 5 e 6 pode estar relacionado à maior disponibilidade de nutrientes essenciais, especialmente

nitrogênio e magnésio, ambos fundamentais para a biossíntese de clorofila (Ferreira et al., 2012).

O Profix, por exemplo, é composto por ácidos húmicos e fúlvicos, que têm reconhecida capacidade de estimular a absorção de nutrientes e a atividade enzimática, favorecendo o metabolismo primário da planta. Da mesma forma, a associação de FOM com torta ou óleo de mamona pode ter contribuído para a liberação gradual de compostos orgânicos e minerais que agem como bioestimulantes ou condicionadores do solo, conforme descrito por Oliveira e Rosa (2018).

Apesar desses efeitos não se manterem com significância estatística nas outras avaliações, é possível que na terceira avaliação, a influência dos tratamentos sobre a fisiologia das mudas tenha sido mais pronunciada, refletindo-se diretamente nos valores de clorofila.

A ausência de diferenças significativas nos demais tempos não invalida os efeitos observados, mas sugere que a resposta dos tratamentos ao teor de clorofila pode ser pontual, possivelmente influenciada por fatores como mobilização de nutrientes, intensidade luminosa ou até interações com a microbiota presente na rizosfera.

Esses resultados reforçam que a aplicação de insumos organominerais e resíduos vegetais tem potencial para melhorar o desempenho fisiológico das mudas de café, contribuindo para a formação de plantas mais vigorosas e nutridas mesmo sob estresse causado por fitonematoides.

5.3 Biomassa

A biomassa é um parâmetro robusto para avaliação do desempenho vegetativo, por refletir a eficiência da absorção e uso de nutrientes, a sanidade da planta e a influência dos tratamentos aplicados. A mensuração do acúmulo de matéria seca e fresca na parte aérea e no sistema radicular fornece informações sobre o balanço fisiológico da planta e sua capacidade de manter crescimento mesmo sob estresse, como no caso da presença de *M. javanica*. No presente experimento, a biomassa foi avaliada por meio do peso de raiz fresca e da parte aérea fresca e seca (Figura 4).

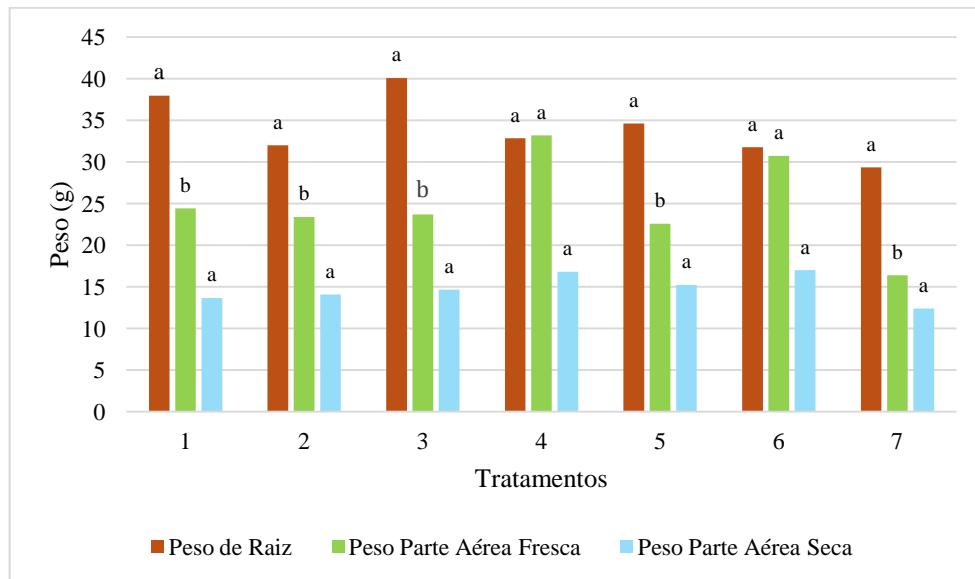


Figura 4. Peso fresco de raiz e peso fresco e seco da parte aérea de mudas de café, tratadas com fertilizantes organominerais e bionemáticas e inoculadas com *Meloidogyne javanica*.

5.3.1 Peso de raiz

Não houve diferença estatística significativa entre os tratamentos quanto ao peso de raiz, mas os dados indicam tendências de resposta. A média geral foi de 34,08 g, com o maior valor no Tratamento 3 (Profix), com 40,05 g, seguido pelo Tratamento 1 (controle inoculado) com 37,90 g. O menor valor foi observado no Tratamento 7 (bionemática bacteriano) com 29,35g (Figura 4).

O desempenho do Profix, ainda que não tenha apresentado diferença estatística significativa, pode estar relacionado à presença de ácidos húmicos e fúlvicos em sua formulação, os quais são reconhecidos por sua capacidade de promover o desenvolvimento radicular ao estimular a atividade microbiana e a absorção de nutrientes. De acordo com Oliveira e Rosa (2018), insumos orgânicos e organominerais favorecem a colonização da rizosfera por microrganismos benéficos, contribuindo para uma maior eficiência fisiológica e crescimento vegetal. Pedroso (2016) também destaca que resíduos orgânicos aplicados ao solo podem melhorar sua estrutura e aumentar a disponibilidade de compostos bioativos que influenciam positivamente a arquitetura das raízes.

Esse resultado sugere que, mesmo na presença de nematoides, a aplicação de Profix pode ter contribuído para uma maior exploração do substrato pelas raízes, potencializando o acesso à água e nutrientes. O fato de o controle inoculado ter apresentado valores similares reforça a hipótese de que, apesar da inoculação, o ambiente controlado proporcionado pela

casa de vegetação e o uso de solo esterilizado minimizaram os efeitos deletérios do patógeno no sistema radicular.

Além disso, o desenvolvimento radicular mais discreto no Tratamento 7 pode indicar que a ausência de compostos orgânicos associados ao bionemático bacteriano limitou a atuação do microrganismo no ambiente da rizosfera, dificultando seu estabelecimento e sua interação benéfica com as raízes.

5.3.2 Peso de parte aérea fresca

Houve diferença estatística significativa entre os tratamentos para o peso da parte aérea fresca, com média geral de 24,90 g. Os maiores valores foram obtidos com os tratamentos 4 (FOM isolado - 33,18 g) e 6 (FOM + torta de mamona - 30,71g), diferindo estatisticamente dos demais. O menor valor foi observado no Tratamento 7, com 16,39 g (Tabela 4).

Esses resultados estão em consonância com os achados de Oliveira e Rosa (2018), que destacam o papel dos fertilizantes organominerais na melhoria da disponibilidade de nutrientes e na indução de crescimento vegetativo, mesmo sob estresse por patógenos. O FOM, por sua composição mineral e orgânica balanceada, favorece não apenas o fornecimento de nutrientes, mas também a atividade da microbiota benéfica, promovendo maior absorção e aproveitamento fisiológico.

O desempenho do FOM com e sem torta de mamona pode ser atribuído a uma sinergia entre nutrientes prontamente disponíveis e a liberação gradual de compostos orgânicos de efeito bioestimulante. A maior massa fresca da parte aérea pode indicar plantas com maior área foliar e turgidez, características desejáveis para mudas em fase de estabelecimento. Esses efeitos são particularmente valiosos em viveiros, onde a qualidade fisiológica da muda impacta diretamente seu desempenho no campo.

Já o desempenho do Tratamento 7 reforça a hipótese de que a formulação ou concentração utilizada do bionemático bacteriano (*Priestia megaterium*) não foi suficiente para induzir resposta positiva em crescimento, especialmente em condições em que a competição por recursos no solo é baixa, como ocorre em substratos esterilizados. É possível que a ausência de um suporte orgânico tenha limitado a atividade da cepa bacteriana, comprometendo seu potencial bioestimulante.

5.3.3 Peso de parte aérea seca

Para o peso da parte aérea seca, não houve diferença estatística significativa, mas os dados sugerem tendência. A média geral foi de 14,82 g, com os maiores valores no Tratamento 6 (16,99 g) e Tratamento 4 (16,79 g). O Tratamento 7 apresentou o menor valor (12,39 g) (Figura 4).

O acúmulo de matéria seca é um dos indicadores mais robustos de desempenho fisiológico das plantas, pois representa o resultado direto da fotossíntese líquida, sem interferência da variação hídrica nos tecidos. No presente estudo, os tratamentos com FOM isolado e FOM + torta de mamona apresentaram os maiores valores de matéria seca da parte aérea, o que pode refletir um melhor estado nutricional e maior eficiência na assimilação e alocação de carbono. Segundo Rufino (2006), estratégias de adubação que integram fontes orgânicas e minerais proporcionam um suprimento mais equilibrado de nutrientes, promovendo crescimento contínuo mesmo sob estresses moderados. Ferreira et al. (2012) também relataram que fertilizantes organominerais melhoram o metabolismo primário de mudas de café, aumentando o acúmulo de biomassa em condições de cultivo protegido. Além disso, Pedroso (2016) demonstrou que resíduos vegetais como a torta de mamona podem liberar compostos bioativos que estimulam o desenvolvimento radicular e aéreo das plantas, reforçando seu potencial como insumo agrícola multifuncional.

Esses resultados sugerem que o uso de fertilizantes organominerais promove não apenas o crescimento volumétrico das plantas, mas também a formação de estruturas fisiologicamente maduras e eficientes. A matéria seca representa a base estrutural da planta (folhas, caules e tecidos de transporte) e é fortemente influenciada pela eficiência no uso de nutrientes.

A torta de mamona também pode ter atuado como biofertilizante, não apenas por seu teor de nitrogênio, mas também por compostos como ácido ricinoleico e fenóis, que apresentam potencial bioativo.

A baixa resposta do bionemático bacteriano (T7) pode ser atribuída a fatores como ausência de substrato colonizável ou baixa persistência do microrganismo no ambiente radicular. Embora a cepa *Priestia megaterium* CBMAI 2813 tenha potencial promissor (Maciel; Santos, 2018), seu uso isolado, sem fonte de carbono adicional, pode ter limitado sua eficácia na promoção de crescimento inicial. Isso reforça a importância de associar microrganismos a fontes orgânicas que favoreçam sua multiplicação e atividade na rizosfera durante o período de formação de mudas.

5.4 População de nematoides por grama de raiz

A densidade de *Meloidogyne javanica* por grama de raiz é uma métrica importante, pois relaciona o número absoluto de nematoides à biomassa radicular disponível. Essa relação fornece um parâmetro mais preciso da pressão de infestação por unidade de tecido hospedeiro, eliminando o viés causado por diferenças no desenvolvimento do sistema radicular entre os tratamentos (Figura 5).

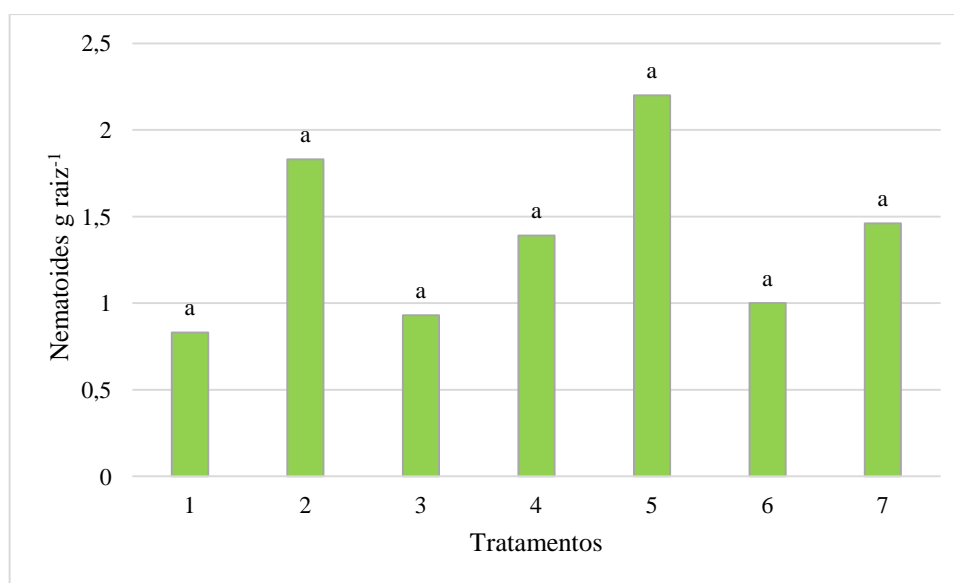


Figura 5. População de *Meloidogyne javanica* por grama de raiz em mudas de café tratadas com fertilizantes organominerais e bionemáticos.

Na presente análise, não houve diferença estatística significativa entre os tratamentos, indicando que as formulações aplicadas não foram capazes de modificar, de forma estatisticamente confiável, a densidade relativa do patógeno nas raízes.

O menor valor foi observado no Tratamento 1, controle inoculado, com 0,84 nematoides por grama de raiz, seguido de perto pelos Tratamentos 3 (Profix) e 6 (FOM + torta de mamona). Nos demais tratamentos foram observados valores superiores a um nematoide por grama de raiz. Todas as formulações apresentaram densidades inferiores ou próximas a 1 nematoide por grama, o que representa nível proporcionalmente baixo de infestação.

O resultado observado para o Profix (T3) é coerente com seu desempenho nas demais variáveis morfológicas e fisiológicas da planta. Seus constituintes, como os ácidos húmicos e fúlvicos, possuem reconhecido efeito bioestimulante e podem contribuir para o espessamento das raízes, maior absorção de nutrientes e ativação de mecanismos fisiológicos associados ao crescimento vegetal. Segundo Maciel e Santos (2018), a aplicação de compostos orgânicos associados a microrganismos benéficos favorece a estrutura da rizosfera, estimulando a

atividade radicular e promovendo maior tolerância a estresses bióticos, como os causados por fitonematoides.

O Tratamento 6, que combinou FOM com torta de mamona, também se destacou. A torta é rica em compostos orgânicos nitrogenados e possui elementos como ácido ricinoleico, que podem afetar negativamente ovos e juvenis de nematoides, mesmo que não tenham causado uma supressão estatisticamente expressiva (Oliveira; Rosa, 2018). Além disso, sua presença pode ter alterado a comunidade microbiana da rizosfera, favorecendo organismos antagonistas ou induzindo resistência na planta.

Em contrapartida, o Tratamento 5 (FOM + óleo de mamona) apresentou o maior valor médio, com 2,20 nematoides por grama de raiz, mais que o dobro do valor observado no controle. Embora o óleo de mamona tenha sido proposto na literatura como um potencial bionematicida, sua aplicação direta e sem diluição, como realizada neste estudo, pode ter resultado em fitotoxicidade leve ou em liberação descontrolada de compostos, reduzindo a eficácia ou mesmo promovendo um ambiente propício à infestação. Além disso, a presença do óleo pode ter criado uma camada de proteção no solo, limitando a difusão de oxigênio ou nutrientes, o que poderia afetar negativamente a saúde das raízes e sua capacidade de resistir à infecção.

Os tratamentos com bionematicidas, tanto fúngico (T2) quanto bacteriano (T7), apresentaram resultados intermediários, com densidades superiores a 1 nematoide/g de raiz. Isso sugere que, isoladamente, as formulações aplicadas podem não ter tido tempo ou condições adequadas para promover uma colonização eficaz da rizosfera ou antagonismo direto suficiente contra o patógeno. Segundo Oliveira e Rosa (2018), o sucesso de bionematicidas depende da persistência e atividade do agente biológico no solo, especialmente em ambientes esterilizados, onde a competição microbiana é reduzida, mas a recolonização é limitada, o que pode comprometer sua eficácia quando não há fontes complementares de carbono ou hospedeiros secundários.

Portanto, mesmo na ausência de significância estatística, os dados de nematoides por grama de raiz reforçam a necessidade de considerar não apenas os efeitos absolutos, mas também os efeitos relativos dos tratamentos sobre o patógeno, valorizando estratégias que favoreçam o crescimento da planta sem aumentar proporcionalmente a pressão de infestação.

5.5 População de nematoides no solo

O solo é o principal reservatório de inóculo de *Meloidogyne javanica*, sendo a presença do nematoide neste compartimento uma etapa crucial do seu ciclo de vida, principalmente nas fases de eclosão, migração e reinfecção radicular. Além de *M. javanica*, o solo abriga uma diversidade de nematoides de vida livre, cuja dinâmica pode refletir alterações ecológicas provocadas por insumos orgânicos, biológicos e práticas de manejo. Nesta seção, foram analisadas separadamente as populações de nematoides de vida livre e de *M. javanica* presentes no solo ao final do experimento (Figura 6).

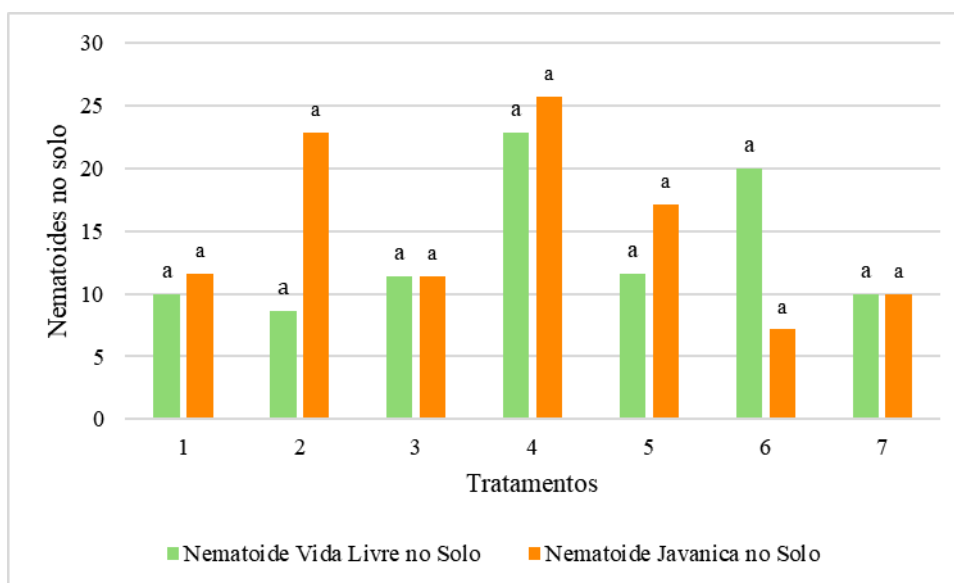


Figura 6. População de nematoides de vida livre e *Meloidogyne javanica* presentes no solo de mudas de café tratadas com fertilizantes organominerais e bionematicidas.

5.5.1 População de nematoides de vida livre no solo

A contagem de nematoides de vida livre no solo não apresentou diferença estatística significativa entre os tratamentos, indicando que nenhum dos insumos testados foi capaz de alterar de forma significativa a densidade desses organismos (Figura 6).

Embora estatisticamente equivalentes, os tratamentos 6 (FOM + torta de mamona) e 4 (FOM isolado) apresentaram os maiores valores médios, o que pode estar relacionado ao maior aporte de carbono orgânico disponível no solo. A torta de mamona é rica em compostos nitrogenados e lipídios que, ao se decomporem, estimulam a microbiota do solo e podem proporcionar condições favoráveis ao desenvolvimento de nematoides saprófitas, como destacado por Oliveira e Rosa (2018).

Além disso, fertilizantes organominerais como o FOM tendem a melhorar as propriedades físico-químicas do solo, incluindo a capacidade de retenção de umidade e a CTC (capacidade de troca catiônica), criando ambientes biologicamente mais ativos (Ferreira et al., 2012). Essa maior atividade pode favorecer a permanência de nematoides não parasitas, cuja presença, embora não patogênica, reflete alterações nas condições ecológicas do solo.

Em contrapartida, os menores valores foram observados nos tratamentos 2 (bionemática fúngica), 1 (controle inoculado) e 7 (bionemática bacteriana). A redução numérica nesses tratamentos pode estar associada à ação indireta dos agentes biológicos sobre a microbiota, seja por meio da produção de metabólitos antimicrobianos, competição por nicho ou alteração da rizosfera. Espécies fúngicas como *Pochonia chlamydosporia* e *Purpureocillium lilacinum* vêm sendo amplamente estudadas por sua eficácia na supressão de nematoides do gênero *Meloidogyne*, atuando por mecanismos diretos como parasitismo de ovos e juvenis, além da secreção de enzimas como quitinases e proteases, que desestabilizam a estrutura do ovo e comprometem o desenvolvimento do patógeno (Maciel; Santos, 2018). Esses fungos também influenciam a dinâmica do solo por meio da produção de compostos secundários com atividade antimicrobiana e da competição por recursos, podendo afetar microrganismos não alvo presentes na rizosfera.

No caso dos bionemáticos bacterianos, como aqueles à base de *Priestia megaterium*, os efeitos observados podem ser atribuídos à sua atuação como promotores de crescimento vegetal e à liberação de metabólitos bioativos, com potencial efeito supressor sobre patógenos do solo e modulador da microbiota (Maciel; Santos, 2018). Embora o presente estudo não tenha identificado diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos em alguns parâmetros fitossanitários, a literatura destaca que, em ambientes esterilizados, como o solo autoclavado aqui utilizado, a recolonização microbiana é lenta e amplamente influenciada pelos insumos aplicados, tornando relevantes as variações numéricas observadas como indicadores de tendências ecológicas e agronômicas.

5.5.2 População de *Meloidogyne javanica* no solo

A presença de *M. javanica* no solo, assim como no caso dos nematoides de vida livre, não apresentou diferença estatística significativa entre os tratamentos (Figura 6).

Apesar da ausência de significância, os dados mostram que o Tratamento 6 (FOM + torta de mamona) e o Tratamento 7 (bionemática bacteriana) apresentaram os menores

valores de *M. javanica* no solo. Esses resultados sugerem efeito supressivo potencial dessas formulações, mesmo que em nível numérico.

No caso do Tratamento 6, o uso combinado de fertilizante organomineral e torta de mamona pode ter ampliado a liberação de compostos com ação tóxica ou inibitória ao nematoide, como o ácido ricinoleico, fenóis e alcaloides presentes na torta (Oliveira; Rosa, 2018). Esses compostos podem atuar sobre ovos e juvenis livres no solo, interferindo diretamente na viabilidade dos estágios iniciais do nematoide.

O desempenho do bionemático bacteriano (T7) pode estar associado à capacidade de *Priestia megaterium* de produzir enzimas e metabólitos com ação nematicida e de competir com o patógeno por espaço e recursos na rizosfera. O sucesso de agentes biológicos no controle de nematoides está diretamente relacionado à sua capacidade de colonização da rizosfera e à persistência no solo, fatores que influenciam sua eficácia ao longo do tempo. Segundo Oliveira e Rosa (2018), a atuação eficiente de fungos e bactérias antagonistas depende da compatibilidade com o ambiente edáfico, da presença de hospedeiros secundários e da capacidade de estabelecer uma população ativa e funcional na rizosfera do cafeeiro.

Em contrapartida, os maiores valores de *M. javanica* no solo foram registrados nos Tratamentos 4 (FOM isolado) e 2 (bionemático fúngico). O FOM, apesar de benéfico ao crescimento vegetal, não possui componentes com ação direta sobre o nematoide, e pode, inclusive, promover um ambiente favorável à sobrevivência do patógeno quando aplicado de forma isolada (Ferreira et al., 2012). Já o desempenho do bionemático fúngico pode ter sido limitado por fatores como formulação, dose e tempo de aplicação, uma vez que o sucesso de fungos antagonistas como *P. chlamydosporia* e *P. lilacinum* depende de tempo para colonização e condições favoráveis à esporulação.

Esses resultados reforçam que a simples aplicação de um insumo não garante eficácia no controle de nematoides, sendo necessário considerar o tempo de ação, a compatibilidade do microrganismo com o substrato, e a integração com outras estratégias de manejo.

5.6 População de nematoides na raiz

A população de nematoides na raiz é um indicador direto da pressão biótica exercida sobre o sistema radicular e da eficácia dos tratamentos na contenção de organismos patogênicos e saprófitas. Nesta etapa, foram avaliadas separadamente a quantidade de nematoides de vida livre e a de juvenis e ovos de *M. javanica* presentes nas raízes, permitindo uma análise mais detalhada do impacto dos diferentes tratamentos (Figura 7).

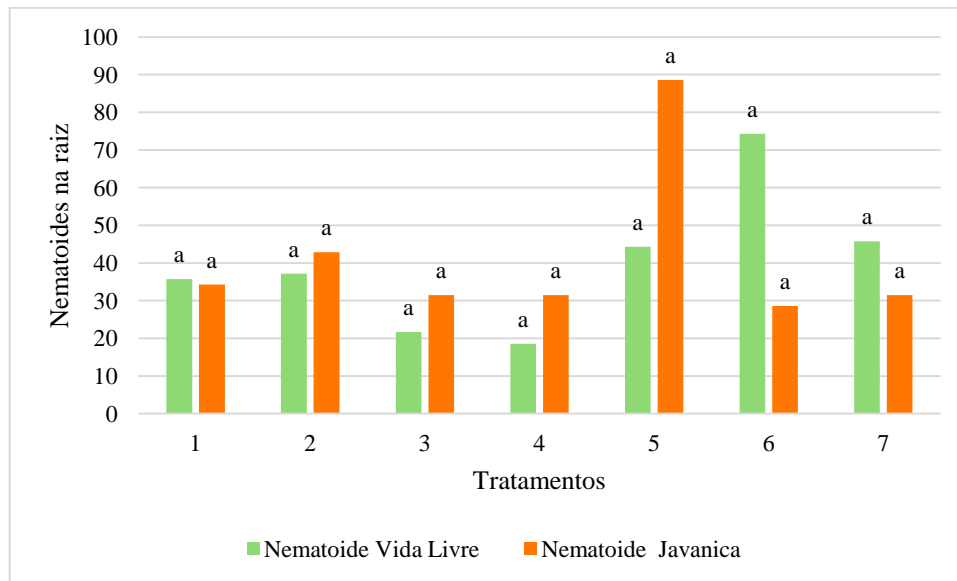


Figura 7. População de nematoides de vida livre e *Meloidogyne javanica* presentes nas raízes de mudas de café tratadas com fertilizantes organominerais e bionemáticas.

5.6.1 População de nematoides vida livre na raiz

A análise estatística revelou que não houve diferença significativa entre os tratamentos quanto à presença de nematoides de vida livre nas raízes, o que sugere que os insumos aplicados não influenciaram diretamente essa população (Figura 7).

Mesmo sem significância estatística, a variação numérica observada sugere possíveis efeitos dos tratamentos sobre a colonização radicular por nematoides saprófitas. O menor valor, observado no Tratamento 4 (FOM isolado), pode indicar que este insumo criou condições menos favoráveis à penetração ou permanência desses organismos. De acordo com Ferreira et al. (2012), fertilizantes organominerais podem melhorar a estrutura do solo e induzir modificações na microbiota da rizosfera, o que afeta direta ou indiretamente organismos do solo, incluindo nematoides não parasitas.

Já o Tratamento 6 (FOM + torta de mamona) apresentou o maior valor médio, com quase quatro vezes mais nematoides do que o Tratamento 4. Isso sugere que a adição da torta de mamona pode ter fornecido substratos orgânicos facilmente assimiláveis para microrganismos e invertebrados, incluindo nematoides saprófitas, conforme discutido por Oliveira e Rosa (2018). O aumento da atividade biológica na rizosfera pode, em alguns casos, favorecer o trânsito ou a permanência desses organismos em torno das raízes, mesmo sem implicar em parasitismo direto.

Os tratamentos com bionemáticas, tanto fúngico quanto bacteriano (T2 e T7), apresentaram valores intermediários. Isso sugere que o efeito dos agentes biológicos pode não ter se estendido de forma marcante sobre os nematoides de vida livre, o que está de acordo com observações de Pedroso (2016), que destaca que a ação de bioinsumos como *Purpureocillium lilacinum* pode ser mais pronunciada sobre ovos e juvenis de segundo estágio de *Meloidogyne*, com efeito limitado sobre outras formas ou espécies não alvo. Além disso, segundo Oliveira e Rosa (2018), a eficiência de bionemáticas está diretamente relacionada à sua capacidade de colonização da rizosfera e à compatibilidade com o ambiente edáfico, o que pode restringir sua eficácia quando aplicados isoladamente e sem fontes complementares de carbono.

5.6.2 *Meloidogyne javanica* na raiz

Assim como para os nematoides de vida livre, não houve diferença estatística significativa entre os tratamentos na população de *M. javanica* presente nas raízes (Figura 7).

A ausência de significância estatística não elimina a relevância prática desses dados. O Tratamento 3 (Profix) apresentou o menor valor de infestação, o que é consistente com seu desempenho em biomassa e clorofila.

O Tratamento 5 (FOM + óleo de mamona), por outro lado, apresentou o maior número de nematoides na raiz, quase o triplo em relação ao melhor desempenho. Esse resultado pode refletir um efeito limitado ou nulo do óleo de mamona em sua formulação utilizada, ou mesmo uma volatilização prematura de compostos bioativos, reduzindo sua ação no ambiente radicular. Embora a literatura aponte o potencial nematicida do óleo de mamona (Oliveira; Rosa, 2018), sua eficácia depende de fatores como dose, frequência e tempo de permanência no solo.

Os valores observados nos Tratamentos 6 e 4 reforçam o potencial dos fertilizantes organominerais, isolados ou combinados com torta de mamona, em reduzir numericamente a infestação de *M. javanica*. A liberação lenta de nutrientes e a melhoria da saúde do solo promovida por esses insumos pode ter reduzido a atratividade das raízes ou dificultado o desenvolvimento do nematoide, como sugerido por Ferreira et al. (2012).

O Tratamento 7 (bionemática bacteriana) também apresentou resultado promissor, com valores abaixo da média geral, o que indica que *Priestia megaterium* pode ter atuado de forma indireta sobre a biologia do nematoide, seja por colonização da rizosfera, competição ou produção de metabólitos tóxicos.

6. CONCLUSÃO

A presente pesquisa alcançou seu objetivo geral ao avaliar, de forma fundamentada, o potencial dos fertilizantes organominerais no controle de *Meloidogyne javanica* e na promoção do crescimento de mudas de *Coffea arabica*. Os objetivos específicos foram igualmente contemplados, evidenciando-se que, embora não tenham ocorrido reduções estatisticamente significativas nas populações de nematoides, os tratamentos com FOM + torta de mamona e com o bionematicida bacteriano apresentaram reduções numéricas relevantes. No que tange ao desenvolvimento das mudas, os melhores desempenhos foram observados nos tratamentos com FOM isolado, FOM + torta de mamona e Profix, indicando que esses insumos podem mitigar os efeitos do estresse biótico e promover o crescimento vegetal.

A questão de pesquisa, centrada na viabilidade do uso de FOMs como estratégia complementar no manejo integrado de nematoides, foi respondida com base em evidências empíricas. Os dados obtidos demonstram que tais insumos, especialmente quando combinados a resíduos vegetais como a torta de mamona, oferecem respostas promissoras, tanto do ponto de vista agrônomo quanto ambiental. Ainda que os efeitos nematicidas não tenham atingido significância estatística, o desempenho fisiológico superior das mudas em termos de biomassa e teor de clorofila confirma o valor desses fertilizantes na formação de plantas mais vigorosas.

As implicações teóricas do estudo incluem o fortalecimento do corpo de conhecimento sobre o uso de insumos alternativos na cafeicultura, contribuindo para o entendimento das interações entre componentes nutricionais, microbiológicos e fitossanitários do solo. Do ponto de vista prático, os resultados apontam para a viabilidade de estratégias sustentáveis de manejo, alinhadas às exigências ambientais e legais vigentes, que limitam o uso de nematicidas sintéticos.

Contudo, a pesquisa apresenta limitações quanto ao tempo de avaliação e ao ambiente controlado de casa de vegetação, que podem restringir a extrapolação dos resultados ao campo. Para estudos futuros, sugere-se a condução de experimentos em condições de campo e com ciclos de cultivo prolongados, incluindo análises econômicas e ecológicas. Também é recomendada a avaliação da interação dos FOMs com microbiota nativa e com outros agentes biológicos, visando à formulação de consórcios bioativos mais eficazes e integrados.

7. REFERÊNCIAS

- ALCEBÍADES, M. L. et al. utilização de método químico e biológico no manejo de *Meloidogyne javanica* na cultura de soja sob cultivo protegido. *Enciclopédia Biosfera*, Goiânia, v. 16, n. 30, 2019.
- ARAÚJO, F. F. DE .; BRAGANTE, R. J.; BRAGANTE, C. E.. Controle genético, químico e biológico de meloidoginose na cultura da soja. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v. 42, n. 2, p. 220–224, abr. 2012.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE CAFÉ (ABIC). *ABIC divulga dados de consumo de café no Brasil*. 2024. Disponível em: https://www.abic.com.br/wp-content/uploads/2025/05/Indicadores-da-Industria-2024_-Site.pdf. Acesso em: 29 jul. 2025.
- BANIHASHEMIAN, S. N. et al. Reaction of commercial cultivars of kiwifruit to infection by root-knot nematode and its biocontrol using endophytic bacteria. *Journal of Nematology*, Warsaw, v. 55, e2023-1, 2023.
- BELTRÃO, N. E. de M.; OLIVEIRA, M. T. B. de. *Detoxicação e aplicações da torta de mamona*. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2009. 60 p.
- BERNARDES NETO, J. F. et al. Associação de produtos químicos e biológicos no controle de nematoide-das-galhas em cultivo de batata. *Rev. Agr. Acad.*, v.2, n.6, 2019.
- BRASIL. *Lei nº 14.785, de 27 de dezembro de 2023*. Dispõe sobre a pesquisa, a experimentação, a produção, a embalagem, (...). Secretaria Especial para Assuntos Jurídicos, Brasília, 2023. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2023/lei/114785.htm. Acesso em: 29 jul. 2025.
- CARVALHO, C. H. S. et al. *Catálogo de cultivares de café arábica*. Brasília: Embrapa Café, Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, n. 16, 2022. 115 p.
- DELFIN NETTO, A. *O Problema do Café no Brasil*. Editora UNESP, 3. ed., 2009.
- DELFIN NETTO, A. O Problema do Café no Brasil. *Estud. Econ.*, São Paulo, v. 50, n. 2, p.223-225, abr./jun. 2020.
- FERNANDES, A. L. T. et al. Adubação orgânica e organomineral do cafeeiro irrigado por gotejamento. *Revista em Agronegócio e Meio Ambiente*, Maringá (PR), v. 14, supl.1, e8621, 2021.
- FERRAZ, L. C. C. B.; BROWN, D. J. F. *Nematologia de plantas: fundamentos e importância*. Manaus: Norma Editora, 2016. Disponível em: <https://nematologia.com.br/files/livros/1.pdf>.
- FERREIRA, F. C. Controle de *Meloidogyne* spp. em algodoeiro e quiabeiro com o fertilizante organomineral UFV-TM100 e o efeito da incorporação de pó de basalto ao fertilizante em tomateiro. 2014. 46 f. Dissertação (Mestrado em Fitopatologia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2014.

FERREIRA, P. A. Avaliação de um fertilizante organomineral com atividade nematicida. 2012. 213 f. Tese (Doutorado em Fitopatologia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2012. Disponível em: <https://locus.ufv.br/server/api/core/bitstreams/27a63e5d-7b68-4059-8dd9-6511adf7ded8/content>. Acesso em 20 mai. 2025.

FERREIRA, W. P. M. *Boas práticas agrícolas aplicadas à lavoura cafeeira para o estado de Minas Gerais*. Brasília, DF: Embrapa Café, 2022.

GALBIERI, R.; BELOT, J. L. *Nematoides fitoparasitas do algodoeiro nos cerrados brasileiros: biologia e medidas de controle*. Instituto Mato-grossense do Algodão – IMAmt, Cuiabá (MT), 2016.

HUSSEY, R. S.; BARKER, K. R. A comparison of methods of collecting inocula of *Meloidogyne* spp., including a new technique. *Plant Disease Reporter*, v. 57, p. 1025–1028, 1973.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Produção Agrícola Municipal 2023. *Prod. agric. munic.*, Rio de Janeiro, v. 50 p.1-11, 2023. Disponível em: https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/66/pam_2023_v50_br_informativo.pdf. Acesso em: 29 jul. 2025.

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

LORDELLO, L. G. E. Contribuição ao conhecimento dos nematoides que causam galhas em raízes de plantas em São Paulo e estados vizinhos. In: *Anais [...]*. 1964. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/aesalq/a/Zqn6NVddfYvh6FhXkkzJRSP/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 29 jul. 2025.

MACHADO, A. H. R. et al. A cultura do café (*Coffea arabica*) em sistema agroflorestal. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, Curitiba, v. 3, n. 3, p.1357-1369, jul./set. 2020.

MACIEL, B. L. S.; SANTOS, M. A. dos. Eficácia de produtos biológicos no controle de *Meloidogyne incognita* na cultura do milho. Universidade Federal de Uberlândia, 2018.

MANEA, A. et al. The effects of sterilisation on abiotic soil properties and the challenge this poses to untangling the influence of abiotic and biotic soil variables on plant growth. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, v. 24, p. 1–15, 2024.

MARTINS, A. L. *História do café*. 2. ed. São Paulo: Contexto, 2012.

MEDEIROS, R. V. V.; RODRIGUES, P. M. A. A economia cafeeira no brasil e a importância das inovações para essa cadeia. *A Economia em Revista*, v. 25, n. 1, Junho, 2017.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA (MAPA). *Sumário executivo: café*. Secretaria de Política Agrícola Departamento de Análise Econômica e Políticas Públicas Coordenação-Geral de Políticas Públicas. Julho, 2025. Disponível em: <https://www.abic.com.br/wp-content/uploads/2025/07/2025.07.SumarioCafe.pdf>. Acesso em: 29 jul. 2025.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA (MAPA). *Sumário executivo: café*. Secretaria de Política Agrícola Departamento de Análise Econômica e Políticas Públicas Coordenação-Geral de Políticas Públicas. Dezembro, 2024. Disponível em: <https://www.abic.com.br/wp-content/uploads/2025/05/2024.12.SumarioCafe.pdf>. Acesso em: 29 jul. 2025.

OLIVEIRA, C. M. G.; ROSA, J. M. *Boletim técnico nematoides parasitos do cafeeiro*. São Paulo: Instituto Biológico, 2018. Disponível em: https://biologico.agricultura.sp.gov.br/uploads/files/pdf/Boletins/cafe/nematoides_parasitos_cafeeiro.pdf. Acesso em: 29 jul. 2025.

OLIVEIRA, J. V. *Produção de fertilizantes organominerais no brasil: prospecção, mercado e cenários*. 2019. Tese (Doutorado em Engenharia de Processos Químicos e Bioquímicos) Escola de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2019.

OLIVEIRA, M. B. J. *Cultivo e comercialização dos cafés arábica e robusta no Brasil*, 2021. Artigo Científico (Curso Superior de Tecnologia em Agronegócio) - Faculdade de Tecnologia de Botucatu, 2021.

PEDROSO, L. A. *Torta de mamona é tóxica ao nematoide Meloidogyne incognita também pelos compostos orgânicos voláteis*. 2016. 41 f. Dissertação (Mestrado em Fitopatologia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2016.

PINHEIRO, J. B. *Nematoides*. Embrapa Hortaliças. 2022. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/pimenta/producao/doencas-e-pragas/doencas/nematoides>. Acesso em: 29 jul. 2025.

PINHEIRO, J. B.; PEREIRA, R. B. Nematóide-das-galhas: importante patógeno para a cultura do tomateiro. *Nosso Alho*, dez. 2013. Disponível em: <https://nematologia.com.br/files/livros/1.pdf>. Acesso em 31 jul. 2025. <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/981984/1/digitalizar0099.pdf>. Acesso em 31 jul. 2025.

RUFINO, J. L. S. *Programa nacional de pesquisa e desenvolvimento do café: antecedentes, criação e evolução*. Brasília: Embrapa Café, 2006. Disponível em: http://www.sapc.embrapa.br/arquivos/consorcio/publicacoes_tecnicas/Livro_Rufino_PNP&D_Cafe.pdf. Acesso em: 29 jul. 2025.

SIQUEIRA, T. V. A cultura do café: 1961-2005. *BNDES Setorial*, Rio de Janeiro, n. 22, p. 205-270, set. 2005.

VIEIRA, H. D. *Café rural: noções da cultura*. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2023.

ZAMBONI, A. C. *Métodos em nematologia agrícola*. Piracicaba: Sociedade Brasileira de Nematologia, 2019. Disponível em: <https://nematologia.com.br/files/livros/livro5.pdf>. Acesso em 31 jul. 2025.