# *Meloidogyne* spp. NA AGRICULTURA BRASILEIRA: BIOLOGIA, DANOS ECONÔMICOS E ESTRATÉGIAS DE MANEJO

**Davi Reali Colombo, Lucas Jordão Santana Tigre, Felipe Pereira Aguiar Cunha de Almeida, Anna Júlia de Oliveira Lucas Mendes, Micaela Bravim Barrozo, Simone de Paiva Caetano Bucker Moraes, Willian Bucker Moraes.**

Universidade Federal do Espírito Santo/Centro de Ciências Agrárias e Engenharias, Alto Universitário, s/n, Guararema, 29500-000 – Alegre – ES, Brasil, davicolombo@icloud.com, lucasjst01@gmail.com, fpalmeida1103@gmail.com, deoliveiralucasmendesannajulia@gmail.com, micaelabravim07@gmail.com, simonepaivabucker@gmail.com, willian.moraes@ufes.br.

**Resumo**

Os nematoides do gênero *Meloidogyne* estão entre os principais fitonematoides de importância econômica, causando perdas significativas em diversas culturas agrícolas. Objetivou-se com este trabalho revisar a literatura sobre os aspectos biológicos, os danos econômicos e as estratégias de manejo de *Meloidogyne* spp. na agricultura brasileira. A pesquisa consistiu em uma revisão bibliográfica baseada em artigos científicos e publicações técnicas. Os estudos demonstraram que espécies como *M. incognita*, *M. javanica*, *M. arenaria* e *M. enterolobii* apresentam ampla distribuição e elevado potencial de dano. Constatou-se que o manejo integrado, associando práticas culturais, resistência genética, controle biológico e uso criterioso de nematicidas, representa a estratégia mais eficiente para reduzir os impactos causados por esses fitonematoides e promover maior sustentabilidade aos sistemas de produção agrícola.

**Palavras-chave:** Fitonematoides. Manejo integrado. Fitopatologia. Proteção sustentável.

**Área do Conhecimento:** Ciências Agrárias – Agronomia

## Introdução

A agricultura desempenha papel essencial na segurança alimentar, no desenvolvimento econômico e na geração de matérias-primas para diversos setores produtivos. Entretanto, a produtividade das culturas é continuamente limitada pela ocorrência de doenças e pragas, dentre as quais os nematoides fitoparasitas se destacam pelos expressivos prejuízos econômicos que ocasionam em escala mundial. Estima-se que esses organismos causem perdas anuais de bilhões de dólares, afetando culturas de grande importância agrícola e comprometendo a sustentabilidade dos sistemas de produção. Entre os fitonematoides, os nematoides-das-galhas do gênero *Meloidogyne* Goeldi, 1887 destacam-se pela ampla distribuição geográfica, elevada capacidade reprodutiva, adaptação a diferentes condições ambientais e extensa gama de hospedeiros, sendo considerados um dos grupos de maior relevância para a Fitopatologia (Jones *et al*., 2013; Sikora *et al*., 2018; Vashisth *et al*., 2024).

O sucesso parasitário de *Meloidogyne* spp. está relacionado ao seu ciclo biológico e à capacidade de modificar profundamente a fisiologia da planta hospedeira. O juvenil de segundo estádio (J2), fase infectiva do ciclo, penetra as raízes e induz a formação de células gigantes, estruturas especializadas que funcionam como fonte contínua de nutrientes para o desenvolvimento do nematoide. Esse processo resulta na formação de galhas radiculares, comprometendo o funcionamento do sistema vascular, reduzindo a absorção de água e nutrientes e favorecendo o aparecimento de infecções secundárias causadas por fungos e bactérias fitopatogênicas. Estudos recentes em biologia molecular demonstram que proteínas efetoras secretadas pelo nematoide desempenham papel fundamental na manipulação das respostas de defesa da planta e no estabelecimento da relação parasitária (Moens; Perry; Starr, 2009; Jones *et al*., 2013; Kantor *et al*., 2022; Vashisth *et al*., 2024).

No Brasil, *Meloidogyne incognita*, *Meloidogyne javanica*, *Meloidogyne arenaria* e *Meloidogyne enterolobii* constituem as espécies de maior importância econômica, sendo frequentemente associadas a reduções significativas na produtividade de culturas como soja, milho, algodão, café, tomate, cana-de-açúcar, hortaliças e frutíferas.

Nos últimos anos, *M. enterolobii* passou a receber atenção especial devido à elevada agressividade, ampla gama de hospedeiros e capacidade de romper genes de resistência utilizados no manejo de outras espécies de *Meloidogyne*. Esse cenário representa um importante desafio para os programas de melhoramento genético e para o manejo fitossanitário das principais culturas agrícolas brasileiras (Schwarz *et al*., 2024; Pinto *et al*., 2024; Costa *et al*., 2025).

Embora diferentes métodos de controle estejam disponíveis, incluindo o uso de nematicidas químicos, cultivares resistentes, rotação de culturas, plantas antagonistas e agentes de controle biológico, diversos estudos demonstram que nenhuma estratégia isolada é suficiente para proporcionar controle duradouro das populações de *Meloidogyne* spp. Em consequência, pesquisas recentes têm direcionado esforços para o desenvolvimento de programas de manejo integrado que conciliem práticas culturais, resistência genética, controle biológico e monitoramento das áreas cultivadas. Além de aumentar a eficiência do controle, essa abordagem reduz a dependência de produtos químicos e contribui para sistemas agrícolas mais sustentáveis e resilientes (Habteweld *et al*., 2024; Swaruparani; Shanmugam, 2024; Vashisth *et al*., 2024).

Diante da importância econômica dos nematoides do gênero *Meloidogyne* e dos desafios relacionados ao seu manejo, este trabalho teve como objetivo realizar uma revisão da literatura acerca dos aspectos biológicos, dos danos econômicos e das principais estratégias de manejo empregadas na agricultura brasileira, enfatizando os avanços científicos recentes e as perspectivas para o desenvolvimento de sistemas de manejo mais eficientes e sustentáveis.

## Metodologia

O presente estudo caracteriza-se como uma revisão narrativa da literatura, de natureza qualitativa, desenvolvida com o objetivo de reunir e analisar informações científicas sobre os nematoides do gênero *Meloidogyne*, com ênfase nos aspectos biológicos, nos danos econômicos e nas estratégias de manejo empregadas na agricultura brasileira.

O levantamento bibliográfico foi realizado por meio de consultas às bases de dados Google Scholar, Scopus, Web of Science, ScienceDirect, SciELO e Portal de Periódicos da CAPES, além de publicações técnicas disponibilizadas pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa). Foram utilizados, de forma isolada e combinada, os descritores em português e inglês: "*Meloidogyne* spp.", "nematoides-das-galhas", "fitonematoides", "root-knot nematodes", "plant-parasitic nematodes", "manejo de nematoides", "controle biológico", "nematicidas", "resistência de plantas" e "manejo integrado".

Como critérios de inclusão, foram selecionados artigos científicos, livros, capítulos de livros e documentos técnicos publicados entre 2020 e 2026, priorizando estudos revisados por pares e diretamente relacionados ao tema. Publicações clássicas anteriores a esse período foram utilizadas apenas quando consideradas fundamentais para a compreensão da biologia, taxonomia e interação entre *Meloidogyne* e seus hospedeiros. Foram excluídos trabalhos duplicados, estudos sem respaldo científico e publicações cujo conteúdo não apresentava relação direta com os objetivos desta revisão. Após a seleção do material bibliográfico, realizou-se a leitura crítica e a análise comparativa das informações obtidas, buscando identificar os principais avanços científicos relacionados à distribuição das espécies de *Meloidogyne*, aos impactos econômicos causados nas culturas agrícolas e às estratégias de manejo atualmente empregadas, enfatizando abordagens sustentáveis e perspectivas para o manejo integrado desses fitonematoides.

## Resultados

A revisão da literatura demonstrou que os nematoides do gênero *Meloidogyne* estão entre os fitonematoides de maior importância econômica para a agricultura mundial, sendo responsáveis por perdas significativas em diversas culturas agrícolas. Atualmente, mais de 100 espécies são reconhecidas, porém *Meloidogyne incognita*, *Meloidogyne javanica*, *Meloidogyne arenaria* e *Meloidogyne enterolobii* concentram a maior parte dos estudos devido à elevada frequência de ocorrência e ao expressivo potencial de dano em sistemas agrícolas tropicais e subtropicais (Moens; Perry; Starr, 2009; Jones *et al*., 2013; Sikora *et al*., 2018; Vashisth *et al*., 2024).

No Brasil, os estudos revisados indicam ampla distribuição dessas espécies nas principais regiões produtoras, afetando culturas como soja (*Glycine* max), milho (*Zea mays*), algodão (*Gossypium hirsutum*), café (*Coffea arabica*), tomate (*Solanum lycopersicum*), cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.), hortaliças e frutíferas. Entre elas, *M. incognita* e *M. javanica* apresentam maior frequência de ocorrência, enquanto *M. enterolobii* tem despertado crescente preocupação devido à sua elevada agressividade, ampla gama de hospedeiros e capacidade de infectar materiais genéticos considerados resistentes a outras espécies do gênero (Schwarz *et al*., 2024; Pinto *et al*., 2024; Costa *et al*., 2025).

Os trabalhos analisados descrevem que o ciclo biológico de *Meloidogyne* spp. é composto pelas fases de ovo, quatro estádios juvenis e adultos, sendo o juvenil de segundo estádio (J2) a única fase infectiva. Após penetrar a raiz, o nematoide migra em direção ao cilindro vascular, onde secreta proteínas efetoras capazes de reprogramar o metabolismo celular da planta, induzindo a formação de células gigantes. Essas estruturas tornam-se centros metabólicos especializados responsáveis pelo suprimento contínuo de nutrientes necessários ao desenvolvimento e à reprodução do parasita (Moens; Perry; Starr, 2009; Jones *et al*., 2013; Kantor *et al*., 2022; Vashisth *et al*., 2024).

Os danos provocados por *Meloidogyne* spp. foram relatados de forma consistente nos estudos consultados, incluindo deformações radiculares, redução da absorção de água e nutrientes, menor desenvolvimento vegetativo, clorose foliar, murcha em períodos de déficit hídrico e redução significativa da produtividade. Além dos danos diretos, diversos autores destacam que as lesões provocadas nas raízes favorecem a infecção por fungos e bactérias fitopatogênicas, intensificando os prejuízos econômicos e reduzindo a eficiência dos sistemas produtivos (Sikora *et al*., 2018; Kantor *et al*., 2022; Habteweld *et al*., 2024).

Em relação às estratégias de manejo, verificou-se que os estudos publicados nos últimos anos têm direcionado esforços para abordagens integradas. Embora o controle químico continue sendo empregado em diversas culturas, observa-se crescimento expressivo das pesquisas envolvendo controle biológico com fungos como *Purpureocillium lilacinum* e *Pochonia chlamydosporia*, bactérias dos gêneros *Bacillus* e *Pseudomonas*, utilização de cultivares resistentes, rotação de culturas, plantas antagonistas e manejo da microbiota do solo. De forma geral, a integração dessas estratégias tem apresentado resultados mais consistentes na redução das populações de *Meloidogyne* spp. e na manutenção da produtividade das culturas quando comparada ao uso isolado de um único método de controle (Habteweld *et al*., 2024; Vashisth *et al*., 2024; Swaruparani; Shanmugam, 2024; Costa *et al*., 2025).

## Discussão

A literatura analisada demonstra consenso quanto à relevância de *Meloidogyne* spp. como um dos principais grupos de fitonematoides responsáveis por perdas econômicas na agricultura mundial. A elevada capacidade reprodutiva, a ampla gama de hospedeiros e a adaptação a diferentes condições edafoclimáticas explicam sua ampla distribuição e dificultam o estabelecimento de estratégias de controle duradouras. Segundo Jones *et al*. (2013), essas características biológicas conferem aos nematoides-das-galhas elevada capacidade de sobrevivência e dispersão, justificando sua posição entre os principais fitopatógenos de importância agrícola. Sikora *et al*. (2018) reforçam que a intensificação dos sistemas produtivos e a sucessão de culturas suscetíveis favorecem o aumento das populações desses nematoides e ampliam seus impactos econômicos.

Entre as espécies de maior importância, *Meloidogyne enterolobii* tem recebido destaque crescente devido à sua elevada agressividade e à capacidade de superar genes de resistência utilizados em programas de melhoramento genético. Esse comportamento diferencia essa espécie de outras pertencentes ao gênero *Meloidogyne*, tornando seu manejo significativamente mais complexo. Costa *et al*. (2025) destacam que a rápida disseminação de *M. enterolobii* em culturas de importância econômica representa um dos principais desafios atuais da fitonematologia, exigindo maior investimento em diagnóstico precoce, monitoramento populacional e desenvolvimento de novas fontes de resistência. Resultados semelhantes foram observados por Schwarz *et al*. (2024), que ressaltam a necessidade de ampliar a caracterização genética das populações do patógeno para subsidiar estratégias de manejo mais eficientes.

Outro aspecto amplamente discutido na literatura refere-se às limitações das estratégias convencionais de controle. Embora o uso de nematicidas continue sendo uma ferramenta importante em sistemas agrícolas intensivos, sua eficiência pode ser influenciada por fatores como textura do solo, condições climáticas, densidade populacional do nematoide e espécie presente na área cultivada. Além disso, restrições relacionadas ao impacto ambiental, ao custo de aplicação e às exigências regulatórias têm estimulado a busca por alternativas mais sustentáveis. Nesse contexto, Sikora *et al*. (2018) e Vashisth *et al*. (2024) destacam que a adoção exclusiva do controle químico dificilmente proporciona redução duradoura das populações de *Meloidogyne* spp., reforçando a necessidade da integração de diferentes métodos de manejo.

Os avanços observados nos últimos anos evidenciam o crescente potencial do controle biológico e do manejo integrado de nematoides. Estudos recentes demonstram que fungos como *Purpureocillium lilacinum* e *Pochonia chlamydosporia*, bem como bactérias pertencentes aos gêneros *Bacillus* e *Pseudomonas*, apresentam capacidade de reduzir a reprodução dos nematoides, favorecer o desenvolvimento radicular e estimular mecanismos de defesa das plantas. Paralelamente, práticas como rotação de culturas, utilização de plantas antagonistas, adubação verde e incremento da biodiversidade microbiana do solo têm mostrado resultados promissores quando utilizadas de forma integrada. Habteweld *et al*. (2024) ressaltam que a interação entre microbioma do solo, planta hospedeira e agentes de controle biológico representa uma das principais perspectivas para o manejo sustentável de fitonematoides, enquanto Swaruparani e Shanmugam (2024) destacam o potencial das abordagens biotecnológicas para o desenvolvimento de sistemas agrícolas menos dependentes de insumos químicos.

Apesar dos avanços científicos observados na última década, a literatura evidencia que ainda existem importantes lacunas de conhecimento relacionadas à dinâmica populacional de *Meloidogyne* spp. em diferentes sistemas de cultivo, à durabilidade da resistência genética e ao desempenho de agentes biológicos em condições de campo (Jones *et al*., 2013; Desaeger *et al*., 2020; Ramatsitsi; Manyevere, 2026). Além disso, os possíveis efeitos das mudanças climáticas sobre a distribuição geográfica, reprodução e ciclo biológico dos nematoides ainda necessitam de investigações mais aprofundadas, especialmente em condições agrícolas brasileiras (Moerman *et al*., 2023; Chi *et al*., 2025). Dessa forma, futuros estudos deverão priorizar abordagens multidisciplinares que integrem genética, biologia molecular, microbiologia do solo e agricultura de precisão, contribuindo para o desenvolvimento de tecnologias capazes de aumentar a eficiência do manejo e reduzir os impactos econômicos causados por esses fitopatógenos (Jones *et al*., 2013; Ramatsitsi; Manyevere, 2026).

## Conclusão

A partir da leitura e análise da literatura, evidenciou-se que os nematoides do gênero *Meloidogyne* constituem importantes fitopatógenos da agricultura brasileira, destacando-se *M. incognita*, *M. javanica*, *M. arenaria* e *M. enterolobii*, responsáveis por danos radiculares e expressivas perdas econômicas (Castagnone-Sereno, 2002; Jones *et al*., 2013). Verificou-se que o manejo integrado, associando práticas culturais, resistência genética, controle biológico, monitoramento e uso criterioso de nematicidas, apresenta maior potencial para o controle sustentável desses organismos (Desaeger *et al*., 2020). Os avanços em melhoramento genético, biotecnologia e utilização de microrganismos benéficos reforçam as perspectivas para o desenvolvimento de estratégias mais eficientes, embora ainda existam lacunas relacionadas à dinâmica populacional, resistência genética e adaptação às mudanças climáticas. Dessa forma, o aprofundamento das pesquisas e o desenvolvimento de tecnologias adaptadas às diferentes condições edafoclimáticas brasileiras são fundamentais para reduzir os impactos causados por *Meloidogyne* spp. e promover maior sustentabilidade aos sistemas agrícolas.

## Referências

CASTAGNONE-SERENO, Philippe. Genetic variability of nematodes: a threat to the durability of plant resistance genes? **Euphytica**, v. 124, n. 2, p. 193-199, 2002.

DE OLIVEIRA COSTA, Sara Nállia *et al*. Tackling the plant parasitic nematode Meloidogyne enterolobii: Challenges and strategies for control in relevant crops. **Tropical Plant Pathology**, v. 50, n. 1, p. 39, 2025.

DESAEGER, Johan; WRAM, Catherine; ZASADA, Inga. New reduced-risk agricultural nematicides-rationale and review. **Journal of nematology**, v. 52, n. 1, p. 1-16, 2020.

HABTEWELD, Alemayehu *et al*. Understanding the dynamic interactions of root-knot nematodes and their host: role of plant growth promoting bacteria and abiotic factors. **Frontiers in plant science**, v. 15, p. 1377453, 2024.
JONES, John T. *et a*l. Top 10 plant-parasitic nematodes in molecular plant pathology. **Molecular plant pathology**, v. 14, n. 9, p. 946-961, 2013.
MOENS, M.; PERRY, R. N.; STARR, J. L. *Meloidogyne* species: a diverse group of novel and important plant parasites. In: PERRY, R. N.; MOENS, M.; STARR, J. L. (ed.). *Root-knot nematodes*. Wallingford: CABI, 2009. p. 1–17.

MOERMAN, T. M. *et al*. Climate change effects on terrestrial parasitic nematodes: Where are the knowledge gaps? **Journal of Helminthology**, v. 97, p. e94, 2023.
PINTO, Thávio JB et al. Reaction of Brazilian genotypes of pulses (pea, chickpea and lentil) to the root-knot nematode Meloidogyne enterolobii. **Nematology**, v. 26, n. 3, p. 299-307, 2024.
RAMATSITSI, Ndivhuwo; MANYEVERE, Alen. Untangling the biochemical warfare of plant defence mechanisms against Meloidogyne spp.: a global systematic review with Sub-Saharan Africa insights. **Planta**, v. 264, n. 1, p. 11, 2026.
SCHWARZ, Tanner et al. Evaluation of weed species for host status to the root-knot nematodes Meloidogyne enterolobii and M. incognita race 4. **Journal of Nematology**, v. 56, n. 1, 2024.
SIKORA, Richard A. et al. (Ed.). **Plant parasitic nematodes in subtropical and tropical agriculture**. Cabi, 2018.
SWARUPARANI, Nunavath; SHANMUGAM, Haripriya. Molecular mechanisms and phytomolecules as source of resistance for sustainable management of root knot nematode infestations in horticultural crops: A review. **Physiological and molecular plant pathology**, v. 133, p. 102354, 2024.
VASHISTH, Sumit et al. Unraveling the enigma of root-knot nematodes: from origins to advanced management strategies in agriculture. **Planta**, v. 260, n. 2, p. 36, 2024.

**Agradecimentos**

Os autores agradecem ao Laboratório de Epidemiologia e Manejo de Doenças de Plantas Agrícolas e Florestais (LEMP) e ao Núcleo de Desenvolvimento Científico e Tecnológico em Manejo Fitossanitário de Pragas e Doenças (NUDEMAFI), da Universidade Federal do Espírito Santo – Campus de Alegre, pela infraestrutura para realização deste estudo, e à Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo (FAPES), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro.