

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP

CÂMPUS DE JABOTICABAL

**CONTROLE QUÍMICO-BIOLÓGICO E FATORES
CLIMÁTICOS NO MANEJO DE NEMATOIDES NO SISTEMA
SOJA-MILHO**

Danrley da Roza Pacheco

Engenheiro Agrônomo

2025

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP

CÂMPUS DE JABOTICABAL

**CONTROLE QUÍMICO-BIOLÓGICO E FATORES
CLIMÁTICOS NO MANEJO DE NEMATÓIDES NO SISTEMA
SOJA-MILHO**

Danrley da Roza Pacheco

Orientador: Prof. Dr. Pedro Luiz Martins Soares

Coorientadora: Dra. Marina Gomes da Silva

**Dissertação apresentada à Faculdade de
Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp,
Câmpus de Jaboticabal, como parte das
exigências para a obtenção do título
de Mestre em Agronomia
(Entomologia Agrícola)**

2025

P116c Pacheco, Danrley da Roza
Controle químico-biológico e fatores climáticos no manejo de nematoides no sistema soja-milho / Danrley da Roza Pacheco. -- Jaboticabal, 2025
67 p. : tabs.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal
Orientador: Pedro Luiz Martins Soares
Coorientadora: Marina Gomes da Silva

1. Manejo de nematoides. 2. Fluazaindolizine. 3. Sucessão de cultura. 4. Variações climáticas. 5. Fitonematoides. I. Título.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Jaboticabal




CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: CONTROLE QUÍMICO-BIOLÓGICO E FATORES CLIMÁTICOS NO MANEJO DE NEMATÓIDES NO SISTEMA SOJA-MILHO


AUTOR: DANRLEY DA ROZA PACHECO

ORIENTADOR: PEDRO LUIZ MARTINS SOARES


Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Agronomia (Entomologia Agrícola), pela Comissão Examinadora:

Documento assinado digitalmente
 **PEDRO LUIZ MARTINS SOARES**
Data: 07/10/2025 18:57:13-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. PEDRO LUIZ MARTINS SOARES (Participação Presencial)
Departamento de Fitossanidade / FCAV UNESP Jaboticabal

Documento assinado digitalmente
 **JERONIMO VIEIRA DE ARAÚJO FILHO**
Data: 03/10/2025 08:03:22-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

PROF. DR. JERONIMO VIEIRA DE ARAÚJO FILHO (Participação Virtual)
Departamento de Fitossanidade / Universidade Federal de Pelotas (UFPEL) - Pelotas/RS

Documento assinado digitalmente
 **DANIEL JUNIOR DE ANDRADE**
Data: 06/10/2025 06:44:25-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. DANIEL JUNIOR DE ANDRADE (Participação Presencial)
Departamento de Fitossanidade / FCAV UNESP Jaboticabal

Jaboticabal, 17 de setembro de 2025

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

Danrley da Roza Pacheco, natural de Tapes - RS, nascido em 27 de julho de 1995, completou o curso Técnico em Controle Ambiental em 2014 e formou-se em Agronomia em 2019 pela Universidade Federal de Pelotas na Escola de Agronomia Eliseu Maciel, Câmpus Capão do Leão. Durante esse período participou de projetos de iniciação científica, como bolsista voluntário, na Universidade e na Embrapa Clima Temperado, todos direcionados ao estudo do controle de fitonematoides. Em outubro de 2019, assumiu a vaga de assistente técnico de campo na empresa FMC, através da cooperativa UNICAMPO, coordenando o projeto intitulado Comando Nematóide, atuando por 10 meses nesse trabalho e em agosto de 2020 deu início as suas atividades na Corteva Agriscience através da empresa Destak RH atuando com assistente de pesquisa, no Laboratório de Nematologia. Em 2022 ingressou no Mestrado em Agronomia (Entomologia Agrícola), na Unesp/FCAV, Câmpus de Jaboticabal, para dar continuidade aos estudos direcionados aos nematoides, sobre o manejo de fitonematoides e o uso de controle de químico e biológico. Em fevereiro de 2024, ao ser efetivado, assumiu a posição de pesquisador de campo, na Corteva Agriscience atuando diretamente na área de bioestimulantes e biorreguladores de plantas.

*“Embora ninguém possa voltar atrás e fazer um novo começo,
qualquer um pode começar agora e fazer um novo fim.”*

(James R. Sherman)

Dedico aos meus pais,

Arlenes dos Passos

Pacheco e Neusa

Maria da Roza

Pacheco.

AGRADECIMENTOS

À minha família, especialmente aos meus pais Arilenes dos Passos Pacheco e Neusa Maria da Roza Pacheco, minhas irmãs Paula Drieli Pacheco e Cassiely da Roza Pacheco, e meu noivo Rafael da Gama e Silva, por me educarem, ouvirem e apoiarem incondicionalmente nesta jornada até aqui e a minha sobrinha Lívia, que é meu anjo da guarda.

Às minhas amigas e fiéis escudeiras Tamires Martins e Larissa Longaray, que me acolheram em todos os momentos difíceis e não me permitiram desistir deste projeto, e à Bianca Maróstica, que esteve comigo diariamente ao longo desses quase quatro anos de estudo e trabalho, me dando todo o suporte necessário.

Ao meu ex-chefe e agora colega de trabalho Carlos de Oliveira Guarnieri, que me incentivou e ajudou a trilhar este caminho, sendo um excelente exemplo de paciência e cordialidade nos altos e baixos desta jornada.

Ao Professor Pedro Luiz Martins Soares, que aceitou o desafio e, assim como eu, não desistiu de chegarmos até aqui, dedicando seu tempo ao meu crescimento acadêmico.

A todos do Laboratório de Nematologia da Unesp Jaboticabal, que sempre estiveram à disposição para me ajudar com o que fosse necessário durante esses anos.

Aos colegas e amigos de trabalho da Corteva, especialmente Jaqueline Campos, Eric Silveira, Thais Faleiros e Marina Silva, por me ouvirem, acompanharem e me ensinarem muito neste trabalho.

E à Corteva Agriscience do Brasil, pela oportunidade de cursar o mestrado conciliando com minha rotina de trabalho na empresa

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

SUMÁRIO

Controle químico-biológico e fatores climáticos no manejo de nematoides no sistema soja-milho.	iii
CAPÍTULO 1 – Considerações Gerais	1
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	2
3. REVISÃO DE LITERATURA	3
3.1. Fitonematoides na cultura da Soja	3
3.2. Fitonematoides na cultura do milho.....	4
3.3. Nematóide de galha (<i>Meloidogyne</i> spp.).....	5
3.4. Nematóide de cisto da soja (<i>Heterodera glycines</i>)	6
3.5. Nematóide das lesões radiculares (<i>Pratylenchus</i> spp.).....	8
3.6. Manejo de fitonematoides	9
3.7. Variações climáticas e o efeito na dinâmica populacional de nematoides e no desenvolvimento de plantas	11
4. REFERÊNCIAS	13
CAPÍTULO 2 – Avaliação da eficácia de Fluazaindolizine 500 SC e <i>Bacillus amyloliquefaciens</i> no manejo de fitonematoides e produtividade no sistema soja-milho	20
1. INTRODUÇÃO	22
2. MATERIAIS E MÉTODOS	24
2.1. Instalação do ensaio experimental	24
3. RESULTADOS	27
3.1. Emergência das plântulas na cultura da Soja e do Milho	27
3.2. População de fitonematoides no solo (100 cm ³) e nas raízes (20 g) na cultura da Soja aos 90 DAE.....	28

3.3.	Cistos viáveis de <i>Heterodera glycines</i> na cultura da Soja.....	30
3.4.	Populações totais de fitonematoides no solo e nas raízes na cultura do Milho aos 90 DAE	31
3.5.	Populações totais de fitonematoides totais nas raízes e no solo nas culturas da Soja e do Milho somadas.....	32
3.6.	Produtividade de Grãos Soja e Milho.....	34
4.	DISCUSSÃO	36
5.	CONCLUSÕES	39
6.	AGRADECIMENTO.....	39
7.	REFERÊNCIAS	40
CAPÍTULO 3 – Impacto das variações climáticas na densidade de fitonematoides e produtividade no sistema soja-milho.....		46
1.	INTRODUÇÃO	48
2.	MATERIAIS E MÉTODOS.....	50
2.1.	Análise de dados	53
3.	RESULTADOS	54
3.1.	Correlação fitonematoides e a cultura de soja	54
3.2.	Correlação de fitonematoides e a cultura de milho.....	57
3.3.	Análise de correlações de fitonematoides e fatores ambientais.....	59
3.4.	Análise de dispersão da umidade média do ar e a flutuação da população de fitonematoides nas raízes.	61
4.	DISCUSSÃO	63
5.	CONCLUSÕES.....	66
6.	AGRADECIMENTOS	66
7.	REFERÊNCIAS	67

Controle químico-biológico e fatores climáticos no manejo de nematoides no sistema soja-milho.

RESUMO – A presença de fitonematoides fitoparasitos representa um dos principais entraves à produtividade agrícola no Brasil, especialmente no sistema de cultivo soja-milho. Este estudo teve como objetivo avaliar a eficácia do nematicida Fluazaindolizine 500 SC, aplicado isoladamente e em associação com o agente biológico *Bacillus amyloliquefaciens* PTA-4838 16,5 FS, no manejo de fitonematoides e no desempenho produtivo das culturas, além de investigar o impacto das variações climáticas na dinâmica populacional desses patógenos. Os tratamentos foram comparados com Fluopiram 500 SC e com o biológico isolado. Os resultados demonstraram que o Fluazaindolizine 500 SC apresentou elevada eficácia no manejo de *Pratylenchus brachyurus*, *Meloidogyne incognita* e *M. javanica*, tanto no solo quanto nas raízes, superando os demais tratamentos. A associação Fluazaindolizine 500 SC + *B. amyloliquefaciens* PTA-4838 16,5 FS destacou-se também em produtividade, evidenciando o potencial do uso combinado de modos de ação. Além disso, observou-se que fatores climáticos, como temperatura e umidade, influenciam significativamente a correlação entre a densidade populacional de fitonematoides e os parâmetros de crescimento das plantas, reforçando a importância de estratégias de manejo integradas e adaptadas às condições ambientais.

Palavras-chave: Fluazaindolizine, fitonematoides, controle químico, controle biológico, variações climáticas, sistema soja-milho

Chemical-biological control and climatic factors in the management of nematodes in the soybean-corn system

ABSTRACT- The presence of plant-parasitic nematodes represents one of the main obstacles to agricultural productivity in Brazil, especially in the soybean-corn cropping system. This study aimed to evaluate the efficacy of the nematicide Fluazaindolizine 500 SC, applied alone and in combination with the biological agent *Bacillus amyloliquefaciens* PTA-4838 16.5 FS, in controlling nematodes and improving crop performance, as well as to investigate the impact of climatic variations on the population dynamics of these pathogens. The treatments were compared with Fluopyram 500 SC and the biological agent applied alone. The results showed that Fluazaindolizine 500 SC demonstrated high efficacy in controlling *Pratylenchus brachyurus*, *Meloidogyne incognita*, and *M. javanica*, both in the soil and in the roots, outperforming the other treatments. The combination of Fluazaindolizine 500 SC + *B. amyloliquefaciens* PTA-4838 16,5 FS also stood out in terms of productivity, highlighting the potential of combining different modes of action. Additionally, it was observed that climatic factors, such as temperature and humidity, significantly influence the correlation between nematode population density and plant growth parameters, reinforcing the importance of integrated management strategies adapted to environmental conditions.

Keywords: Fluazaindolizine, nematodes, chemical control, biological control, climate variation, soybean-corn system

CAPÍTULO 1 – Considerações Gerais

1. INTRODUÇÃO

No contexto mundial, a produção de soja (*Glycine max*) e o milho (*Zea mays*), têm apresentado um crescimento expressivo tanto no consumo destinado à alimentação animal e na produção. A soja e o milho são culturas estratégicas para a agricultura brasileira, com papel fundamental na economia nacional e no abastecimento interno e global de alimentos e insumos industriais. O Brasil se consolidou como o maior produtor e exportador mundial de soja, com uma produção estimada em 147,35 milhões de toneladas na safra 2023/2024 em 47,52 milhões de hectares, aproximadamente (EMBRAPA, 2025). Para o milho, a produção nacional foi estimada em 131,8 milhões de toneladas na safra 2023/2024, cultivadas em uma área de aproximadamente 22,3 milhões de hectares (CONAB, 2024).

Apesar do avanço tecnológico e do aumento da produtividade, os nematoides fitoparasitas continuam sendo um dos principais entraves à sustentabilidade desses sistemas produtivos. As perdas causadas por fitonematoides na agricultura vêm sendo amplamente documentadas ao longo das últimas décadas. Já em 1987, Sasser & Freckman destacavam que os nematoides parasitas de plantas eram responsáveis por uma redução média de 12% na produção agrícola mundial, com prejuízos estimados entre US\$ 78 e 125 bilhões por ano.

Posteriormente, Nicol et al. (2011) aprofundaram essa análise, apontando que os danos são ainda mais severos em regiões tropicais e subtropicais, onde as perdas podem atingir 14,6% da produção, resultando em impactos econômicos superiores a US\$ 173 bilhões anuais. Complementando esses dados, Askary & Martinelli (2015) estimaram que os fitonematoides causam perdas globais de 12,6% na produção agrícola, o que representa um prejuízo econômico de aproximadamente US\$ 215,77 bilhões por ano, considerando os principais cultivos alimentares do mundo.

Estudos realizados ao longo dos últimos anos têm demonstrado o impacto crescente dos fitonematoides na agricultura brasileira, especialmente na cultura da

soja. Na safra 2022/23, estimativas da Agrobiológica indicaram perdas de aproximadamente R\$ 35 bilhões na agricultura nacional, sendo R\$ 15 bilhões atribuídos à soja (AGROBIOLÓGICA, 2022). No mesmo ano, uma pesquisa conduzida pela Syngenta, Agroconsult e pela Sociedade Brasileira de Nematologia apontou que os nematoides causaram R\$ 27,7 bilhões em prejuízos na soja, com projeções de perdas acumuladas que podem ultrapassar R\$ 870 bilhões em uma década, caso não haja avanços significativos no manejo (SYNGENTA; AGROCONSULT; SBN, 2022).

Entre as principais espécies de fitonematoides que são mais frequentes e que mais impactam o sistema soja-milho estão, *Heterodera glycines Ichinohe, 1952*; *Meloidogyne incognita* (Kofoid & White, 1919) Chitwood, 1949; *Meloidogyne javanica* (Treub, 1885) Chitwood, 1949; e *Pratylenchus brachyurus* (Godfrey, 1929) Filipjev & Schuurmans-Stekhoven, 1941. Esses organismos atacam o sistema radicular das plantas, comprometendo a absorção de água e nutrientes, além de favorecerem a entrada de patógenos secundários. O manejo desses patógenos é desafiador, especialmente em sistemas de sucessão de culturas, onde o milho pode atuar como ponte verde, por ser hospedeiro das referidas espécies, exceto de *H. glycines*. (EMBRAPA, 2021)

Nos últimos anos, o uso de nematicidas químicos e biológicos tem sido amplamente estudado. No entanto, ainda há lacunas importantes quanto à eficácia do uso combinado desses produtos, especialmente sob diferentes condições climáticas. A variabilidade ambiental pode influenciar diretamente a dinâmica populacional dos fitonematoides e a resposta das plantas aos tratamentos, o que torna essencial a avaliação integrada desses fatores.

2. OBJETIVOS

Avaliar a eficácia do nematicida Fluazaindolizine 500 SC, novo nematicida químico em desenvolvimento pela Corteva Agriscience no Brasil, aplicado isoladamente e em associação com o agente de controle biológico *Bacillus amyloliquefaciens* PTA-4838, no manejo de fitonematoides e no desempenho produtivo das culturas do sistema soja-milho. Além disso, buscou-se comparar esses

tratamentos com o nematicida Fluopiram, um padrão químico de mercado, e analisar a correlação entre as variações climáticas e a população dos fitonematoides, bem como os efeitos sobre vigor de planta, diâmetro do caule e do colmo, bem como a produtividade das culturas de soja e milho, em duas safras consecutivas, nas safras 2022/23 e 2023/24

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. Fitonematoides na cultura da Soja

Os fitonematoides representam uma das principais ameaças à produtividade da soja no Brasil e no mundo. Esses organismos microscópicos, essencialmente aquáticos, parasitam as raízes das plantas, comprometendo a absorção de água e nutrientes, além de favorecerem a entrada de patógenos secundários (Rossi, 2001). Estima-se que mais de 100 espécies de fitonematoides, distribuídas em aproximadamente 50 gêneros, estejam associadas ao cultivo da soja globalmente (Ferraz, 2001).

No Brasil, as principais espécies de fitonematoides para a cultura de soja são, *H. glycines*, *M. javanica*, *M. incognita* e *P. brachyurus*, por serem as mais frequentes e que mais impactam a produtividade. Durante a safra de 1991/92, o nematoide de cisto da soja foi responsável por prejuízos superiores a 100 milhões de dólares no país (Ferraz, 2001). Estudos indicam que os nematoides estão entre os principais agentes causadores de perdas na cultura da soja em nível mundial, com impactos significativos na produtividade (Wrather et al., 2010). A primeira detecção de *H. glycines* no Brasil ocorreu na safra de 1991/1992, nos estados de Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e Minas Gerais, com rápida disseminação nacional. Até o momento, já foram identificadas onze raças distintas desse patógeno (Ribeiro, Favoreto & Miranda, 2011).

Os fitonematoides de galha, *M. javanica* e *M. incognita* e, são amplamente distribuídas no território nacional e estão entre os patógenos mais relevantes para a

sojicultura (Dias et al., 2010). Já *P. brachyurus*, pertencente ao grupo dos fitonematoides das lesões, apresenta ampla gama de hospedeiros e é particularmente desafiador em regiões do Brasil Central, com registros de perdas de produtividade de até 21% (Antonio et al., 2012).

A disseminação e agressividade desses fitonematoides exigem estratégias de manejo integradas e contínuas para mitigar seus impactos e garantir a sustentabilidade da produção. A observação de sintomas como clorose, murcha e redução do crescimento radicular deve ser acompanhada de diagnóstico preciso, considerando a morfologia e a distribuição das espécies envolvidas (Oliveira et al., 2018).

3.2. Fitonematoides na cultura do milho

A cultura do milho possui grande relevância para a agricultura brasileira, não apenas como alimento humano e animal, mas também como matéria-prima para biocombustíveis e insumos industriais. No entanto, fatores como ocorrência de doenças, plantas daninhas, insetos pragas e nematoides, juntos ou individualmente, afetando significativamente o potencial produtivo da planta (Neves, 2013)

Estudos indicam que cerca de 40 espécies de fitonematoides, pertencentes a aproximadamente 12 gêneros, estão associadas ao cultivo do milho em diferentes regiões do mundo (Pinto, 2005). As espécies mais comuns em áreas de milho incluem *P. zae*, *P. brachyurus*, *Helicotylenchus dihystera* e *Meloidogyne incognita* (Embrapa, 2021). No Brasil, um levantamento realizado em 2022 pela Syngenta, Agroconsult e a Sociedade Brasileira de Nematologia revelou a presença de fitonematoides em aproximadamente 91% das mais de 22 mil amostras analisadas, sendo que, na cultura do milho, foram detectados em 1000 das 1370 amostras avaliadas. Estimando-se uma projeção de perda de 0,9 safras nos próximos 10 anos, com prejuízo estimado em R\$ 110,3 bilhões, evidencia a urgência de estratégias eficazes de manejo. (Syngenta, 2022).

Desde a década de 1960, há relatos de reboleiras em lavouras de milho, com sintomas como clorose foliar, enfezamento e podridão radicular. Embora *M. javanica* seja frequentemente detectada em raízes de milho, especialmente em sucessão com soja, os danos mais expressivos têm sido atribuídos a *M. incognita* (Oliveira & Inomoto, 2023).

O milho é considerado relativamente tolerante à presença de fitonematoides, podendo manter produtividade aceitável mesmo sob altas densidades populacionais, no entanto, essa tolerância possui limites e em áreas com infestações severas, observam-se danos radiculares significativos e reduções expressivas na produtividade (Inomoto, 2014).

Estudos, como o de Lordello et al. (1983), demonstraram aumentos de até 151% na produtividade do milho com o uso de nematicidas em áreas infestadas por populações mistas de espécies de *Pratylenchus*. Esses dados reforçam a importância do diagnóstico preciso e do manejo integrado para mitigar os impactos dos fitonematoides na cultura do milho.

3.3. Nematóide de galha (*Meloidogyne* spp.)

Os nematoides de galha, pertencentes ao gênero *Meloidogyne*, figuram entre os fitonematoides mais relevantes para a cultura da soja. Mundialmente, são reconhecidas mais de 80 espécies desse gênero, *Meloidogyne javanica* (Treub, 1885) Chitwood, 1949 e *Meloidogyne incognita* (Kofoid & White, 1919) Chitwood, 1949 as mais frequentes e economicamente importantes no Brasil. A primeira apresenta ampla distribuição nas áreas de cultivo de soja e está associada aos danos mais severos à cultura, enquanto a segunda é frequentemente encontrada em áreas com histórico de cultivo de café e algodão (Araujo et al., 2012).

Esses fitonematoides são classificados como endoparasitas sedentários. O ciclo de vida inicia-se com a deposição dos ovos na rizosfera, geralmente em massas gelatinosas aderidas à raiz hospedeira. Após a eclosão, os juvenis de segundo estágio (J2), que constituem a forma infectante, migram ativamente no solo em busca de

raízes. Ao penetrarem o tecido radicular, estabelecem um sítio de alimentação próximo ao xilema ou em seu interior, onde induzem a formação de células gigantes — estruturas hipertrofiadas e multinucleadas que servem como fonte contínua de nutrientes para o parasita. (Oliveira, 2018)

Durante o desenvolvimento, os juvenis passam por duas mudas adicionais, transformando-se em J3 e J4, estádios nos quais adquirem formato salsichoide, característico da espécie. A última muda dá origem à fêmea adulta, sedentária e de formato globoso. A presença de machos é rara e, quando ocorrem, são móveis, não se alimentam e ajudam na reprodução da espécie. Assim, a população é composta quase exclusivamente por fêmeas, que permanecem fixas nos sítios de alimentação (Moens, Perry & Starr, 2009).

Os danos causados pelas espécies de *Meloidogyne* são expressivos. A formação de galhas nas raízes interfere diretamente na fisiologia da planta, prejudicando a absorção de água e nutrientes, além de comprometer o fluxo de seiva e o balanço hormonal. Como consequência, observa-se redução do crescimento, clorose, murcha e, em casos severos, morte da planta. O grau de severidade dos sintomas varia conforme a densidade populacional do nematoide e a suscetibilidade da cultivar utilizada (Siddiqui et al., 2014; Asmus, 2001).

O diagnóstico visual das galhas é relativamente simples, especialmente em cultivares suscetíveis. No entanto, a identificação precisa da espécie requer análises morfológicas, morfométricas ou bioquímicas, como o exame do padrão perineal das fêmeas, morfologia da região labial dos machos ou análise isoenzimática (Carneiro & Almeida, 2018). Essas ferramentas são fundamentais para a definição de estratégias de manejo específicas e eficazes.

3.4. Nematoide de cisto da soja (*Heterodera glycines*)

O nematoide de cisto da soja *Heterodera glycines* é um dos principais fitonematoides que afetam a cultura da soja em diversas regiões produtoras do mundo. Seu primeiro relato ocorreu no Japão, em 1915, associado ao “nanismo amarelo da

soja” (Dhingra et al., 2009). No Brasil, a espécie foi detectada pela primeira vez em 1992, nos estados de Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e Minas Gerais, indicando que o nematoide já estava amplamente estabelecido na região central do Brasil à época (Mendes & Dickson, 1993).

Trata-se de um nematoide semi-endoparasito sedentário, cujo ciclo de vida é semelhante as espécies de *Meloidogyne*, completando-se em aproximadamente três semanas. A reprodução ocorre por anfimixia, o que confere alta variabilidade genética às populações. As fêmeas, após a fecundação, transformam-se em cistos, estruturas de resistência que protegem os ovos e permitem sua sobrevivência no solo por longos períodos, mesmo na ausência de hospedeiros (Agrios, 2005)

Os sintomas típicos da infestação incluem clorose, atrofiamento, redução do número de vagens e formação de reboleiras na lavoura. Em áreas com alta densidade populacional, pode ocorrer morte prematura das plantas. A observação de fêmeas e cistos nas raízes pode ser feita com auxílio de lupa: as fêmeas apresentam formato de limão e coloração branco-leitosa, enquanto os cistos são marrons escuros (Ribeiro, Favoreto & Miranda, 2011).

A variabilidade genética de *H. glycines* tem sido amplamente documentada e representa um desafio significativo para o manejo da cultura da soja. (Niblack et al., 2002) Estudos demonstram que as populações desse nematoide no Brasil são frequentemente compostas por múltiplos genótipos, o que dificulta sua classificação em raças puras. Essa diversidade genética pode comprometer a eficácia de cultivares resistentes, especialmente quando baseadas em um único gene de resistência, e exige estratégias de manejo mais abrangentes e adaptativas. A utilização do termo “raça” para descrever essas populações é, portanto, muitas vezes inadequada, pois não reflete a complexidade genética observada em campo (Dias et al., 1999; Silva et al., 2000; Matsuo et al., 2011).

O monitoramento contínuo da distribuição e da variabilidade genética dessas populações é essencial para subsidiar programas de melhoramento genético e estratégias de manejo baseadas em resistência (Dias et al., 2009).

3.5. Nematóide das lesões radiculares (*Pratylenchus* spp.)

O gênero *Pratylenchus*, especialmente a espécie *P. brachyurus* (Godfrey) Filipjev & Stekhoven, destaca-se entre os fitonematóides de maior importância econômica na agricultura tropical. Essa relevância está associada à sua ampla distribuição geográfica, elevada capacidade de parasitismo em diversas culturas e notável agressividade patogênica (Ferraz, 2006). No Brasil, *P. brachyurus* é frequentemente encontrado em áreas de cultivo de soja, milho, algodão e outras culturas de importância econômica, sendo particularmente problemático em solos de textura média a arenosa, comuns na região Centro-Oeste (Goulart, 2008).

Estima-se que as perdas de produtividade associadas à infestação por *P. brachyurus* possam variar entre 30% e 50%, dependendo da densidade populacional e das condições edafoclimáticas (Dias et al., 2010). Apesar da ampla ocorrência, os danos causados por esse nematóide na cultura da soja ainda são subestimados, em parte pela dificuldade de diagnóstico e pela ausência de sintomas específicos (Ribeiro, 2009; Silva et al., 2003).

Biologicamente, trata-se de um endoparasita migrador que penetra e se desloca pelos tecidos radiculares, causando lesões mecânicas que servem como porta de entrada para patógenos secundários. Essas lesões resultam em necroses, podridões e comprometimento do sistema radicular, afetando diretamente a absorção de água e nutrientes (Ferraz, 2010). O ciclo de vida ocorre predominantemente no interior das raízes, com ovos depositados no parênquima cortical. A partir do segundo estágio juvenil (J2), todos os estágios são infectivos (Castillo e Volvlas, 2007)

A disseminação de *P. brachyurus* ocorre principalmente por meio de práticas agrícolas, como o trânsito de máquinas, implementos, água de irrigação e uso de sementes ou mudas contaminadas. Seu desenvolvimento é favorecido por temperaturas em torno de 30 °C e umidade do solo entre 70% e 80% da capacidade de campo (Castillo et al., 2012). A expansão da soja para áreas de solos arenosos, aliada ao uso de cultivares suscetíveis e à presença de culturas hospedeiras na

entressafra, como milho e algodão, tem contribuído para o aumento das populações desse nematoide e, conseqüentemente, para as perdas econômicas (Goulart, 2008).

3.6 Manejo de fitonematoides

O manejo de nematoides fitoparasitos em áreas agrícolas com histórico de média a alta infestação exige estratégias integradas e eficazes para reduzir os níveis populacionais e mitigar os danos às culturas. Os principais métodos de controle incluem: quarentena, revolvimento do solo, rotação ou sucessão de culturas com espécies resistentes ou não hospedeiras, uso de cultivares resistentes, além do controle químico e biológico (Guarnieri, 2018).

O controle químico, tradicionalmente realizado via aplicação no sulco de plantio, conta com uma lista de ingredientes ativos no mercado. Esses produtos têm demonstrado eficácia na redução de populações de espécies de *Meloidogyne* (Ribeiro et al., 2014). Recentemente, novas moléculas como fluensulfona e fluopiram foram introduzidas, ampliando o leque de opções disponíveis (Oka et al., 2011).

Fluazaindolizine é um nematicida pertencente à classe das imidazopiridinas, desenvolvido com foco em alta seletividade e baixa toxicidade para organismos não alvo. Seu modo de ação ainda não foi completamente elucidado, mas estudos indicam que se trata de um mecanismo novo e distinto dos nematicidas convencionais, não envolvendo os alvos moleculares clássicos como canais de acetilcolina ou GABA (Lahm et al., 2017). Evidências sugerem que sua ação está relacionada à disfunção muscular, levando à paralisia e morte dos juvenis de segundo estágio (J2), com efeitos observáveis mesmo em concentrações subletais, o que compromete a mobilidade e a capacidade de parasitismo dos nematoides (Wu et al., 2020; Lahm et al., 2017).

Do ponto de vista ambiental, o fluazaindolizine apresenta propriedades físico-químicas equilibradas, com mobilidade moderada no solo (coeficiente de adsorção K_{foc} médio de 128), o que favorece sua permanência na rizosfera sem risco elevado de lixiviação (Chen et al., 2018). Sua meia-vida varia entre 4,6 e 32,4 dias, dependendo das condições edafoclimáticas, sendo considerada uma molécula de

degradação intermediária (Chen et al., 2018). Além disso, é compatível com estratégias de manejo integrado de nematoides (MIPN), podendo ser utilizada em conjunto com agentes biológicos como *Pasteuria penetrans*, sem comprometer sua eficácia (Thoden & Wiles, 2019), o que reforça seu potencial como ferramenta sustentável no controle de nematoides em sistemas agrícolas modernos.

Paralelamente, os bionematicidas têm ganhado destaque por sua segurança ambiental e potencial de uso em sistemas sustentáveis. Compostos principalmente por fungos e bactérias, como *Bacillus* spp. e *Trichoderma* spp., esses produtos atuam por diferentes mecanismos: parasitismo de ovos e fêmeas, produção de antibióticos e toxinas, degradação de exsudados radiculares e indução de resistência sistêmica nas plantas (Ferraz & Brown, 2016; Collange et al., 2011). O gênero *Bacillus*, em especial, tem sido amplamente estudado por sua ação nematicida e capacidade de promover o crescimento vegetal (Ichiwaki, 2012).

Estudos recentes demonstram que o uso de *Bacillus amyloliquefaciens* associado a *Trichoderma harzianum* pode reduzir significativamente as populações de *P. brachyurus* em raízes de soja (Máscia, 2017). Além disso, misturas de rizobactérias aplicadas no sulco de semeadura, como *Pseudomonas fluorescens*, *B. subtilis* e *B. amyloliquefaciens*, têm promovido aumentos expressivos na produtividade da soja (Boleta, 2023). Em condições de campo, *B. amyloliquefaciens* também demonstrou reduzir a densidade de fitonematoides por grama de raízes, com reflexo positivo na produtividade (Moreira, 2023).

O crescimento do mercado de nematicidas, tanto químicos quanto biológicos, reflete o aumento da demanda por soluções eficazes e sustentáveis. Esse avanço é impulsionado por investimentos em pesquisa e desenvolvimento, bem como pela liberação de novos registros por órgãos reguladores (Agropage, 2022).

O nematicida ideal deve reunir características como: alta eficácia contra fitonematoides parasitas, seletividade para organismos benéficos, boa mobilidade na zona radicular, baixo potencial de lixiviação e residual adequado para proteção das raízes, sem deixar resíduos na parte aérea da planta (Lahm et al., 2017).

Dessa forma, o manejo de fitonematoides deve ser planejado com base em diagnóstico preciso, histórico da área e integração de diferentes métodos, visando à sustentabilidade e à manutenção da produtividade agrícola.

3.7 Variações climáticas e o efeito na dinâmica populacional de nematoides e no desenvolvimento de plantas

A biodiversidade do solo e suas funções ecossistêmicas estão sob ameaça crescente devido às mudanças climáticas (Bardgett & Van Der Putten, 2014; Orgiazzi et al., 2016). Dentre os diversos fatores climáticos, a alteração nos padrões de precipitação é apontada como um dos principais responsáveis por mudanças na composição e funcionamento das comunidades de fauna edáfica, incluindo os fitonematoides (Blankinship et al., 2011; Franco et al., 2019).

Nematoides de vida livre, diferentemente dos fitoparasitos que completam parte ou todo seu ciclo de vida nos tecidos vegetais, possuem menor proteção contra variações ambientais (Eisenback, 1993). Estudos demonstram que a composição das comunidades de nematoides está fortemente correlacionada à precipitação média anual (Nielsen et al., 2014), refletindo a influência do clima sobre as propriedades do solo e da vegetação (Chen et al., 2015).

A riqueza de espécies da biota do solo tende a ser maior em ambientes úmidos, devido à maior heterogeneidade espacial promovida pela umidade (Curd et al., 2018; Ettema & Wardle, 2002; Nielsen et al., 2010). Além disso, os nematoides respondem rapidamente às mudanças na disponibilidade de água, com alterações detectáveis em questão de horas (Vandegheuchte et al., 2015). Eventos extremos, como secas e chuvas intensas, podem modificar drasticamente a estrutura trófica e a composição das comunidades de nematoides (Franco et al., 2019).

Estudos mostram que o estresse térmico afeta negativamente a germinação, o crescimento celular, a fotossíntese, a fertilidade e a produtividade das plantas, tornando-as mais vulneráveis a patógenos, incluindo nematoides (Haider et al., 2021). O aumento da temperatura do solo, especialmente em ondas de calor prolongadas,

pode intensificar o estresse nas plantas e agravar os danos causados pelos fitonematoides. Plantas sob estresse térmico tornam-se mais suscetíveis à infecção, o que pode comprometer sua fisiologia e resultar em perdas ainda maiores. A resistência genética mediada por genes como o *Mi*, por exemplo, pode ser inativada em temperaturas superiores a 28 °C, tornando as plantas vulneráveis a espécies como *M. incognita* (Williamson & Kumar, 2006).

Do ponto de vista evolutivo, os nematoides demonstram alta capacidade adaptativa, tendo evoluído de formas marinhas de vida livre para endoparasitos altamente especializados (Blaxter et al., 1998). Essa plasticidade sugere que, diante das mudanças climáticas, esses organismos continuarão a se adaptar e a explorar novas condições ambientais, o que pode resultar em maiores perdas agrícolas no futuro (Dutta e Phani, 2023)

Apesar de seu impacto negativo em sistemas agrícolas, os nematoides também desempenham papéis ecológicos importantes. Eles influenciam a composição das comunidades vegetais e o desempenho das plantas por meio de mecanismos de retroalimentação planta-solo. Ao se alimentarem das raízes, alteram os padrões de exsudação e, indiretamente, modificam o rizobioma, afetando a disponibilidade de nutrientes como nitrogênio e fósforo (Passos et al., 2017; Hu et al., 2018).

Diante desse cenário, o monitoramento das condições agroclimáticas torna-se essencial para a previsão de surtos e para o manejo eficiente dos fitonematoides, contribuindo para a sustentabilidade da produção agrícola. A urgência é ainda maior considerando que, segundo as Nações Unidas, a população mundial deve atingir 9,7 bilhões de pessoas até 2050 (UN, 2022).

4. REFERÊNCIAS

Agrios, G. N. (2005). Diseases caused by nematodes. In Plant pathology (5th ed., pp. 398–401). Amsterdam: Elsevier Academic Press. ISBN: 978-0-12-044565-3.

Agrobiológica. Fitonematoides: os vilões invisíveis das raízes das plantas. 2022. Disponível em: <https://agrobiologica.com.br/fitonematoides-os-viloes-invisiveis-das-raizes-das-plantas/>. Acesso em: 1 out. 2025.

Agropage. (2022). Relatório técnico de monitoramento de nematoides. São Paulo: Agropage Proteção de Cultivos.

Antonio, S. F. et al. (2012). Perdas de produtividade da soja em área infestada por nematoides das lesões radiculares em Vera, MT. **VII Jornada Acadêmica da Embrapa Soja**, Londrina, n. 333, p. 166–170.

Araujo, F. F., Silva, J. F. V., & Carneiro, G. E. S. (2012). Efeito de diferentes doses de torta de mamona no controle de nematoides em soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 47(3), 345–351.

Askary, T. H., & Martinelli, P. R. P. (2015). **Nematodes as biocontrol agents**. Springer.

Asmus, G. L., Teles, T. S., Anselmo, J., Rosso, G. T. (2012). Raças de *Heterodera glycines* na região Nordeste de Mato Grosso do Sul. **Tropical Plant Pathology**, 37(2), 123–130. <https://doi.org/10.1590/S1982-56762012000200008>

Bardgett, R. D., & Van Der Putten, W. H. (2014). Belowground biodiversity and ecosystem functioning. **Nature**, 515(7528), 505–511.

Blankinship, J. C., Niklaus, P. A., & Hungate, B. A. (2011). A meta-analysis of responses of soil biota to global change. **Oecologia**, 165(3), 553–565.

Blaxter, M. L., et al. (1998). A molecular evolutionary framework for the phylum Nematoda. **Nature**, 392(6671), 71–75.

Boleta, G. H. M. (2023). **Coinoculações de bactérias promotoras do crescimento de plantas para incrementar a nutrição e a produtividade da cultura da soja no Cerrado**. Trabalho de Graduação, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Ilha Solteira.

Castillo, P., & Vovlas, N. (2007). ***Pratylenchus* (Nematoda: *Pratylenchidae*): Diagnosis, biology, pathogenicity and management**. Leiden: Brill. ISBN: 978-90-04-15564-0.

Castillo, P. & Vovlas, N. (2012). ***Pratylenchus* (Nematoda: *Pratylenchidae*): Diagnosis, Biology, Pathogenicity and Management**. Nematology monographs and perspectives. 6. ed. Leiden: BRILL. 529 p.

Chen, S., Liu, X, & Xu, Y. (2018). Biological control of plant-parasitic nematodes by fungi: a review. In: Mukerji, K. G., & Manoharachary, C. (Eds.), **Techniques for the study of mycorrhiza**, p. 1–20. Springer.

Chen, D., et al. (2015). Climate change and soil biodiversity: A review. **Science of the Total Environment**, 529, 10–20.

Chitwood, B. G. (1949). Root-knot nematodes—Part I. A revision of the genus *Meloidogyne* Goeldi, 1887. **Proceedings of the Helminthological Society of Washington**, 16, 90–104.

Collange, B., Navarrete, M., & Mateille, T. (2011). Impact of soil management practices on soil nematode communities in organic farming systems. **Soil Biology and Biochemistry**, 43, 197–205.

CONAB. (2024). **Acompanhamento da safra brasileira: grãos**. Companhia Nacional de Abastecimento. Disponível em: <https://www.conab.gov.br>

Cordeiro, M. C. R., Goulart, A. M. C., Costa, A. M., & Sharma, R. D. (2008). **Identificação molecular de nematoides de galhas, *Meloidogyne spp.*** (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, n. 219). Embrapa Cerrados. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/571887/1/bolpd219.pdf>

Curd, E. E., et al. (2018). Bacterial diversity is positively correlated with soil heterogeneity. **Ecology Letters**, 21(9), 1296–1305.

Dhingra, O. D., & Sinclair, J. B. (2009). **Basic plant pathology methods**. CRC Press.

Dias, W. P. et al. (1999, 2009, 2010). **Nematóides em soja: identificação e controle**. Londrina: Embrapa Soja.

Dutta, T. K., & Phani, V. (2023). The pervasive impact of global climate change on plant-nematode interaction continuum. **Frontiers in Plant Science**, 14, 1143889. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023>.

Eisenback, J. D. (1993). Interactions of plant-parasitic nematodes with environmental stress in plants. **Journal of Nematology**, 25(2), 178–189.

Embrapa. (2021). **Doenças causadas por nematoides**. Embrapa Milho e Sorgo. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/milho/producao/pragas-e-doencas/pragas/manejo-integrado-de-pragas>. Acesso em: 25 set. 2025.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (Embrapa). **Dados econômicos da soja**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/soja/cultivos/soja1/dados-economicos> Acesso em: 6 jul. 2025.

Ettema, C. H., & Wardle, D. A. (2002). Spatial soil ecology. **Trends in Ecology & Evolution**, 17(4), 177–183.

Ferraz, L. C. C. B. (2001, 2006, 2010). Controle de nematoides em soja. In: Silva, J. F. V. et al. (Orgs.), **Relações parasito-hospedeiro nas meloidoginoses da soja**, p. 15–38. Embrapa.

Ferraz, L. C. C. B., & Brown, D. J. F. (2016). **Nematologia de plantas: fundamentos e importância**. Campos dos Goytacazes: SBN. 250 p.

Franco, A. L. C., et al. (2019). Extreme drought and rainfall alter soil nematode communities in a tropical forest. **Soil Biology and Biochemistry**, 132, 28–35.

Goulart, A. M. C. (2008). **Aspectos gerais sobre nematoides-das-lesões-radiculares (gênero *Pratylenchus*)**. Planaltina: Embrapa Cerrados.

Guarnieri, M. (2018). Controle de nematoides em soja. In: Silva, J. F. V. et al. (Orgs.), **Relações parasito-hospedeiro nas meloidoginoses da soja**, p. 15–38. Embrapa.

Haider, S., et al. (2021). Molecular mechanisms of plant tolerance to heat stress: current landscape and future perspectives. **Plant Cell Reports**, 40, 2247–2271.

- Hu, H., et al. (2018). RNA-Seq identification of candidate defense genes targeted by endophytic *Bacillus cereus*-mediated induced systemic resistance against *Meloidogyne incognita* in tomato. **Pest Management Science**, 74(12), 2793–2805.
- Ichiwaki, S. (2012). Controle de nematoides em soja. In: Silva, J. F. V. et al. (Orgs.), **Relações parasito-hospedeiro nas meloidoginoses da soja**, p. 15–38. Embrapa.
- Ichinohe, M. (1952). On a new species of the genus *Heterodera* parasitic on soybean. **Japanese Journal of Nematology**, 2, 17–20.
- Inomoto, M. M. (2014). Avaliação da resistência de 12 híbridos de milho a *Pratylenchus brachyurus*. **Tropical Plant Pathology**, 36, 308–312.
- Kofoed, C. A., & White, A. (1919). A new nematode infection of man. **Journal of the American Medical Association**, 72(10), 567–569.
- Lahm, G. P. et al. (2017). The discovery of Fluazaindolizine: A new product for the control of plant parasitic nematodes. **Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters**, 27, 1572–1575. <https://doi.org/10.1016/j.bmcl.2017.02.029>
- Lordello, R. R. A. et al. (1983). Controle de *Pratylenchus* spp. em milho com nematicidas sistêmicos e com torta de mamona. **Nematologia Brasileira**, 7, 241–250.
- Matsuo, É., Sedyama, T., Cruz, C. D., Oliveira, R. D. L., Oliveira, R. C. T., & Nogueira, A. P. O. (2011). Genetic diversity in soybean genotypes with resistance to *Heterodera glycines*. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, 11(4), 274–281. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cbab/a/pqZqf8jxZdrJkXW45g79vnC>. Acesso em: 22 jul. 2025.
- Mendes, M. L.; Dickson, D. W. (1993). Detection of *Heterodera glycines* on soybean in Brazil. **Plant Disease**, 77(5), 499–500.
- Máscia, R. (2017). ***Bacillus amyloliquefaciens* e *Trichoderma harzianum* no manejo de *Pratylenchus brachyurus* e *Helicotylenchus* sp. na cultura da soja**. Dissertação de Mestrado, Instituto Federal Goiano, Campus Urutaí, Urutaí.

- Moens, M., Perry, R. N., & Starr, J. L. (2009). **Root-knot nematodes**. CABI.
- Moreira, A. C. S. (2023). **Mecanismos de ação e eficiência de *Bacillus amyloliquefaciens* cepa BaNCT02 no controle de *Meloidogyne incognita***. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. Disponível em: <https://locus.ufv.br/handle/123456789/31573>
- Nicol, J. M. et al. (2011). Current nematode threats to world agriculture. In: Jones, J., Gheysen, G., & Fenoll, C. (Eds.), **Genomics and molecular genetics of plant-nematode interactions**, p. 21–43. Springer.
- Nielsen, U. N., Ayres, E., Wall, D. H., & Bardgett, R. D. (2010). Soil biodiversity and carbon cycling: A review and synthesis of studies examining diversity–function relationships. **European Journal of Soil Science**, 62(1), 105–116.
- Nielsen, U. N., et al. (2014). Global-scale patterns of assemblage structure of soil nematodes in relation to climate and ecosystem properties. **Global Ecology and Biogeography**, 23(9), 968–978.
- Neves, S. S. (2013). **Tratamento de sementes de híbridos de milho com produtos químicos no controle dos nematoides-chave da cultura**. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/bitstreams/a367217d-738c-4700-88b7-a676ba67abf7/download>. Acesso em: 1 out. 2025.
- Oka, Y., Shuker, S., & Tkachi, N. (2011). Systemic nematicidal activity of fluensulfone against the root-knot nematode *Meloidogyne incognita* on pepper. **Pest Management Science**, 68, 268–275. <https://doi.org/10.1002/ps.2256>
- Oliveira, C. M. G. de, & Inomoto, M. M. (2023). Nematoides que atacam a cultura do milho no Brasil. **Biológico**, 85, e10001. <https://doi.org/10.31368/1980-6221v85a10001>
- Oliveira, C. M. G., Rosa, J. M. O., Gioria, R., & Braga, K. R. B. (2018). Nematoides. In J. U. T. Brandão Filho, P. S. L. Freitas, L. O. S. Berian, & R. Goto (Orgs.), **Hortaliças-fruto** (pp. 315–338). EDUEM. <https://doi.org/10.7476/9786586383010.0011>

Orgiazzi, A., Bardgett, R. D., Barrios, E., et al. (2016). **Global Soil Biodiversity Atlas**. European Commission.

Passos, A. M. A., et al. (2017). Impacto das mudanças climáticas na agricultura brasileira. **Revista Brasileira de Climatologia**, 21, 1–15.

Pinto, N. F. J. A. (2005). **Resistir aos nematoides**. Embrapa Milho e Sorgo. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/488626/1/Resistirnematooides.pdf>. Acesso em: 1 out. 2025.

Ribeiro, N. R. et al. (2009, 2011, 2014). **Boletim de pesquisa de soja**. Fundação MT.

Rossi, C. E. (2001). Métodos de controle de nematoides compatíveis com a agricultura orgânica. **Agroecologia Hoje**, 2(7).

Sasser, J. N., & Freckman, D. W. (1987). A world perspective on nematology: the role of the society. In: Veech, J. A., & Dickson, D. W. (Eds.), **Vistas on nematology**, p. 7–14. Society of Nematologists.

Siddiqui, Z. A. et al. (2014). Biological control of plant-parasitic nematodes by fungi. In: Mukerji, K. G., & Manoharachary, C. (Eds.), **Techniques for the study of mycorrhiza**, p. 1–20. Springer.

Silva, J. F. V. et al. (2000, 2003). **Nematoides em soja: identificação e controle**. Londrina: Embrapa Soja.

Syngenta. (2022). **Relatório técnico de monitoramento de nematoides**. São Paulo: Syngenta Proteção de Cultivos. Disponível em: <https://www.syngenta.com.br/press-release/institucional/pesquisa-inedita-revela-mapa-de-crescimento-e-danos-economicos-causados>

Thoden, T. C., & Wiles, J. A. (2019). Biological attributes of Salibro™, a novel sulfonamide nematicide. **Nematology**, 21, 625–639. <https://doi.org/10.1163/15685411-00003240>

Thoden, T., & Wiles, J. A. (2019). *Fluazaindolizine*: A new active ingredient for the control of plant-parasitic nematodes. **Health & Environmental Research Online**

(HERO),

US

EPA.

https://hero.epa.gov/hero/index.cfm/reference/details/reference_id/7445510

Treub, M. (1885). A nematode disease harmful to sugarcane in Java. **Communications from the Sugarcane Experiment Station**, 1, 1–6.

UN (United Nations). (2022). **World Population Prospects 2022**. United Nations Department of Economic and Social Affairs, Population Division.

Vandeghechuchte, M. L., et al. (2015). Responses of nematode communities to increased rainfall variability are determined by community composition. **Oecologia**, 177(3), 847–859.

Wrather, J. A. et al. (2010). Soybean disease loss estimates for the United States and Ontario, Canada, 1999–2009. **Plant Health Progress**. <https://doi.org/10.1094/PHP-2010-1122-01-RS>

Williamson, V. M., & Kumar, A. (2006). Nematode resistance in plants: The battle underground. **Trends in Genetics**, 22(7), 396–403.

Wu, H. Y., Silva, J. O., Becker, J. S., & Becker, J. O. (2020). Fluazaindolizine mitigates plant-parasitic nematode activity at sublethal dosages. **Journal of Pest Science**, 94, 573–583. <https://doi.org/10.1007/s10340-020-01262-2>

CAPÍTULO 2 – Avaliação da eficácia de Fluazaindolizine 500 SC e *Bacillus amyloliquefaciens* no manejo de fitonematoides e produtividade no sistema soja-milho

RESUMO: O sistema de produção de soja e milho é amplamente adotado no Brasil, desempenhando papel crucial na sustentabilidade agrícola. No entanto, a infestação por fitonematoides tem causado perdas significativas na produtividade e rentabilidade dessas culturas. Este estudo teve como objetivo avaliar a eficácia do nematicida Fluazaindolizine 500 SC isolado e associado a um biológico, comparando-o com Fluopiram e *Bacillus amyloliquefaciens* PTA-4838 16,5 FS no manejo de fitonematoides e produtividade, no sistema de cultivo soja-milho. Os tratamentos incluíram: Fluazaindolizine 500 SC¹ (700 mL/ha) aplicado no sistema soja-milho; Fluazaindolizine 500 SC² (700 mL/ha) exclusivamente na soja; Fluopiram (400 mL/ha) no sistema soja-milho; *B. amyloliquefaciens* SIMBI BS 10 (200 mL/ha) no sistema soja-milho; e a combinação de *B. amyloliquefaciens* PTA-4838 16,5 FS+ Fluazaindolizine 500 SC (20 mL/100 kg sementes + 500 mL/ha) no sistema soja-milho, além da Testemunha, sem aplicação de nematicidas. Os resultados do estudo indicam que o Fluazaindolizine 500 SC se destacou no manejo de fitonematoides, especialmente contra *Pratylenchus brachyurus*, *Meloidogyne incognita* e *Meloidogyne javanica*, tanto no solo quanto nas raízes, em comparação com outros tratamentos como Fluopiram e *B. amyloliquefaciens* isolado e que Fluazaindolizine 500 SC + *B. amyloliquefaciens* PTA-4838 16,5 FS expressaram bons resultados de manejo e se destacaram principalmente em produtividade no sistema soja-milho, indicando o benefício do uso de dois modos de ação no controle de fitonematoides.

Palavras-chave: nematicidas, controle químico, controle biológico, sucessão de culturas

**EFFICACY OF FLUAZAINDOLIZINE 500 SC AND *BACILLUS*
AMYLOLIQUEFACIENS IN NEMATODE CONTROL AND CROP PRODUCTIVITY
IN THE SOYBEAN-CORN SYSTEM**

ABSTRACT: The soybean and corn production system is widely adopted in Brazil, playing a crucial role in agricultural sustainability. However, nematode infestation has caused significant losses in the productivity and profitability of these crops. This study aimed to evaluate the efficacy of the nematicide Fluazaindolizine 500 SC alone and in combination with a biological agent, comparing it with Fluopyram and *Bacillus amyloliquefaciens* PTA-4838 16,5 FS in nematode control and productivity in the soybean-corn cropping system. The treatments included: Fluazaindolizine 500 SC¹ (700 mL/ha) applied in the soybean-corn system; Fluazaindolizine 500 SC² (700 mL/ha) exclusively in soybeans; Fluopyram (400 mL/ha) in the soybean-corn system; *B. amyloliquefaciens* SIMBI BS 10 (200 mL/ha) in the soybean-corn system; and the combination of *B. amyloliquefaciens* PTA-4838 16,5 FS+ Fluazaindolizine 500 SC (20 mL/100 kg seeds + 500 mL/ha) in the soybean-corn system, as well as the Control, without nematicide application. The study results indicate that Fluazaindolizine 500 SC stood out in nematode control, especially against *Pratylenchus brachyurus*, *Meloidogyne incognita*, and *Meloidogyne javanica*, both in the soil and roots, compared to other treatments such as Fluopyram and *B. amyloliquefaciens* alone. Additionally, Fluazaindolizine 500 SC + *B. amyloliquefaciens* PTA-4838 16,5 FS showed good control results and stood out mainly in productivity in the soybean-corn system, indicating the benefit of using two modes of action in nematode control.

Key-words: nematicides, chemical control, biological control, crop rotation.

1. INTRODUÇÃO

A produção de soja e milho no Brasil representa um dos pilares da economia agrícola nacional, com impacto direto no abastecimento global de alimentos, ração animal e insumos industriais. Na safra 2023/2024, a produção brasileira de soja foi estimada em 147,35 milhões de toneladas incluir área cultivada, enquanto a de milho alcançou 131,8 milhões de toneladas, cultivadas em mais de 22 milhões de hectares (CONAB, 2024).

Estima-se que os fitonematoides causem perdas superiores a 12% da produção agrícola global, o que representa prejuízos anuais acima de 215 bilhões de dólares (Nicol et al., 2011; Askary & Martinelli, 2015). Mais recentemente, especialistas da Embrapa Soja destacaram que os nematoides são responsáveis por perdas anuais superiores a R\$ 16,2 bilhões, podendo alcançar até R\$ 65 bilhões quando considerados os danos causados por outros patógenos associados (AGRIBRASILIS, 2025).

Entre os principais gêneros de fitonematoides que afetam o sistema soja-milho, destacam-se *Meloidogyne* spp., *Pratylenchus* spp. e *Heterodera glycines*. As espécies *M. incognita* e *M. javanica* são amplamente distribuídas e causam galhas nas raízes, prejudicando a absorção de água e nutrientes, sendo *M. incognita* a mais danosa ao milho (Dias et al., 2010; Oliveira & Inomoto, 2021). *P. brachyurus* e *P. zaeae*, por sua vez, são espécies endoparasitas migradores que provocam lesões radiculares e perdas significativas, especialmente em solos arenosos e na região do Brasil Central (Monteiro, 1963; Lordello et al., 1983; Antonio et al., 2012). Já *H. glycines*, detectado no Brasil em 1991/1992, é um dos principais patógenos da soja, com onze raças identificadas e alta capacidade de sobrevivência no solo por meio de cistos (Ribeiro et al., 2011; Asmus et al., 2012).

A sucessão de culturas soja-milho, amplamente adotada no Brasil, embora traga benefícios agronômicos e econômicos, também favorece a manutenção e o aumento das populações de fitonematoides, uma vez que ambas as culturas podem

atuar como hospedeiras (Lordello et al., 1983; Inomoto, 2014). A rotação com espécies não hospedeiras, resistentes ou que multipliquem menos, embora recomendada, torna-se limitada em sistemas agrícolas com baixa diversidade ou permanência prolongada de culturas suscetíveis, como cana-de-açúcar ou soja. Isso exige a adoção de estratégias complementares de manejo, como o uso de plantas antagonistas, cultivares resistentes e práticas culturais integradas (Asmus et al., 2015; Arieira, 2017).

Dentre as ferramentas disponíveis, o uso de nematicidas químicos e biológicos tem se destacado. Os nematicidas químicos tradicionais, como abamectina, tiodicarbe e fluopiram, apresentam eficácia comprovada, mas enfrentam desafios relacionados à seletividade, persistência no solo e impacto ambiental (Oka et al., 2012; Ribeiro et al., 2014). Nesse cenário, o fluazaindolizine surge como uma inovação promissora. Pertencente à classe das imidazopiridinas, esse composto apresenta alta seletividade, aos nematoides fitoparasitas, baixa mobilidade no solo, o que significa que ele tende a permanecer próximo às raízes, graças ao seu valor de K_{foc} (coeficiente de adsorção normalizado pela fração de carbono orgânico) médio de 128, indicando moderada adsorção à matéria orgânica do solo, meia-vida de 35 dias na rizosfera, atuando por disfunção muscular nos fitonematoides, o que leva à paralisia e morte (Lahm et al., 2017; Chen et al., 2018; Thoden & Wiles, 2019).

Paralelamente, os bionematicidas têm ganhado espaço por sua ação sustentável e multifuncional. Produtos à base de *Bacillus amyloliquefaciens* e *Trichoderma harzianum* atuam na supressão de fitonematoides por meio de parasitismo, produção de metabólitos tóxicos e indução de resistência sistêmica nas plantas (Collange et al., 2011; Ferraz & Brown, 2016). Além disso, promovem o crescimento vegetal e a colonização da rizosfera por microrganismos benéficos (Tian et al., 2007; Ichiwaki, 2012). Estudos recentes demonstram que a associação entre agentes biológicos e químicos pode potencializar o controle de *P. brachyurus* e *Meloidogyne* spp., além de contribuir para o aumento da produtividade (Máscia, 2017; Boleta, 2023; Moreira, 2023).

Diante da crescente demanda por soluções eficazes e sustentáveis no manejo de fitonematoides, este estudo teve como objetivo avaliar a eficácia do

fluazaindolizine, aplicada isoladamente e em associação com *Bacillus amyloliquefaciens* PTA-4838 16,5 FS, no manejo de fitonematoides e no desempenho produtivo do sistema soja-milho, comparando-a com outros tratamentos convencionais.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Instalação do ensaio experimental

O experimento foi conduzido na Fazenda Barcelona, localizada na microrregião de Guaíra, SP (20°27'17,5" S; 48°19'05,7" O; 505 m de altitude), em área com histórico de infestação por fitonematoides. O solo da área experimental apresenta textura argilosa, com 47% de argila, 31% de silte e 22% de areia, conforme análise granulométrica.

Tabela 1. Dados da análise química do solo da área experimental.

pH em CaCl ₂	M.O. g/dm ³	P Resina mg/dm ³	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	H+Al
			mmol/dm ³			
6,5	28	107	7,4	69	19	16
Micronutrientes mg/dm ³						
B	Cu	Fe	Mn	Zn	S-SO ₄ ²⁻	Al ³⁺
0,6	2,8	4,0	7,0	2,5	18,0	mmol/dm ³ 0

SB = 95,4mmol/dm³; CTC = 111 mmol/dm³; V% = 86. pH em CaCl₂ (potencial hidrogeniônico em solução de cloreto de cálcio), M.O. (matéria orgânica), P Resina (fósforo extraído por resina), K⁺ (potássio), Ca²⁺ (cálcio), Mg²⁺ (magnésio), H⁺ + Al³⁺ (acidez potencial), B (boro), Cu (cobre), Fe (ferro), Mn (manganês), Zn (zinco), S-SO₄²⁻ (enxofre na forma de sulfato), Al³⁺ (alumínio trocável), SB (soma de bases), CTC (capacidade de troca de cátions), V% (saturação por bases), g/dm³ (gramas por decímetro cúbico), mmol/dm³ (milimoles de carga por decímetro cúbico), mg/dm³ (miligramas por decímetro cúbico).

O delineamento experimental adotado foi em blocos inteiramente casualizados, com seis tratamentos e seis repetições, totalizando 36 parcelas. Cada

parcela foi composta por quatro linhas de 5 m de comprimento, espaçadas por 0,5 m, totalizando 10 m². A densidade de semeadura foi de 16 sementes de soja por metro linear e 5 sementes de milho por metro linear.

A primeira safra foi iniciada em dezembro de 2022 com a semeadura da cultivar de soja 'Msoy 6110', essa variedade apresenta suscetibilidade aos nematoides de galha (*Meloidogyne spp.*) e ao nematoide de cisto da soja (*Heterodera glycines*) (BAYER, 2024). Após a colheita, foi implantada a cultura do milho 'FS 575' na safrinha. Os tratamentos foram aplicados no sulco de plantio, diretamente sobre as sementes, utilizando pulverizador costal pressurizado com CO₂ (40 lb/pol²), equipado com bico tipo leque XR110.02, com volume de calda de 100 L/ha.

Os tratamentos que consistiram o ensaio estão indicados na Tabela 2. Todas as sementes foram previamente tratadas com fungicida Maxim XL (100 mL) e inoculante Masterfix (200 mL), considerando 600 mL de calda por 100 kg de sementes. Após a emergência, foram mantidas 13 plantas de soja e 4 de milho por metro linear.

Tabela 2 – Tratamentos utilizados no manejo de fitonematoides no sistema de cultivo soja-milho na Faz. Barcelona, em Guaíra - SP

Tratamentos	Aplicação	Formulação e concentração	Dose
1- Fluazaindolizine 500 SC ¹	Soja e Milho	500 SC	700 mL/ha
2- Fluazaindolizine 500 SC ²	Soja	500 SC	700 mL/ha
3- Fluopiram	Soja e Milho	500 SC	400 mL/ha
4- <i>B. amyloliquefaciens</i> SIMBI BS 10	Soja e Milho	983 SC	200 mL/ha
5- <i>B. amyloliquefaciens</i> PTA-4838 16,5 FS + Fluazaindolizine 500 SC	Soja e Milho	16,5% FS + 500 SC	20 mL/100 kg sem. + 500 mL/ha
6- Testemunha	Soja e Milho	-	-

¹ aplicação na Soja e Milho - ² aplicação na Soja

2.2. Medições e determinações analíticas

As avaliações experimentais foram conduzidas em diferentes estágios do desenvolvimento das culturas. Aos 15 dias após a emergência (DAE), foi determinada a porcentagem de emergência de plântulas por parcela, com base na contagem de plantas emergidas nas duas linhas centrais de cada unidade experimental.

Aos 90 DAE, foram coletadas oito plantas de soja por parcela, incluindo raízes e solo da rizosfera, para análise da população de fitonematoides. As amostras foram processadas no Laboratório de Nematologia (LabNema), vinculado ao Departamento de Fitossanidade da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da UNESP, Câmpus de Jaboticabal.

A extração de nematoides do solo foi realizada a partir de amostras de 100 cm³, utilizando o método de centrifugação-flutuação descrito por Jenkins (1964), reconhecido por sua eficiência na separação rápida de nematoides do solo por meio de diferenças de densidade. Para a extração de nematoides das raízes, foram utilizadas amostras de 20 g, seguindo o protocolo de maceração e peneiramento proposto por Coolen & D'Herde (1972), que permite a liberação e recuperação dos nematoides presentes nos tecidos radiculares. A quantificação de cistos viáveis de *Heterodera glycines* foi realizada conforme a técnica descrita por Shepherd (1986), baseada em peneiramento úmido seguido de flutuação em solução de sacarose, método amplamente utilizado para estimar populações de cistos em amostras de solo.

A contagem dos fitonematoides foi realizada com auxílio de câmara de Peters sob microscópio óptico, conforme descrito por Southey (1970). A identificação das espécies foi conduzida com base em características morfológicas e bioquímicas: *H. glycines* foi identificado pelas fêmeas adultas segundo Burrows & Stone (1985); *M. incognita* e *M. javanica* foram diferenciados por meio do padrão perineal (Taylor & Netscher, 1974), morfologia labial dos machos (Eisenback et al., 1981) e fenótipo isoenzimático de esterase (Esbenshade & Triantaphyllou, 1990). Para *P. brachyurus*, utilizou-se a chave dicotômica de Santos et al. (2005) e os critérios morfológicos descritos por Castillo & Vovlas (2007).

Aos 98 DAE, foi realizada a colheita da soja para estimativa da produtividade, utilizando 6 metros lineares das duas linhas centrais de cada parcela. A produtividade

foi expressa em kg/ha e convertida para sacas/ha, com correção da umidade dos grãos para 13%

2.3. Análise de dados

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA), considerando um nível de significância de 10% ($p < 0,10$) e produtividade 25% ($p < 0,25$). Para atender aos pressupostos da ANOVA, como homogeneidade das variâncias e normalidade dos resíduos, os dados foram transformados utilizando as funções logarítmica [$\log(x+1)$] e raiz quadrada [$\sqrt{(x+0,5)}$], conforme a natureza da variável analisada.

As médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de agrupamento de Scott-Knott, utilizando o software ARM® (Agricultural Research Manager). Na ausência de interação significativa entre os fatores ($p > 0,10$), as médias foram comparadas diretamente.

Adicionalmente, a eficácia de controle dos tratamentos em relação à testemunha foi calculada com base na fórmula de Abbott (Abbott, 1945), expressando a redução percentual da população de fitonematoides em cada tratamento:

$$\text{Eficácia (\%)} = \frac{(C - T)}{C} \times 100$$

onde **C** representa a média da testemunha e **T** a média do tratamento avaliado.

3. RESULTADOS

3.1. Emergência das plântulas na cultura da Soja e do Milho

Nesse estudo foram feitas avaliações da emergência das plantas de soja submetidas aos tratamentos. Aos 15 dias após a emergência (DAE) não houve diferença entre os tratamentos a 10% de probabilidade. As médias variaram entre 64

e 72 plantas, que corresponderam as médias entre 81 e 90% de emergência na cultura da soja. No milho as médias foram entre 14 e 18, representando 69 a 88%. As plantas de soja e milho, emergidas, não apresentaram efeito de fitotoxicidade pelos tratamentos utilizados. Aproximadamente 20% de diferença foi observada entre os tratamentos químicos que tiveram reaplicação na cultura do milho e Fluazaindolizine 500 SC² o qual teve aplicação apenas na cultura da Soja (Figura 1).

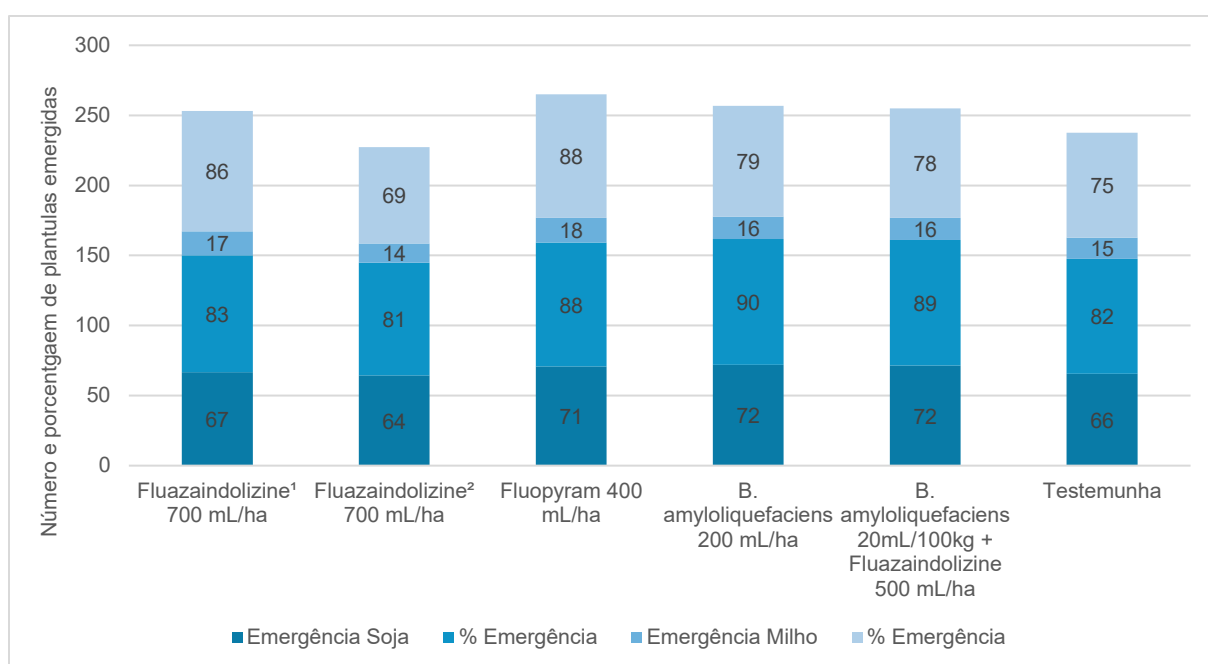


Figura 1 – Número e porcentagem de plântulas emergidas de soja e milho aos 15 dias após a semeadura, avaliadas nas duas linhas centrais de 5 m de cada parcela. Foram semeadas 16 sementes de soja e 4 sementes de milho por metro linear. ¹ Aplicação realizada nas culturas de soja e milho; ² aplicação realizada apenas na soja. Local de coleta: Fazenda Barcelona, Guaíra – SP.

3.2. População de fitonematoides no solo (100 cm³) e nas raízes (20 g) na cultura da Soja aos 90 DAE

Quando observada as populações de fitonematoides, no solo, os resultados de controle os tratamentos de Fluazaindolizine 500 SC¹, ² e Fluazaindolizine + *B. amyloloquefaciens*, apresentaram diferenças estatísticas e as menores médias numéricas, em relação aos demais tratamentos, com 87, 67 e 65% de redução nas populações de fitonematoides, respectivamente, em relação à Testemunha, o que evidencia a eficácia dos produtos. Nas raízes, foram observados resultados semelhantes com 80, 78 e 69% de controle, respectivamente, evidenciando a ação destes tratamentos no controle das quatro espécies de fitonematoides. Também, quando considerada a soma das populações no solo e raízes, foram apresentados 81, 76 e 68% de reduções nas populações das referidas espécies (Figura 2).

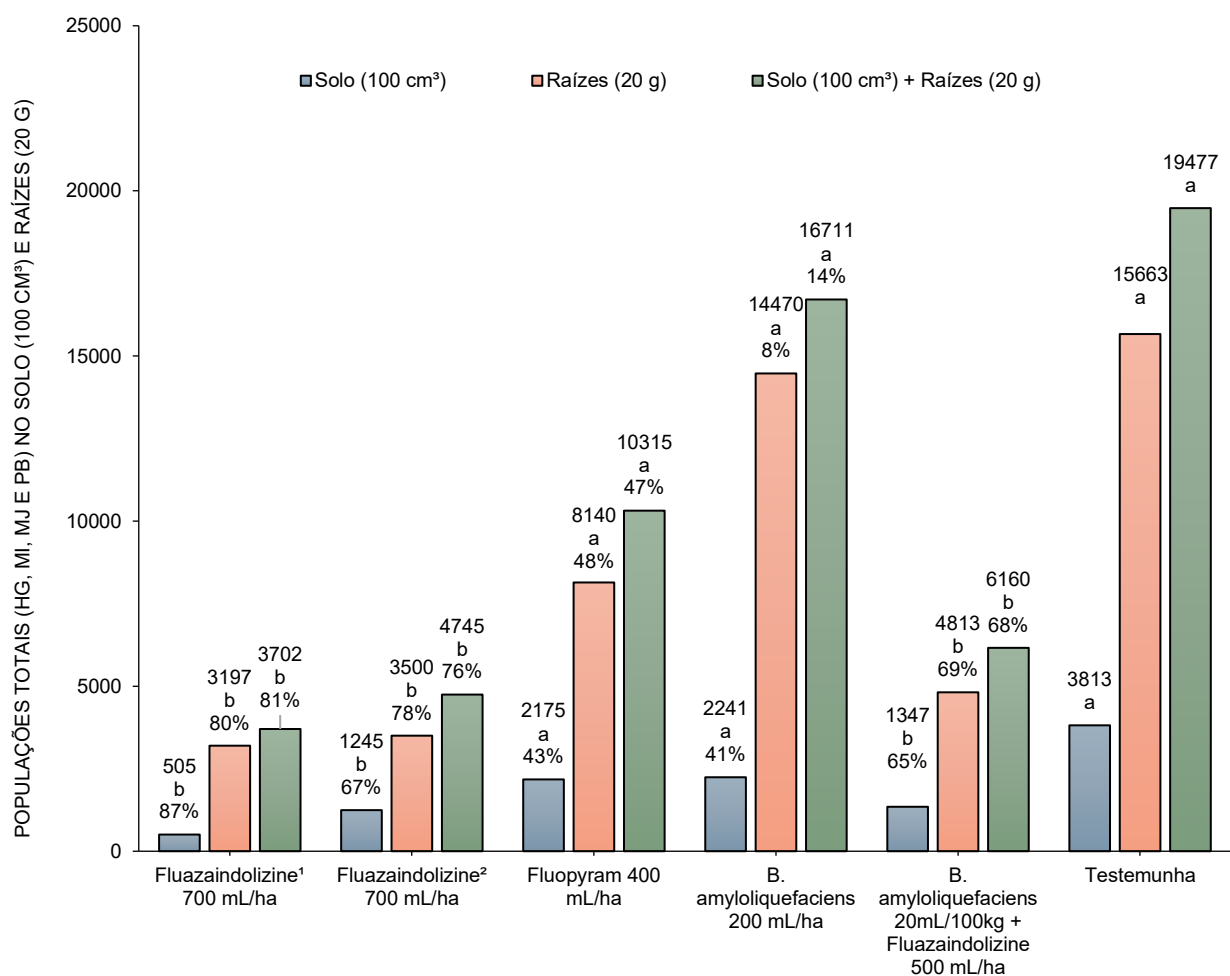


Figura 2 – População média de fitonematoides (Hg = *Heterodera glycines*, Mi = *Meloidogyne incognita*, Mj = *M. javanica*, Pb = *Pratylenchus brachyurus*) no solo (100 cm³), nas raízes (20 g) e na soma solo + raízes, aos 90 DAE na cultura da soja. As colunas indicam a porcentagem de controle em relação à testemunha. Letras distintas indicam diferenças significativas entre os tratamentos pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,10$). ¹ Aplicação nas culturas de soja e milho; ² aplicação apenas na soja. Local de coleta: Fazenda Barcelona, Guaíra – SP.

3.3. Cistos viáveis de *Heterodera glycines* na cultura da Soja

O Fluazaindolizine 500 SC^{1, 2} e Fluopiram apresentaram as menores médias e redução significativa de 72, 67 e 62%, de cistos viáveis no solo, respectivamente. De modo que os tratamentos com *B. amyloliquefaciens* e Fluazaindolizine 500 SC + *B. amyloliquefaciens* PTA-4838 16,5 FS, proporcionaram resultados inferiores de 26 e 35% de controle, respectivamente. Todos os tratamentos diferiram significativamente da Testemunha, com a maior média de 614 cistos viáveis (Figura 3).

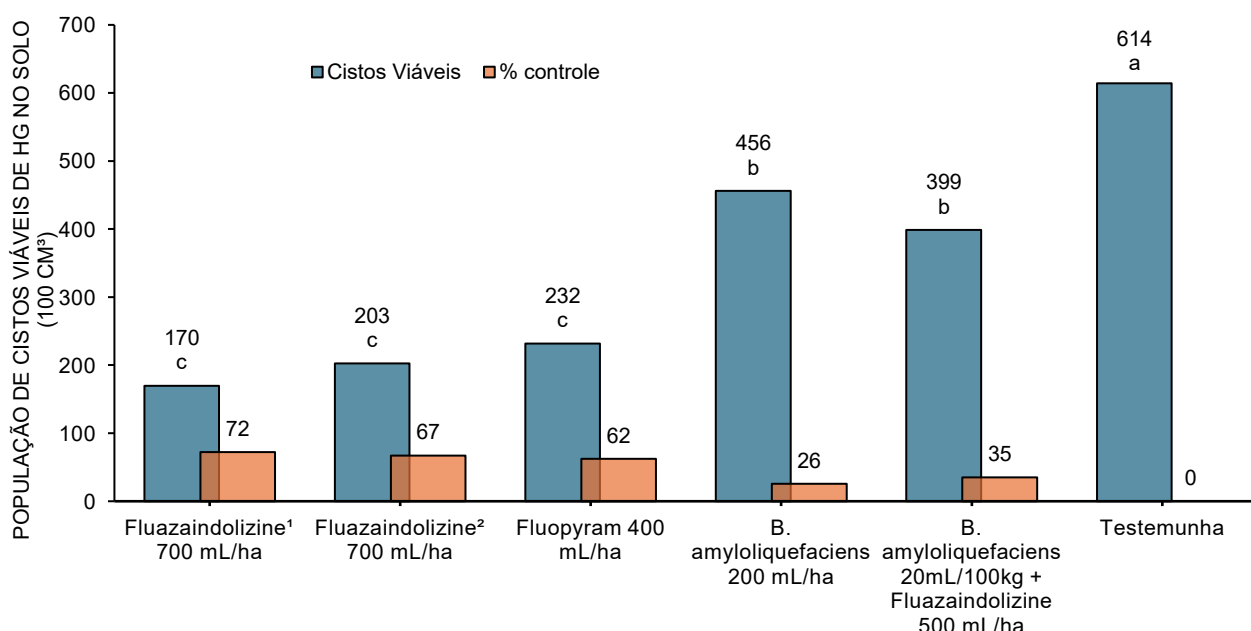


Figura 3 – População média de cistos viáveis de *Heterodera glycines* no solo (100 cm³) aos 90 DAE na cultura da soja, e respectiva porcentagem de controle em relação à testemunha. Letras diferentes indicam diferenças significativas entre os tratamentos pelo teste de Scott-

Knott ($p < 0,10$). ¹ Aplicação nas culturas de soja e milho; ² aplicação apenas na soja. Local de coleta: Fazenda Barcelona, Guaíra – SP.

3.4. Populações totais de fitonematoides no solo e nas raízes na cultura do Milho aos 90 DAE

Quando observados os resultados de controle na cultura do milho, podemos ver algumas mudanças nas variáveis de controle populacional. No solo é possível notar primeiramente que as populações se apresentam em baixas densidades e não houve diferença significativa entre os tratamentos. Nas raízes, é possível observar que Fluopiram, Fluazaindolizine 500 SC¹ e Fluazaindolizine 500 SC + *B. amyloloquefaciens*, apresentaram significativas menores médias populacionais de fitonematoides e 75, 66 e 50% de redução nas populações, respectivamente, em relação a Testemunha (Figura 3). Também, quando somadas as populações, no solo + raízes, os mesmos tratamentos se destacaram significativamente dos demais, pelas menores médias populacionais e com 74, 65 e 49% de controle, respectivamente (Figura 4). O Fluazaindolizine 500 SC² e *B. amyloliquefaciens*, não diferiram da Testemunha e não apresentaram resultados interessantes de controle. É importante destacar, que primeiro tratamento mencionado anteriormente, tem apenas com o resíduo da aplicação feita na cultura da soja, que antecedeu o milho, diferente de Fluazaindolizine 500 SC¹ que foi aplicado nas duas culturas. E o tratamento com *B. amyloliquefaciens*, mesmo reaplicado, não apresentou bons resultado em relação ao controle das populações de fitonematoides mais uma vez.

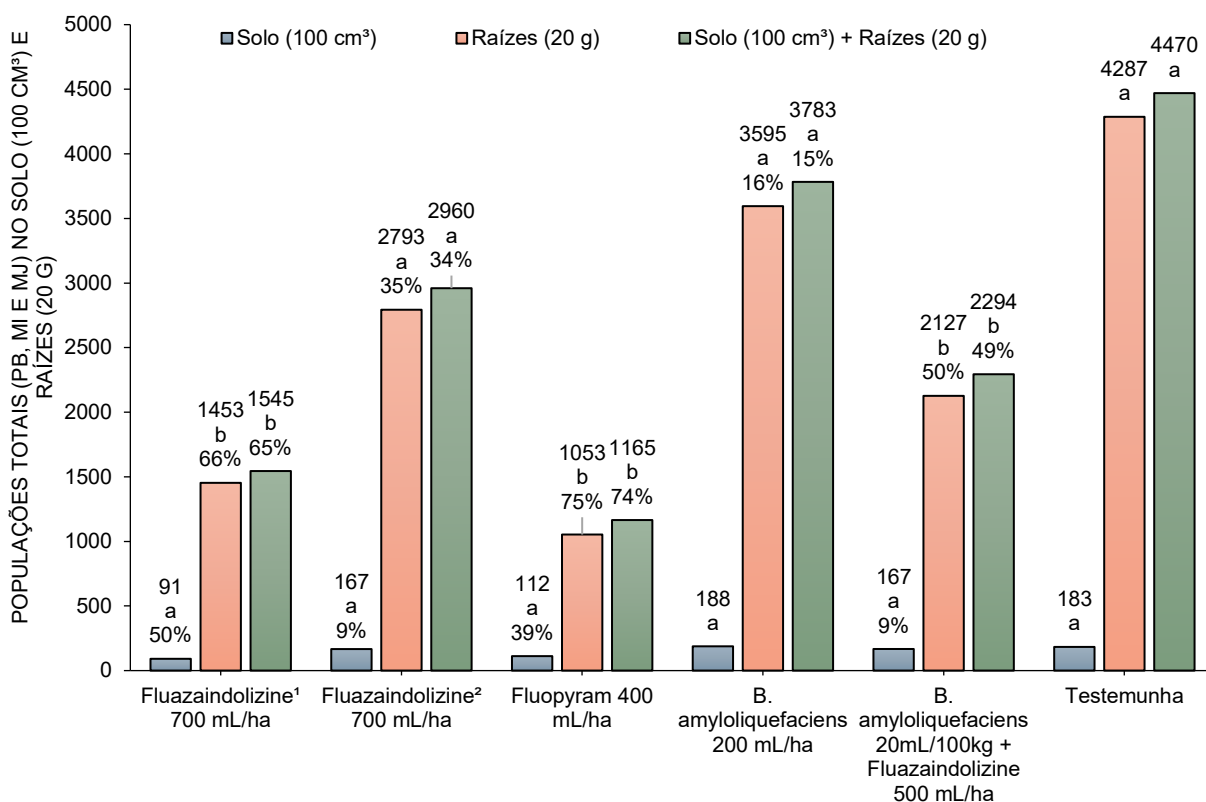


Figura 4 – População média de fitonematoides (Pb = *Pratylenchus brachyurus*, Mi = *Meloidogyne incognita*, Mj = *M. javanica*) no solo (100 cm³), nas raízes (20 g) e na soma solo + raízes, aos 90 dias após a emergência da cultura do milho. Letras distintas indicam diferenças significativas entre os tratamentos pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,10$). ¹ Aplicação realizada nas culturas de soja e milho; ² aplicação realizada apenas na soja. Local de coleta: Fazenda Barcelona, Guaira – SP.

3.5. Populações totais de fitonematoides totais nas raízes e no solo nas culturas da Soja e do Milho somadas

Quando somamos as populações das duas culturas, no solo e nas raízes é possível observar algumas tendências dos resultados já visualizados, mas também novos resultados. No solo, todos os tratamentos se diferenciaram estatisticamente da testemunha, mas não entre si. Sendo que Fluazaindolizine 500 SC¹, Fluazaindolizine 500 SC², Fluazaindolizine + *B. amyloliquefaciens* PTA-4838 16,5 FS, Fluopiram e *B. amyloliquefaciens* apresentaram respectivamente 85, 65, 62, 43 e 39% de redução

nas populações de fitonematoides, em relação à Testemunha (Figura 4). Nas raízes, os tratamentos citados acima seguem a mesma tendência, de 77, 68, 65 e 54% de controle, respectivamente, diferindo significativamente da Testemunha, exceto para *B. amyloliquefaciens* que apresentou a menor média de 9% de controle e não diferiu (Figura 4). Assim como, quando consideramos as populações, no solo e raízes, são somados de ambas as culturas, os referidos tratamentos apresentaram as significativas menores médias populacionais e proporcionaram 78, 68, 65 e 52% de redução nas populações de fitonematoides, respectivamente, exceto para *B. amyloliquefaciens* que apresentou a menor média de 14% de redução e não diferiu da Testemunha (Figura 5).

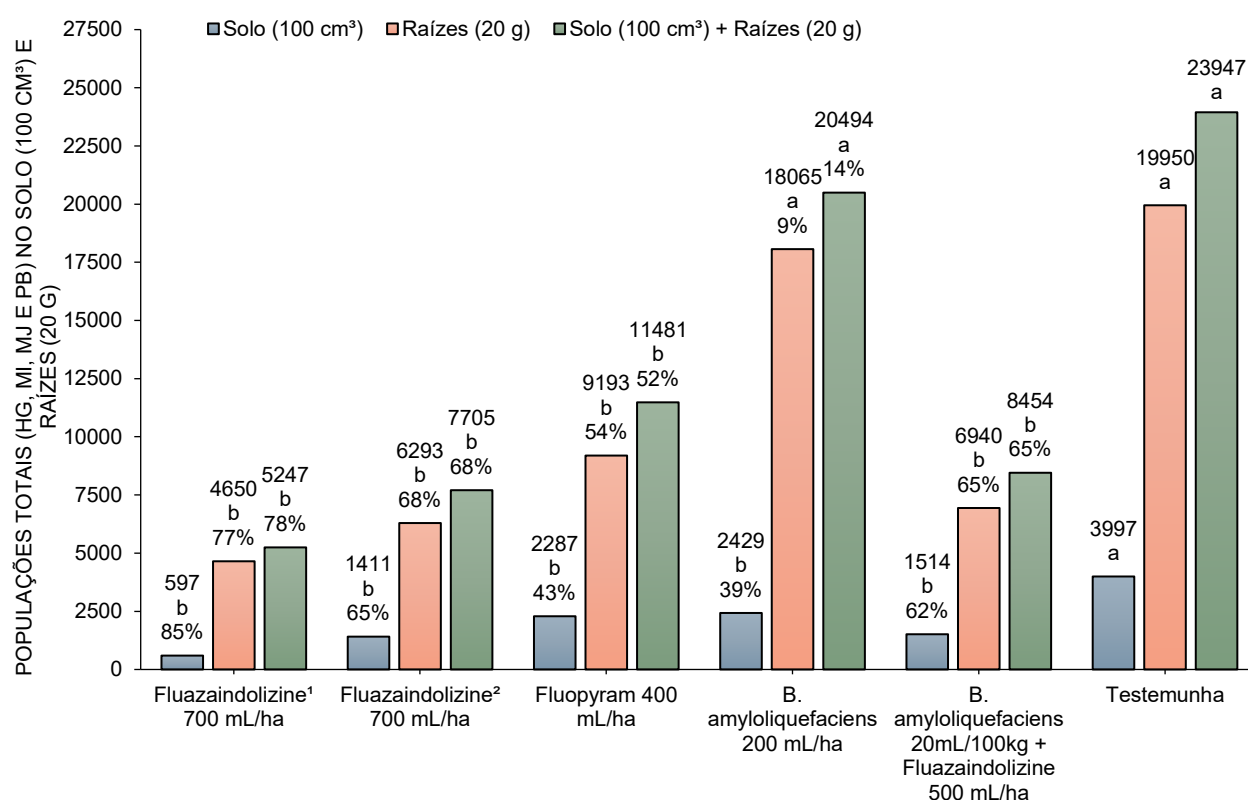


Figura 5 – População total de fitonematoides (Hg = *Heterodera glycines*, Mi = *Meloidogyne incognita*, Mj = *M. javanica*, Pb = *Pratylenchus brachyurus*) no solo (100 cm³), nas raízes (20 g) e na soma solo + raízes, considerando as culturas de soja e milho combinadas. Letras diferentes indicam diferenças significativas entre os tratamentos pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,10$). ¹ Aplicação nas culturas de soja e milho; ² aplicação apenas na soja. Local de coleta: Fazenda Barcelona, Guaira – SP.

3.6. Produtividade de Grãos Soja e Milho

Quanto a produtividade, é necessário ter um olhar mais atento, visto que, na cultura da soja, as diferenças entre os tratamentos foram muito pequenas, onde *B. amyloliquefaciens* foi o que menos produziu apresentando 8,37 sacas/ha a mais que a testemunha e foi obtido o maior aumento de 12,06 sc/ha, com Fluazaindolizine 500 SC + *B. amyloliquefaciens*, e entre estes dois tratamentos temos Fluazaindolizine¹ e ² e Fluopiram, respectivamente com aumentos de 10,52, 9,75 e 10,75 sacas/ha. No entanto quando observamos a cultura do milho, os valores têm maiores disparidades, podendo ter uma diferença de 7 sacas entres os tratamentos. Onde Fluazaindolizine 500 SC¹ e ² apresentam os menores aumentos de 14 sc/ha, em relação à Testemunha, diferentemente dos outros tratamentos Fluopiram, *B. amyloliquefaciens* e Fluazaindolizine + *B. amyloliquefaciens* PTA-4838 16,5 FS, respectivamente, aumentaram 20,18, 20,01, 18,42 sacas/ha, em relação à Testemunha. Quando somados os aumentos em produtividade, na soja e no milho, observa-se que Fluopiram e Fluazaindolizine 500 SC + *B. amyloliquefaciens* PTA-4838 16,5 FS proporcionaram os maiores aumentos de 30,92 e 30,48 sc/ha, seguida de *B. amyloliquefaciens*, com 28,38 sacas/ha e Fluazaindolizine 500 SC¹ e ² apresentaram respectivamente aumentos de 25,30 e 23,60 sc/ha. É importante considerar que todos os tratamentos receberam aplicação sequencial, ou seja, em ambas as culturas, soja e milho, exceto o Fluazaindolizine² o qual foi aplicado apenas na cultura da soja, sendo os efeitos de controle na cultura do milho, através do efeito residual do produto no ciclo da primeira cultura

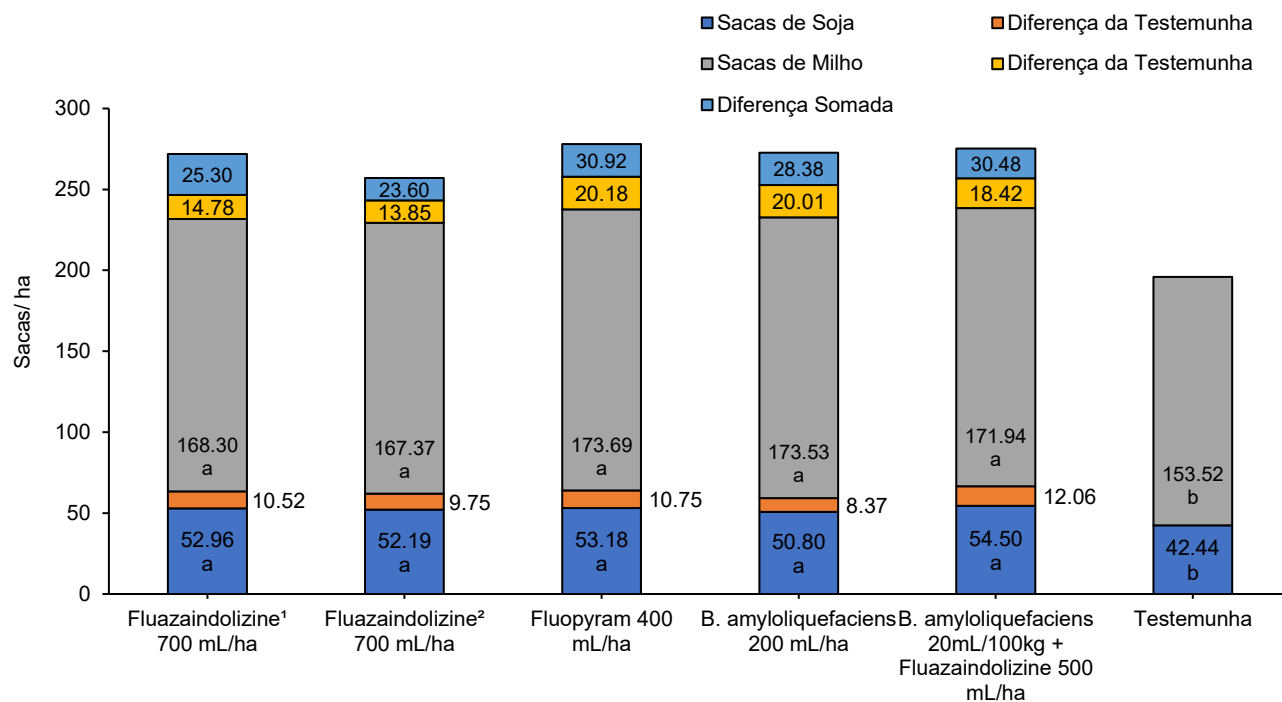


Figura 6 – Produtividade média de grãos (sacas/ha) nas culturas de soja, milho e na soma soja + milho, e respectivos aumentos em relação à testemunha. Letras distintas indicam diferenças significativas entre os tratamentos pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,25$). ¹ Aplicação nas culturas de soja e milho; ² aplicação apenas na soja. Local de coleta: Fazenda Barcelona, Guaíra – SP.

4. DISCUSSÃO

A presença simultânea de diferentes espécies de nematoides fitoparasitas no solo representa um desafio significativo para o manejo agrícola, uma vez que cada espécie possui particularidades quanto ao parasitismo, reprodução, estruturas de resistência e gama de hospedeiros. Algumas dessas espécies compartilham hospedeiros comuns, o que agrava o problema em sistemas de sucessão e rotação de culturas. Assim, o manejo eficaz de todas as espécies presentes no sistema é essencial para evitar prejuízos ao longo dos ciclos produtivos.

Neste estudo, foram identificadas quatro espécies de fitonematoides na cultura da soja, em ordem de prevalência: *M. incognita*, *M. javanica*, *Heterodera glycines* e *Pratylenchus brachyurus*. Os tratamentos com Fluazaindolizine 500 SC, tanto isolado quanto em associação com *Bacillus amyloliquefaciens* PTA-4838 16,5 FS, apresentaram os melhores resultados de controle, tanto no solo quanto nas raízes, seguidos por Fluopiram e, por fim, pelo biológico isolado.

A eficácia do Fluazaindolizine 500 SC pode ser atribuída à sua ação comprovada sobre nematoides de galha. Estudos demonstram que juvenis de segundo estágio (J2) de *M. incognita* expostos a concentrações de 5–50 mg/L de Fluazaindolizine 500 SC por 24–96 horas apresentaram mortalidade crescente com o aumento da dose (Lahm et al., 2017). Ensaio em estufa e campo confirmaram sua eficácia em culturas como tomate e cenoura (Becker et al., 2019; Silva et al., 2019), e Wram & Zasada (2019) classificaram-no como um verdadeiro nematicida para J2s de *M. incognita*.

No caso de *H. glycines*, a capacidade das fêmeas de formarem cistos — estruturas de resistência que protegem os ovos e garantem sua sobrevivência por longos períodos — torna o manejo ainda mais desafiador. A eclosão precoce dos J2s durante o desenvolvimento inicial da cultura agrava a infestação. Assim, o manejo preventivo da população antes do plantio é crucial, especialmente nas culturas iniciais da rotação (Singh & Sharma, 1996; Sekimoto et al., 2017; Moens et al., 2018; Singh & Devindrappa, 2023). Os tratamentos com Fluazaindolizine 500 SC^{1, 2} e Fluopiram

reduziram significativamente os cistos viáveis no solo (62–72%), o que pode contribuir para menor impacto em ciclos subsequentes, especialmente quando reaplicados em culturas não hospedeiras como o milho.

Na cultura do milho, onde predominou *P. brachyurus*, os resultados indicaram que Fluazaindolizine 500 SC¹ e Fluopiram foram os mais eficazes, com destaque para Fluopiram, que alcançou 75% de controle nas raízes. A associação Fluazaindolizine 500 SC + *B. amyloliquefaciens* PTA-4838 16,5 FS também apresentou desempenho relevante. Já Fluazaindolizine 500 SC², aplicado apenas na soja, demonstrou efeito residual com metade da eficácia de Fluazaindolizine 500 SC¹, mas ainda superior ao biológico isolado.

Embora estudos como Wu et al. (2020) indiquem que Fluazaindolizine 500 SC apresenta baixa letalidade contra *P. brachyurus* mesmo em altas concentrações, a associação com *B. amyloliquefaciens* mostrou-se promissora. Segundo Acari (2023), a combinação de *B. amyloliquefaciens* com Abamectina foi a mais eficaz no controle dessa espécie em milho. Além disso, produtos biológicos requerem tempo para se estabelecerem no ambiente, o que pode explicar sua menor eficácia imediata (Fernandes, 2020).

Ao agrupar os dados de soja e milho, observa-se que Fluazaindolizine 500 SC¹, ² e sua associação com *B. amyloliquefaciens* PTA-4838 16,5 FS mantiveram os melhores níveis de controle (60–85%). No entanto, essa tendência de controle não se refletiu diretamente na produtividade. Na soja, os tratamentos químicos apresentaram produtividades semelhantes, enquanto o biológico isolado foi o menos produtivo. Curiosamente, a associação química + biológica resultou na maior produtividade.

No milho, Fluopiram destacou-se em produtividade, possivelmente refletindo seu melhor desempenho no controle de *P. brachyurus*, seguido por *B. amyloliquefaciens* isolado e em associação. Apesar de Fluazaindolizine 500 SC não ter proporcionado os maiores rendimentos, sua eficácia no controle populacional é evidente, especialmente em áreas com alta infestação, onde o uso de produtos químicos eficientes é indispensável.

A diferença na eficácia entre Fluazaindolizine 500 SC e Fluopiram pode ser explicada por seus distintos modos de ação. Fluazaindolizine 500 SC atua por disfunção muscular, causando paralisia nos fitonematoides, sendo altamente seletivo e eficaz contra espécies sedentárias como *Meloidogyne spp.* e *Heterodera glycines* (Lahm et al., 2017). Já Fluopiram, um inibidor da enzima succinato desidrogenase (SDHI), interfere na respiração mitocondrial, apresentando ação mais ampla, porém com maior eficácia sobre fitonematoides migradores como *Pratylenchus brachyurus* (Oka et al., 2012). Essa especificidade justifica os diferentes níveis de controle observados entre as espécies.

Embora os dados não tenham mostrado diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos, observou-se uma tendência de melhor emergência da cultura do milho, nos tratamentos reaplicados em soja e milho, em comparação com aqueles aplicados apenas na soja. Essa diferença, ainda que sutil, pode influenciar o estabelecimento inicial da cultura e a competição com plantas daninhas, especialmente em áreas com alta pressão de fitonematoides.

Estudos preliminares indicam que Fluazaindolizine 500 SC apresenta seletividade a nematoides de vida livre, com impacto reduzido na estrutura da comunidade edáfica, sendo menos prejudicial que o preparo do solo (Talavera et al., 2021). Enquanto os nematicidas químicos têm ação imediata, os bionematicidas atuam de forma mais lenta e prolongada (Fonseca & Almeida, 2018). Além disso, *B. amyloliquefaciens* promove o crescimento vegetal e favorece a colonização por microrganismos antagonistas aos fitonematoides (Tian et al., 2007), além de induzir resistência sistêmica (Kloepper et al., 2004).

Dessa forma, a escolha do tratamento ideal deve considerar não apenas a eficácia no controle, mas também fatores como custo, facilidade de aplicação, compatibilidade com práticas agrícolas e impacto ambiental. A integração de estratégias químicas e biológicas se mostra como o caminho mais promissor para o manejo sustentável de fitonematoides em sistemas de sucessão soja-milho.

5. CONCLUSÕES

Os resultados deste estudo indicam que o Fluazaindolizine 500 SC foi o tratamento mais eficaz no manejo de múltiplas espécies de fitonematoides fitoparasitas no sistema soja-milho, especialmente *Meloidogyne incognita*, *M. javanica* e *Heterodera glycines*, com destaque para sua aplicação sequencial nas duas culturas. A associação com *Bacillus amyloliquefaciens* PTA-4838 16,5 FS potencializou o controle e proporcionou os maiores ganhos de produtividade na soja, evidenciando a sinergia entre controle químico e biológico. Já o Fluopiram apresentou melhor desempenho na cultura do milho, com maior controle de *Pratylenchus brachyurus* e incremento produtivo. Os tratamentos biológicos isolados, embora menos eficazes no controle direto, contribuíram para o crescimento vegetal e produtividade, reforçando seu papel complementar. Assim, a integração de modos de ação, considerando o histórico da área e as espécies predominantes, é essencial para um manejo eficiente e sustentável dos fitonematoides.

6. AGRADECIMENTO

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) e a Corteva Agriscience do Brasil.

7. REFERÊNCIAS

- Abbott, W. S. (1925). A method of computing the effectiveness of an insecticide. **Journal of Economic Entomology**, 18(2), 265–267.
- Agribrazilis. (2025) Nematoides na soja: prejuízos bilionários e estratégias sustentáveis de controle no Brasil. Disponível em: <https://agribrazilis.com/2025/04/15/nematoides-soja/>. Acesso em: 1 out. 2025.
- Antonio, S. F. et al. (2012). Soybean yield losses in an area infested by nematodes from root lesions in Vera, MT. **VII Academic Journey of Embrapa Soybean**, Londrina, n. 333, p. 166–170.
- Arieira, C. R. D. (2017). *Manejo cultural de nematoides: sistemas de cultivo*. Universidade Estadual de Maringá. <https://nematologia.com.br/files/anais/2017/Manejo%20Cultural%20sistemas%20de%20cultivo.pdf>
- Askary, T. H., & Martinelli, P. R. P. (2015). Nematodes as biocontrol agents. Springer.
- Asmus, G. L., Teles, T. S., Anselmo, J., Rosso, G. T. (2012). Raças de *Heterodera glycines* na região Nordeste de Mato Grosso do Sul. **Tropical Plant Pathology**, 37(2), 123–130. <https://doi.org/10.1590/S1982-56762012000200008>
- Asmus, G. L., Inomoto, M. M., Silva, R. A., & Galbieri, R. (2015). Manejo de nematoides. In E. C. Freire (Ed.), **Algodão no Cerrado do Brasil** (3ª ed., pp. 445–475). Brasília, DF: ABRAPA. <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/handle/doc/102528>
- Bayer Crop Science. (2023). **Ficha técnica da cultivar Msoy 6110 I2X**. Monsoy – Bayer Crop Science. Disponível em: <https://cs-assets.bayer.com/is/content/bayer/M%206110%20i2xpdf>
- Becker, J.O., Ploeg, A.T., Nunez, J. (2019). Multi-year field evaluation of fluorinated nematicides against *Meloidogyne incognita* in carrots. **Plant Dis.** 103(9), 2392–2396. <https://doi.org/10.1094/PDIS-03-19-0489-RE>
- Boleta, G. H. M. (2023). **Coinoculations of plant growth-promoting bacteria to increase soybean nutrition and yield in the Cerrado**. Graduation Project, São

Paulo State University "Júlio de Mesquita Filho", Faculty of Engineering of Ilha Solteira, Ilha Solteira.

Burrows, P. R., Stone, A. R. (1985). *Heterodera glycines*. **CIH Description of Plant-parasitic Nematodes**, set 8 (No. 118). Wallingford, UK: CAB International.

Castillo, P., Vovlas, N. (Eds.) (2007). **Pratylenchus (Nematoda: Pratylenchidae): Diagnosis, Biology, Pathogenicity and Management: Nematology monographs and perspectives**. 6. ed. Leiden: BRILL. 529 p.

Chen, D., et al. (2015). Climate change and soil biodiversity: A review. **Science of the Total Environment**, 529, 10–20.

Collange, B., Navarrete, M., & Mateille, T. (2011). Impact of soil management practices on soil nematode communities in organic farming systems. **Soil Biology and Biochemistry**, 43, 197–205.

Coolen, W. A., D'herde, C. J. (1972). **A method for the quantitative extraction of nematodes from plant tissue**. Ghent: State Agricultural Research Center. 77 p.

CONAB. (2024). **Acompanhamento da safra brasileira: grãos**. Companhia Nacional de Abastecimento. Disponível em: <https://www.conab.gov.br>

Dias, W. P. et al. (1999, 2009, 2010). **Nematodes in soybean: identification and control**. Londrina: Embrapa Soybean.

Eisenback, J. D., Hirschmann, H., Sasser, J. N., Triantaphyllou, A. C. (1981). **A guide to the four most common species of root-knot nematodes (*Meloidogyne species*) with a pictorial key**. Raleigh: The Departments of Plant Pathology and Genetics of North Carolina State University and United States Agency for International Development. 48 p.

Esbenshade, P. R., Triantaphyllou, A. C. (1990). Isozyme phenotypes for the identification of *Meloidogyne species*. **Journal of Nematology**, Lawrence, v. 22, n. 1, p. 10–15.

Ferraz, L. C. C. B., & Brown, D. J. F. (2016). **Plant nematology: fundamentals and importance**. Campos dos Goytacazes: SBN. 250 p.

Fonseca, W.L., Almeida, F.A., Leite, M.L.T., Oliveira, A.M., Prochnow, J.T., Ramos, L.L., Rambo, T.P., Alcântara Neto, F., Pereira, F.F., Carvalho, R.M. (2018). Influence of manipueira on *Meloidogyne javanica* in soybean. **Journal of Agrarian Sciences** 41(1): 182–192. <https://doi.org/10.19084/RCA17020>

Ichiwaki, S. (2012). Control of nematodes in soybean. In: Silva, J. F. V. et al. (Orgs.), **Host-parasite relations in soybean meloidoginosis**, p. 15–38. Embrapa.

Inomoto, M.M. (2024). Importance and management of *Pratylenchus brachyurus*. Available at: http://www.plantiodireto.com.br/?body=cont_int&id=894. Accessed on: 23 Dec. 2024.

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

Kloepper, J.W., Ryu, C.-M., Zhang, S. (2004). Induced systemic resistance and promotion of plant growth by *Bacillus* spp. **Phytopathology** 94, 1259–1266. <https://doi.org/10.1094/PHYTO.2004.94.11.1259>

Lahm, G.P., Desaegeer, J., Smith, B.K., Pahutski, T.F., Rivera, M.A., Meloro, T., Kucharczyk, R., Lett, R.M., Daly, A., Smith, B.T., Cordova, D., Thoden, T., Wiles, J.A. (2017). The discovery of Fluazaindolizine: A new product for the control of plant parasitic nematodes. **Bioorganic Med. Chem. Lett.** 27, 1572–1575. <https://doi.org/10.1016/j.bmcl.2017.02.029>

Lordello, R. R. A. et al. (1983). Control of *Pratylenchus* spp. in corn with systemic nematicides and castor bean cake. **Brazilian Nematology**, 7, 241–250.

Máscia, R. (2017). **Bacillus amyloliquefaciens and Trichoderma harzianum in the management of *Pratylenchus brachyurus* and *Helicotylenchus* sp. in soybean crop**. Master's thesis, Goiano Federal Institute, Urutaí Campus, Urutaí.

Moens, M., Perry, R.N., Jones, J.T. (2018). Cyst nematodes - life cycle and economic importance. In: **Cyst Nematodes**. CAB International, UK, pp. 1–26. <https://doi.org/10.1079/9781786390837.0001>

Monteiro, A. R. (1963). Pratilencose of corn. **Revista Agrícola**, 38, 177–187.

- Moreira, A. C. S. (2023). **Mechanisms of action and efficiency of *Bacillus amyloliquefaciens* strain BaNCT02 in the control of *Meloidogyne incognita***. Master's thesis, Federal University of Viçosa, Viçosa. Available at: <https://locus.ufv.br/handle/123456789/31573> . Accessed on: 4 jan. 2025.
- Nicol, J. M. et al. (2011). Current nematode threats to world agriculture. In: Jones, J., Gheysen, G., & Fenoll, C. (Eds.), **Genomics and molecular genetics of plant-nematode interactions**, p. 21–43. Springer.
- Oka, Y., Shuker, S., Tkachi, N. (2012). Systemic nematicidal activity of fluensulfone against the root-knot nematode *Meloidogyne incognita* on pepper. **Pest Manag. Sci.** 68, 268–275. <https://doi.org/10.1002/ps.2256>
- Oliveira, C. M. G. de, Inomoto, M. M. (2023). Nematodes that attack corn crops in Brazil. **Biological**, 85, 01–13. <https://doi.org/10.31368/1980-6221v85a10001>
- Ribeiro, N. R. et al. (2009, 2011, 2014). **Soybean Research Bulletin**. MT Foundation.
- Santos, J. M., Campos, A. S., Vildoso, C. I. A. (2005). Nematoides dos citros. In: Mattos Junior, D., Negri, J. D., Pio, R. M., Junior, J. P. (Eds.). **Citros**. Campinas: Fundag, p. 607–628.
- Sasser, J. N., Freckman, D. W. (1987). A world perspective on nematology: the role of the society. In: Veech, J. A., Dickson, D. W. (Eds.). **Vistas on nematology**. Hyattsville: Society of Nematologists, p. 7–14.
- Sekimoto, S., Uehara, T., Mizukubo, T. (2017). Characterisation of populations of *Heterodera trifolii* Goffart, 1932 (Nematoda: Heteroderidae) in Japan and their phylogenetic relationships with closely related species. **Nematology** 19, 543–558. <https://doi.org/10.1163/15685411-00003067>
- Shepherd, A. M. (1970). Extraction and estimation of *Heterodera*. In: Southey, J. F. (Ed.). **Laboratory methods for work with plant and soil nematodes** (pp. 23–33). London, UK: Ministry of Agriculture, Fisheries and Food. Her Majesty's Stationery Office.

Silva, J.D.O., Loffredo, A., da Rocha, M.R., Becker, J.O. (2019). Efficacy of new nematicides for managing *Meloidogyne incognita* in tomato crop. **J. Phytopathol.** 167, 295–299. <https://doi.org/10.1111/jph.12798>

Silva, L. A. (2023). **Interaction of nematicides and nematode-susceptible soybean cultivars in the control of *Heterodera glycines* and *Pratylenchus brachyurus***. Master's thesis, Goiano Federal Institute, Urutaí Campus, Urutaí.

Singh, B., Devindrappa, M. (2023). **Major nematode constraints of pulse crops and their management.**

Singh, M., Sharma, S.B. (1996). Emergence of *Heterodera cajani* juveniles from cysts and egg sacs. **Indian J. Plant Prot.** 24(1), 90–95.

Southey, J. F. (1970). **Laboratory for work with plant and soil nematodes** (5^a ed.). London: Ministry of Agriculture, Fisheries and Food. 148 p. (Bulletin, 2).

Talavera, M., Thoden, T.C., Vela-Delgado, M.D., Verdejo-Lucas, S., Sánchez-Moreno, S. (2021). The impact of Fluazaindolizine on free-living nematodes and the nematode community structure in a root-knot nematode infested vegetable production system. **Pest Manag. Sci.** 77(11), 5220–5227. <https://doi.org/10.1002/ps.6563>

Taylor, A. L., Netscher, C. (1974). An improved technique for preparing perineal patterns of *Meloidogyne* spp. **Nematologica**, Leiden, v. 20, p. 268–269.

Tian, B.Y., Yang, J.K., Lian, L.H., Wang, C.Y., Zhang, K.Q. (2007). Role of neutral protease from *Brevibacillus laterosporus* in pathogenesis of nematode. **Microbiol. Biotechnol.** 74, 372–380.

Thoden, T.C., Wiles, J.A. (2019). Biological attributes of Salibro™, a novel sulfonamide nematicide. Part 1: Impact on the fitness of *Meloidogyne incognita*, *M. hapla* and *Acrobeloides buetschlii*. **Nematology** 21, 625–639. <https://doi.org/10.1163/15685411-00003240>

Wram, C., Zasada, I.A. (2019). Short-term effects of sub-lethal doses of nematicides on *Meloidogyne incognita*. **Phytopathology** 109, 1605–1613. <https://doi.org/10.1094/PHTO-11-18-0420-R>

Wu, H.Y., Silva, J.D.O., Becker, J.S., Becker, J.O. (2020). Fluazaindolizine mitigates plant-parasitic nematode activity at sublethal dosages. **J. Pest Sci.** 94(3), 573–583. <https://doi.org/10.1007/s10340-020-01262-2>

CAPÍTULO 3 – Impacto das variações climáticas na densidade de fitonematoides e produtividade no sistema soja-milho

RESUMO: Nematoides parasitos de plantas (NPP) representam um dos principais entraves à produtividade agrícola, especialmente em sistemas tropicais como a sucessão soja-milho. Este estudo teve como objetivo avaliar a influência das variações climáticas na dinâmica populacional de fitonematoides e produtividade no sistema soja-milho. O experimento incluiu seis tratamentos com aplicações integradas de nematicidas, com coleta de dados sobre desenvolvimento das plantas, produtividade, densidade de fitonematoides (*Heterodera glycines*, *Meloidogyne incognita*, *M. javanica* e *Pratylenchus brachyurus*) e variáveis ambientais, no sistema soja-milho, por duas safras 2022-23 e 2023-24. As análises de correlação de Spearman revelaram que as populações de fitonematoides foram significativamente influenciadas por fatores climáticos, especialmente pela umidade. Em 2023, com clima favorável (maior precipitação, com acumulado de aproximadamente 1000 mm e temperaturas amenas na média de 22°C, dados observados durante o ciclo das duas culturas soja e milho), as plantas mantiveram crescimento mesmo na presença de fitonematoides, com correlações positivas moderadas entre densidade de fitonematoides e altura das plantas. Em 2024, sob condições adversas (baixa precipitação em torno de 500 mm e temperaturas mais elevadas com média de 26°C observados durante o ciclo das duas culturas soja e milho), os efeitos negativos dos fitonematoides foram intensificados, reduzindo o vigor e a produtividade das plantas. Observou-se uma forte correlação positiva ($R^2 = 0,60$) entre a umidade e a densidade de fitonematoides, destacando o papel da umidade na sobrevivência e reprodução desses organismos. Os resultados reforçam a importância de integrar o monitoramento climático às estratégias de manejo. Ferramentas preditivas e práticas adaptativas, como o uso de cultivares resistentes e controle químico-biológico combinado, são essenciais para mitigar perdas em um cenário de mudanças climáticas.

Palavras-chave: mudanças climáticas, fitonematoides, sistema soja-milho, umidade do solo, dinâmica populacional, manejo integrado

IMPACT OF CLIMATIC VARIABILITY ON NEMATODE DENSITY AND THE DEVELOPMENT OF SOYBEAN AND CORN CROPS

ABSTRACT: Plant-parasitic nematodes (PPNs) represent one of the main obstacles to agricultural productivity, especially in tropical systems such as the soybean–corn succession. This study aimed to evaluate the influence of climatic variations on nematode population dynamics and crop productivity in the soybean–corn system. The experiment included six treatments with integrated applications of nematicides, and data were collected on plant development, yield, nematode density (*Heterodera glycines*, *Meloidogyne incognita*, *M. javanica*, and *Pratylenchus brachyurus*), and environmental variables over two growing seasons: 2022–23 and 2023–24. Spearman correlation revealed that nematode populations were significantly influenced by climatic factors, especially moisture. In 2023, under favorable weather conditions, higher rainfall, totaling approximately 1000 mm, and mild average temperatures around 22°C, observed during the soybean and corn crop cycles, plants-maintained growth even in the presence of nematodes, with moderate positive correlations between nematode density and plant height. In 2024, under adverse conditions, low rainfall around 500 mm and higher average temperatures of 26°C, also observed during the crop cycles, the negative effects of nematodes were intensified, reducing plant vigor and productivity. A strong positive correlation ($R^2 = 0.60$) was observed between moisture and nematode density, highlighting the role of humidity in the survival and reproduction of these organisms. The results reinforce the importance of integrating climate monitoring into management strategies. Predictive tools and adaptive practices, such as the use of resistant cultivars and combined chemical-biological control, are essential to mitigate losses in the face of climate change.

Key-words: climate change, nematodes, soybean-corn system, soil moisture, population dynamics, integrated management.

1. INTRODUÇÃO

Nematoides parasitos de plantas (NPP) são vermes pseudocelômicos microscópicos, não segmentados, com ampla distribuição geográfica, que se alimentam de plantas como patógenos obrigatórios. Estima-se que mais de 4.000 espécies de NPP já tenham sido descritas, sendo responsáveis por perdas globais de aproximadamente 175 a 200 bilhões de dólares por ano em culturas agrícolas (Norton, 1979; FAO, 2020). Os nematoides fitoparasitos representam uma das principais ameaças à produtividade agrícola global, com perdas estimadas entre 12% e 15% da produção mundial de alimentos (Sasser & Freckman, 1987; Nicol et al., 2011). Espécies como *Meloidogyne incognita*, *Heterodera glycines* e *Pratylenchus brachyurus* destacam-se por sua ampla distribuição, alta capacidade reprodutiva e complexidade no manejo (Jones et al., 2013), além da maior agressividade das duas primeiras espécies. Esses organismos parasitam o sistema radicular das plantas, comprometendo a absorção de água e nutrientes, além de favorecerem a entrada de patógenos secundários (Bird & Kaloshian, 2003; Williamson & Kumar, 2006).

Com o avanço das mudanças climáticas, a dinâmica populacional dos nematoides tem se tornado ainda mais imprevisível. Estudos demonstram que fatores como temperatura, umidade relativa do ar e precipitação influenciam diretamente a sobrevivência, mobilidade e reprodução desses organismos (Franco et al., 2019; Haider et al., 2021). A elevação da temperatura pode acelerar o ciclo de vida dos nematoides, enquanto a umidade elevada favorece sua dispersão no solo (Nielsen et al., 2014; Vandegehuchte et al., 2015). Além disso, eventos climáticos extremos, como secas prolongadas ou chuvas intensas, alteram a estrutura da comunidade edáfica, afetando a composição e a abundância de nematoides (Blankinship et al., 2011; Eisenhauer et al., 2012). Bardgett & Van Der Putten (2014) destacam que a biodiversidade subterrânea está diretamente ligada à resiliência dos ecossistemas, sendo os nematoides indicadores sensíveis dessas alterações.

A interação entre clima, solo e desenvolvimento vegetal é complexa e multifatorial. A variabilidade climática pode intensificar os efeitos dos nematoides sobre o desenvolvimento vegetal, reduzindo a altura, o diâmetro do caule e a produtividade

das culturas (McClure, 1977; Ferraz et al., 2010). Estudos como o de Nielsen et al. (2014) demonstraram que a estrutura das comunidades de nematoides está fortemente correlacionada com variáveis climáticas em escala global, sendo influenciada por temperatura média anual, umidade e tipo de vegetação. Em florestas tropicais, Franco et al. (2019) observaram que secas extremas e chuvas intensas alteram drasticamente a composição funcional dos nematoides, com implicações diretas sobre os ciclos de nutrientes e a saúde do solo. Segundo a FAO (2015), saúde do solo é definida como a capacidade contínua do solo de funcionar como um ecossistema vivo. Essa definição destaca que um solo saudável vai além da fertilidade química, sendo biologicamente ativo e capaz de fornecer serviços ecossistêmicos essenciais, como a sustentação da produtividade vegetal, a regulação da água e do clima, a ciclagem de nutrientes, o fornecimento de habitat para organismos e o suporte à saúde humana e animal.

Diante desse cenário, o manejo integrado de nematoides tem evoluído com o uso de ferramentas genéticas, químicas e biológicas. O desenvolvimento de moléculas como o fluazaindolizine, com ação específica sobre fitonematoides sedentários, representa um avanço significativo no controle químico, sendo eficaz para *Meloidogyne* spp. e *Heterodera glycines* (Lahm et al., 2017; Thoden & Wiles, 2019). Paralelamente, o uso de rizobactérias promotoras de crescimento de plantas (RPCP), como *Bacillus amyloliquefaciens*, tem mostrado eficácia na supressão de *M. incognita* e na indução de resistência sistêmica em culturas como algodão e soja (Kloepper et al., 2004; Xiang et al., 2017). Essas estratégias, quando integradas ao monitoramento climático e ao uso de cultivares tolerantes, oferecem caminhos promissores para mitigar os impactos dos fitonematoides em sistemas agrícolas tropicais.

Este estudo teve como objetivo avaliar a influência das variações climáticas no manejo de fitonematoides e produtividade no sistema soja-milho em dois ciclos diferente de implementação desse sistema, nos anos de 2023/2023 e 2023/2024

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A condução do experimento foi realizada em área de produção comercial na Fazenda Barcelona, localizada na microrregião de Guaíra – SP (latitude 20°27'17,5" S; longitude 48°19'05,7" O; altitude de 505 m). O delineamento experimental adotado foi em blocos inteiramente casualizados, com seis tratamentos e seis repetições, totalizando 36 parcelas. Cada parcela foi composta por quatro linhas de 5 metros de comprimento, espaçadas entre si por 0,45 m, resultando em uma área útil de 9 m² por parcela e 324 m² no total.

A primeira safra teve início com a semeadura da soja, realizada em 7 de dezembro de 2022, sendo a colheita efetuada em 15 de março de 2023. Na sequência, foi implantada a cultura do milho (safrinha), semeada em 15 de março de 2023 e colhida em 3 de julho de 2023. No segundo ciclo, a soja foi semeada em 28 de novembro de 2023 e colhida em 27 de março de 2024. A cultura do milho subsequente foi implantada em 28 de março de 2024, com a última coleta de dados realizada em 20 de junho de 2024.

Foram utilizadas as cultivares 'Msoy 6110 i2x' para a soja e 'FS 575' para o milho, ambas consideradas suscetíveis aos nematoides. A densidade de semeadura foi de 16 sementes de soja e 5 sementes de milho por metro linear.

As avaliações de vigor das plantas foram realizadas aos 50 e 90 dias após a emergência (DAE), utilizando uma escala visual de notas atribuídas com base na comparação com a testemunha (T1), conforme os seguintes critérios: 1 = muito inferior; 3 = inferior; 5 = igual; 7 = superior; 9 = muito superior, para ambas as culturas e nas duas safras 2022-23 e 2023-24.

Nessas mesmas datas (50 e 90 DAE), foram realizadas avaliações biométricas da altura da parte aérea (em cm) e do diâmetro do colo (em mm), com base em oito plantas coletadas nas duas linhas de bordadura de cada parcela. Para as análises nematológicas, foram coletadas pelo menos oito plantas por parcela, incluindo raízes e solo da rizosfera (quatro plantas por linha de bordadura). Quando necessário, plantas adicionais foram coletadas para garantir volume suficiente de raízes,

especialmente na avaliação aos 50 DAE. As amostras foram compostas por parcela e repetição, para ambas as culturas e nas duas safras 2022-23 e 2023-24.

As raízes coletadas foram lavadas em água corrente com baixa pressão, pesadas e cortadas em segmentos de até 3 cm de comprimento. Posteriormente, foram processadas conforme a técnica de Hussey & Barker (1973), modificada por Bonetti & Ferraz (1981).

Por fim, aos 98 DAE, foi realizada a colheita da soja para estimativa da produtividade, expressa em kg/ha e convertida para sacas/ha, com correção da umidade dos grãos para 13%, para ambas as safras 2022-23 e 2023-24.

Para a cultura do milho quando ela apresentou a maturidade fisiológica, entre 110 e 120 DAE foi avaliado o peso de 1000 grãos, estimada a produtividade em kg e sacas/ha, em 6 m lineares da parcela, nas 2 linhas centrais, o que aconteceu apenas na safra 2022-23, sendo que na safra de 2023-24 a cultura devido ao estresse hídrico não chegou ao final do ciclo, não havendo produção e avaliação da produtividade.

Os dados meteorológicos diários foram obtidos por meio da plataforma *Location Weather History* (Corteva Agriscience, 2024), utilizando as coordenadas geográficas da área experimental (20°27'17,5" S; 48°19'05,7" O) e um raio de interpolação de 20 km, com o objetivo de estimar as condições climáticas locais com base em dados de estações próximas.

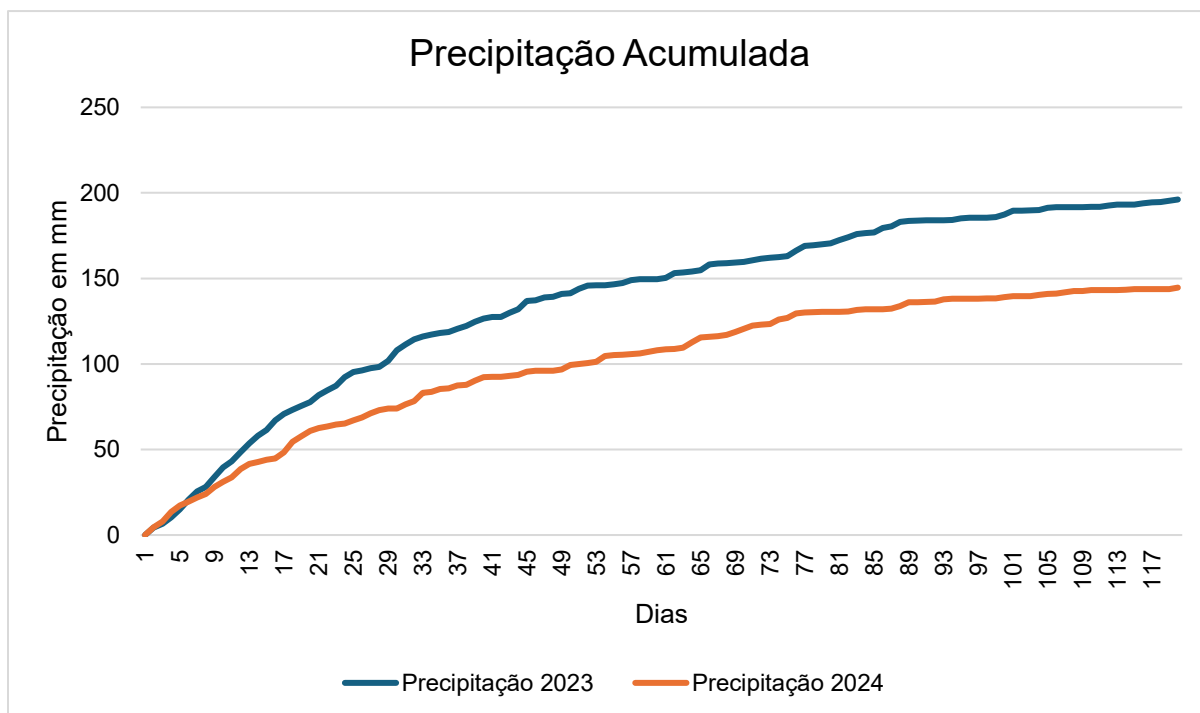


Figura 1: Precipitação acumulada dos anos de 2023 e 2024 obtida na plataforma *Location Weather History* (Corteva Agriscience, 2024) da área experimental (20°27'17,5" S; 48°19'05,7" O), na Fazenda Barcelona, Guaira – SP.

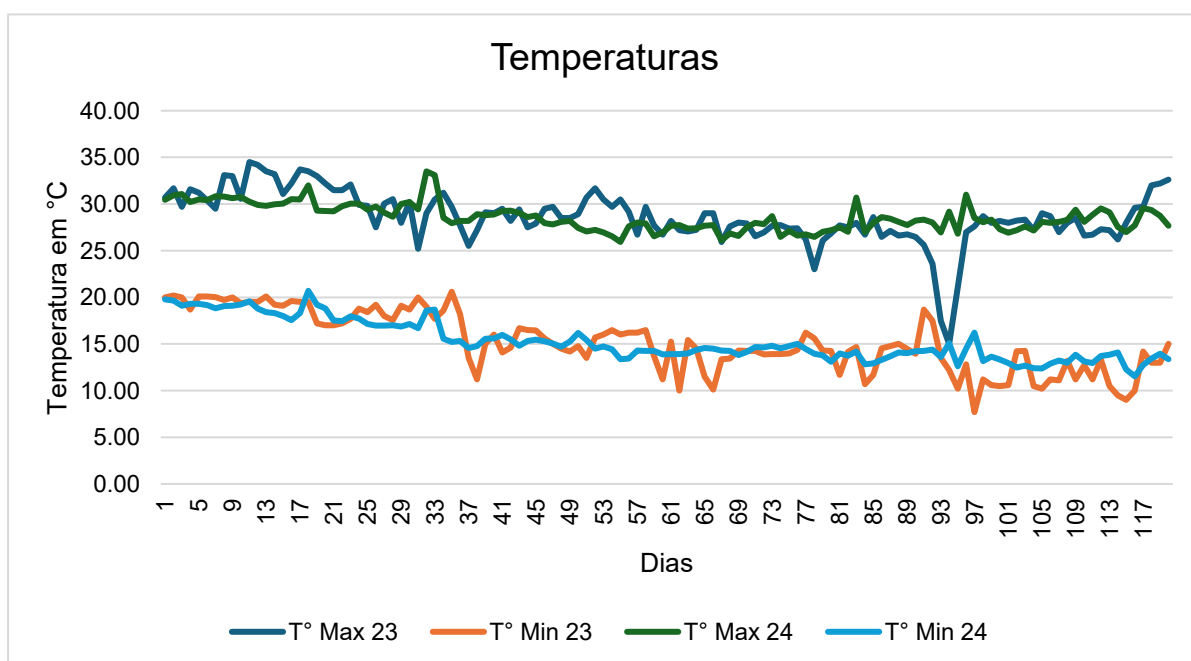


Figura 2: Temperaturas máxima e mínima dos anos de 2023 e 2024 obtidas na plataforma *Location Weather History* (Corteva Agriscience, 2024) da área experimental (20°27'17,5" S; 48°19'05,7" O), na Fazenda Barcelona, Guaira – SP.

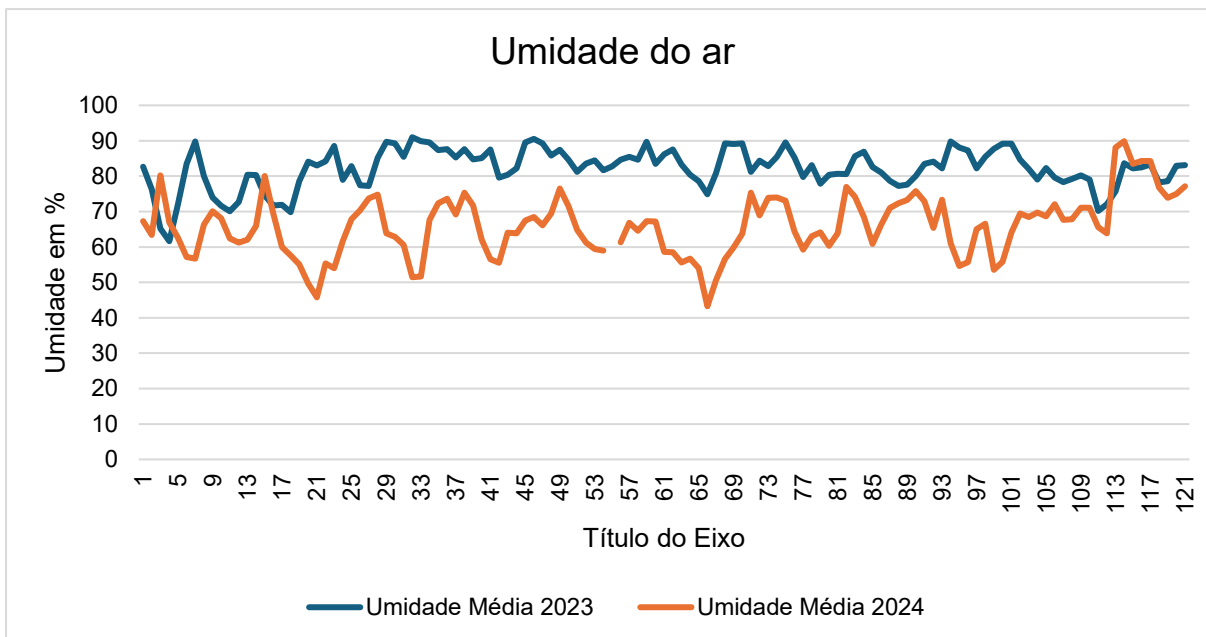


Figura 3: Umidade média do ar dos anos de 2023 e 2024 obtida na plataforma *Location Weather History* (Corteva Agriscience, 2024), da área experimental ($20^{\circ}27'17,5''$ S; $48^{\circ}19'05,7''$ O), na Fazenda Barcelona, Guaíra – SP.

2.1. Análise de dados

Todas as análises estatísticas e visualizações gráficas foram conduzidas utilizando o software R (R Core Team, 2024). As análises de correlação e regressão foram empregadas para investigar as relações entre as populações de nematoides, variáveis climáticas e agrônômicas. Para avaliar o grau de associação entre as variáveis, foi utilizada a Análise de Correlação não paramétrica de Spearman (ρ). Este método foi escolhido por ser robusto e não exigir a premissa de normalidade dos dados, sendo ideal para identificar relações monotônicas entre variáveis em contextos agrônômicos (Sousa, 2019; Nascimento et al., 2013).

As correlações foram exploradas em dois contextos principais: com variáveis climáticas, como temperatura mínima, máxima e média, precipitação acumulada, umidade média e velocidade do vento, considerando dados completos e por safra (2023–2024); e com variáveis agrônômicas, como altura de planta, diâmetro do caule e colmo, vigor e produtividade, correlacionadas com a população de nematoides por

espécie (ex.: *Meloidogyne spp.*, *Pratylenchus brachyurus.*, *Heterodera glycines*). Para visualização das matrizes de correlação, foi utilizado o pacote Corrplot (Wei & Simko, 2017), que permite representar graficamente a força e direção das correlações de forma intuitiva.

Com base nos resultados da correlação, foi realizada uma regressão linear simples, utilizando a umidade média como variável preditora. A variável resposta — população de nematoides nas raízes — foi submetida a transformação logarítmica, técnica recomendada para dados de contagem com distribuição assimétrica, pois ajuda a estabilizar a variância e linearizar relações (Winter & Lôbo, 2018; Paula, 2010). O modelo foi ajustado para descrever a dependência do logaritmo da população de nematoides em função da umidade média do ar. A visualização gráfica foi elaborada com o pacote ggplot2 (Wickham, 2022), complementada com ggpmisc para exibir a equação do modelo e o coeficiente de determinação (R^2), que indica a proporção da variabilidade explicada pela variável climática.

3. RESULTADOS

3.1. Correlação fitonematoides e a cultura de soja

A análise das matrizes de correlação para os anos de 2023 e 2024 revelou diferenças significativas na intensidade e direção das relações entre as espécies de fitonematoides radiculares *Meloidogyne spp.* e *Heterodera glycines* e os parâmetros agrônômicos da cultura da soja, sob distintas condições climáticas. Em 2023, com temperatura média de 24 °C e precipitação acumulada de 770 mm, *Heterodera glycines* apresentou correlações moderadamente negativas com altura da planta (-0,38), diâmetro (-0.36), vigor de planta (-0.28) e uma correlação positiva forte com a produtividade (0.62). *Meloidogyne spp.* mostrou correlações positiva mais forte, como (0,67) com altura de planta, (0.68) com diâmetro, negativo fraco com vigor de planta (-.28) e positivo fraco com produtividade (0.28).

Em 2024, sob condições adversas, temperatura média de 28 °C e precipitação de 390 mm, as duas espécies obtiveram correlações variadas. A correlação de *Heterodera glycines* com altura de planta foi moderadamente positiva (0.26) e com a produtividade positiva intensa (0.79) já para diâmetro e vigor de planta negativas fracas (-0.10 e -0.02) respectivamente. Para *Meloidogyne spp.* altura de planta teve correlação forte de (0.85) ao contrário do diâmetro de planta que foi forte negativamente (-0.76) e vigor de planta e produtividade foram, positivo fraco (0.09) e negativo fraco (-0.04).

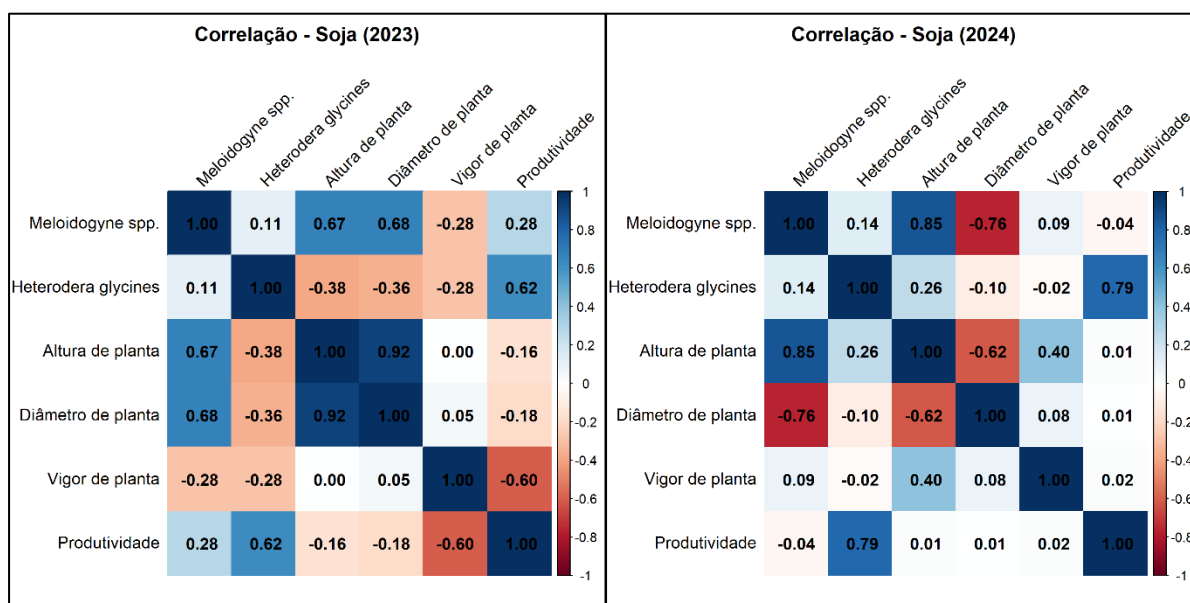


Figura 4: Correlação entre a presença de nematoides (*Meloidogyne spp.*, *Heterodera glycines*) nas raízes e diversos fatores de desenvolvimento e produtividade de plantas de soja. Fazenda Barcelona, Guaíra – SP, safras 2022-23 e 2023-24.

A análise das matrizes de correlação dos anos 2023 e 2024 para as plantas de soja apresenta percepções importantes sobre a dinâmica entre a população de

fitonematoides e os fatores de crescimento das plantas sob diferentes condições climáticas. Em 2023, um ano caracterizado por boas condições climáticas, com temperaturas amenas em torno de (24 °C) e boa precipitação, acumulando em 90 dias, a contar desde o plantio em torno de (770 mm) de chuva. Observamos que a correlação entre a presença de fitonematoides nas raízes e a altura das plantas foi positiva moderada (0.64). Além disso, houve uma correlação positiva moderada (0.65) entre o diâmetro das plantas e a presença de fitonematoides. A produtividade também mostrou uma correlação positiva fraca (0.34) com a presença de fitonematoides.

Em 2024, um ano de condições desfavoráveis, com baixa precipitação acumulada (390 mm) e temperaturas elevadas com média de (28°C), a correlação entre a presença de fitonematoides nas raízes e a altura das plantas foi ainda mais forte (0.78). No entanto, a correlação entre o diâmetro das plantas e a presença de fitonematoides foi negativa forte (-0.76). A relação entre o vigor das plantas e a presença de fitonematoides foi mínima (0.01), assim como a relação entre a presença de fitonematoides e a produtividade (0.13).

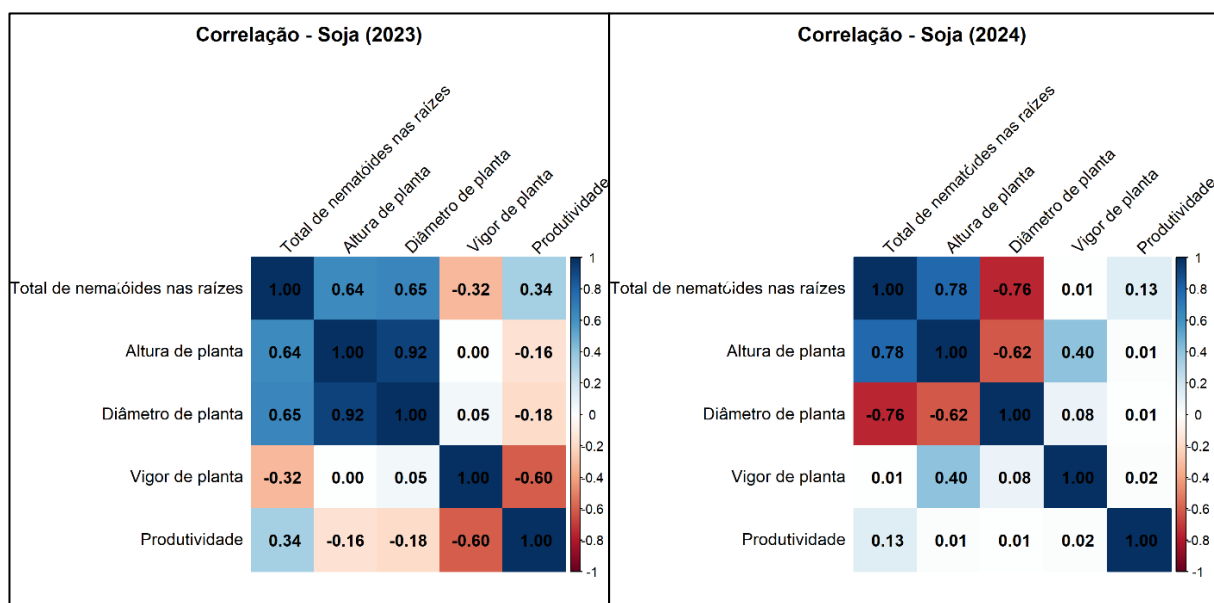


Figura 5: Correlação entre a presença de fitonematoides nas raízes e diversos fatores de desenvolvimento e produtividade de plantas de soja. Fazenda Barcelona, Guaíra – SP, safras 2022-23 e 2023-24.

3.2. Correlação de fitonematoides e a cultura de milho

A análise da correlação entre a presença de fitonematoides nas raízes e diversos fatores de crescimento das plantas de milho em 2023 e 2024 revela diferenças e semelhanças importantes, influenciadas pelas condições climáticas distintas de cada ano. Em 2023, um ano com boas condições climáticas, com temperatura média de 21°C e precipitação acumulada de 200 mm desde o plantio até a colheita, observou-se uma correlação positiva moderada (0.55) entre a altura de plantas e a presença de fitonematoides, uma correlação negativa moderada com o diâmetro (-0.56), positiva fraca com o vigor (0.36) e negativa muito fraca com a produtividade (-0.09).

Em contraste, em 2024, um ano marcado por baixa precipitação (84 mm) e temperaturas médias de 24°C, com máximas de até 32,26°C, as correlações foram mais intensas, positiva moderadamente forte com a altura (0.43), diâmetro (0.38) e positiva fraca com o vigor (0.14). Não houve dados de produtividade em 2024 devido à morte da cultura pela seca.

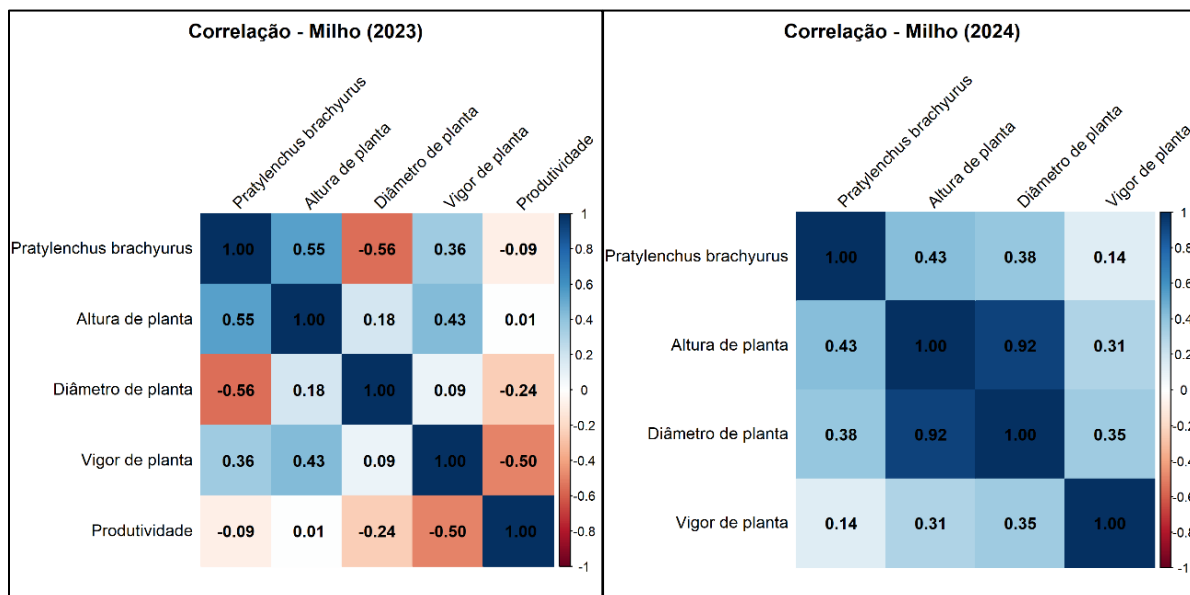


Figura 6: Correlação entre a presença de fitonematoides nas raízes e diversos fatores de desenvolvimento e produtividade de plantas de milho. Fazenda Barcelona, Guairá – SP, safras 2022-23 e 2023-24

A análise da correlação entre a presença de fitonematoides nas raízes e diversos fatores de crescimento das plantas de milho em 2023 e 2024 revela diferenças e semelhanças importantes, influenciadas pelas condições climáticas distintas de cada ano. Em 2023, um ano com boas condições climáticas com temperatura média de (21°C) e precipitação acumulada de (200 mm) desde o plantio até a colheita, observou-se uma correlação positiva moderada (0.55) entre a altura de plantas e a presença de fitonematoides. Em contraste, em 2024, um ano com baixa precipitação (84 mm) e temperaturas de (24°C) na média, mas com máximas de 32.26°C, essa correlação foi negativa fraca (-0.24).

Além disso, a correlação entre o diâmetro de plantas e a presença de fitonematoides foi negativa em ambos os anos, mais pronunciada em 2023 (-0.56) do que em 2024 (-0.33). A correlação entre o vigor de plantas e a presença de fitonematoides foi positiva fraca (0.36) em 2023, enquanto em 2024, essa correlação foi muito fraca (0.04), mostrando pouca relação entre esses fatores.

Por fim, a correlação entre a presença de fitonematoides e a produtividade em 2023 foi negativa muito fraca (-0.09), sem dados de produtividade para o ano de 2024.

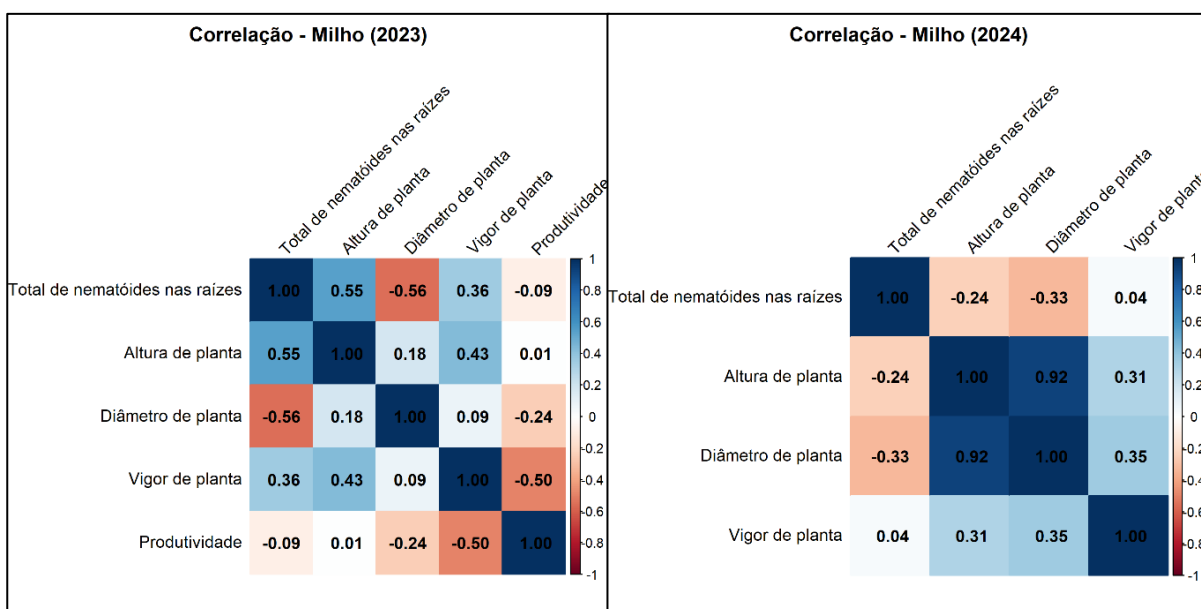


Figura 7: Correlação entre a presença de fitonematoides nas raízes e diversos fatores de desenvolvimento e produtividade de plantas de milho. Fazenda Barcelona, Guaíra – SP, safras 2023 e 2024.

3.3. Análise de correlações de fitonematoides e fatores ambientais

A análise conjunta das matrizes de correlação dos anos de 2023 e 2024 revela mudanças significativas na intensidade das relações entre variáveis climáticas e a densidade de fitonematoides radiculares, diretamente associadas às condições meteorológicas de cada período. Em 2023, sob maior precipitação (1000 mm) e temperaturas médias mais amenas (22°C), as correlações entre os fitonematoides e variáveis como temperatura mínima, umidade e precipitação foram moderadas (0.40), enquanto a correlação negativa com a velocidade do vento foi igualmente moderada (-0.40). Já em 2024, com menor precipitação (500 mm) e temperaturas médias mais elevadas (~26°C), essas correlações se intensificaram consideravelmente: os fitonematoides apresentaram correlação máxima com umidade média (1.0) e precipitação acumulada, T° mínima, máxima e média (0.80) e correlação negativa mais acentuada com o vento (-0.80).



Figura 8: Matriz de correlação entre a presença de fitonematoides nas raízes e as variáveis climáticas das safras 2022-23 e 2023-24. Fazenda Barcelona, Guaíra – SP

A análise das correlações entre fatores ambientais e a presença de fitonematoides nas raízes revela como diferentes condições climáticas influenciam a dinâmica desses parasitas. Essa análise foi construída com base em dados populacionais de fitonematoides nas raízes e em informações climáticas referentes às safras de 2022/23 e 2023/24. A temperatura mínima apresentou uma correlação positiva fraca (0.14), e a temperatura média mostrou uma correlação negativa fraca (-0.14). Em contraste, a temperatura máxima e a velocidade do vento apresentaram uma correlação negativa moderada (-0.48). A precipitação acumulada mostrou uma correlação positiva moderada (0.45) e a umidade média apresentou a correlação mais forte (0.81).

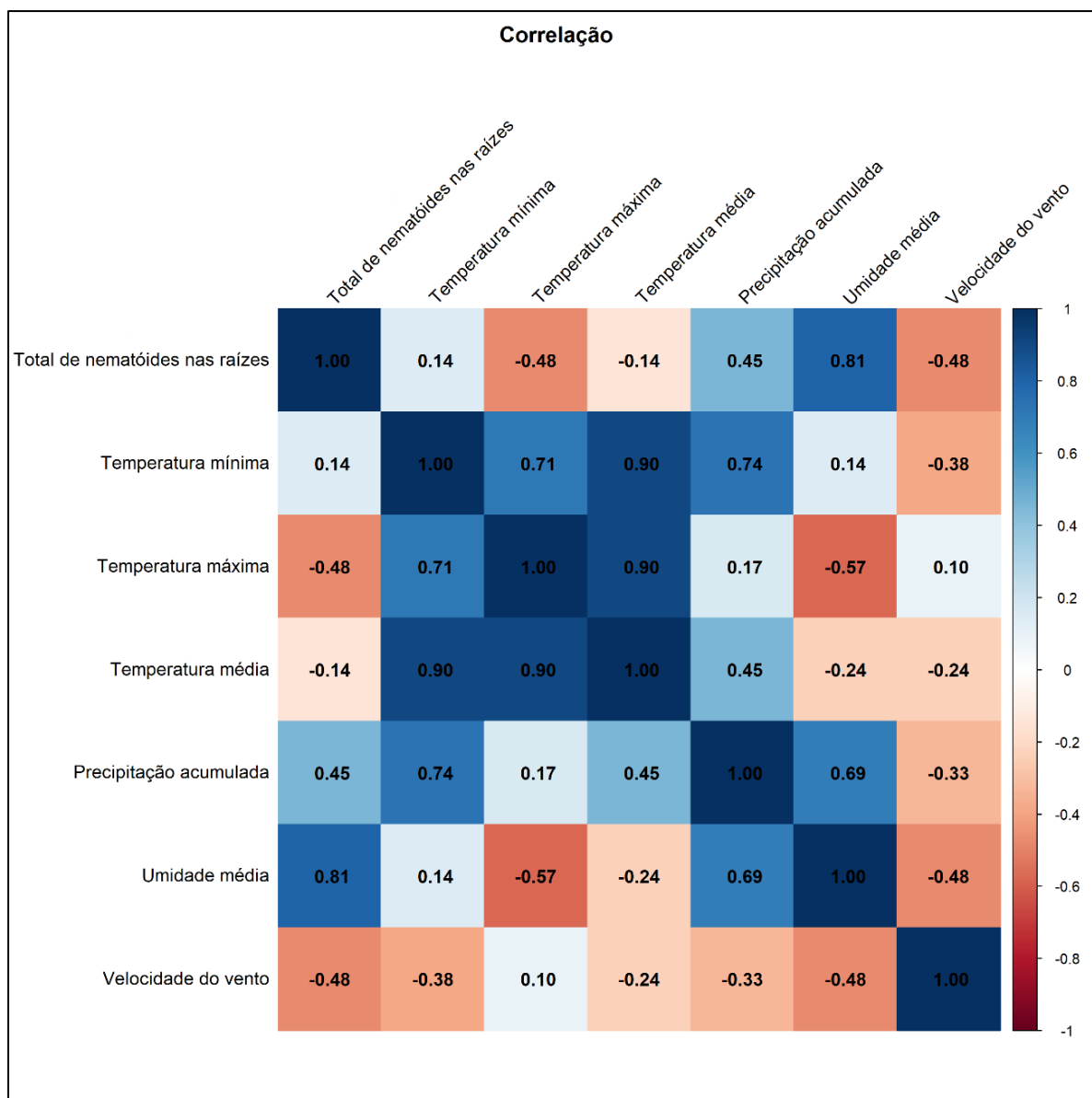


Figura 9: Matriz de correlação entre a presença de fitonematoides nas raízes e as variáveis climáticas das safras 2023 e 2024. Fazenda Barcelona, Guaíra – SP.

3.4. Análise de dispersão da umidade média do ar e a flutuação da população de fitonematoides nas raízes.

O gráfico mostra a relação entre a umidade média (%) e a densidade de fitonematoides nas raízes (logaritmo). No eixo x, temos a umidade média variando de

40% a 90%, e no eixo y, a densidade de fitonematoides variando de 9.5 a 10.5 (logaritmo).

O gráfico de dispersão demonstra é que existe uma relação positiva entre a umidade média do solo e a densidade de fitonematoides nas raízes (logaritmo). À medida que a umidade média aumenta, a densidade de fitonematoides também tende a aumentar. A linha de regressão indica que aproximadamente 60% da variação na densidade de fitonematoides pode ser explicada pela umidade atmosférica.

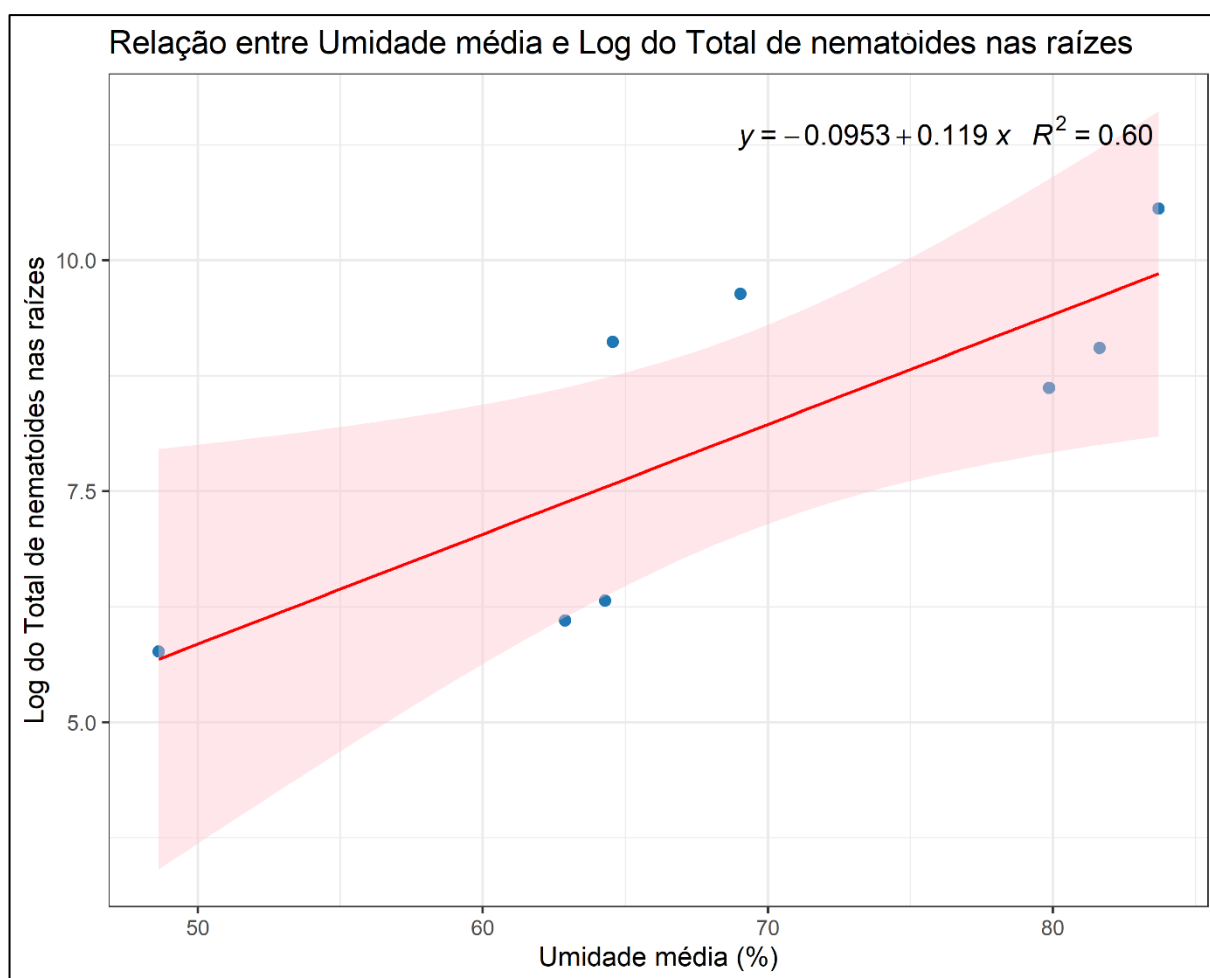


Figura 10: Relação entre umidade média do ar e a densidade de fitonematoides nas raízes nas safras 2022-23 e 2023-24. O valor de R^2 é 0.60, indicando que aproximadamente 60% da variabilidade na densidade de fitonematoides pode ser explicada pela umidade média. Fazenda Barcelona, Guaíra – SP.

4. DISCUSSÃO

Os resultados obtidos neste estudo demonstram que a influência dos fitonematoides sobre o desenvolvimento das culturas de soja e milho variou significativamente entre os anos agrícolas de 2023 e 2024, em função das condições climáticas, especialmente da umidade relativa do ar.

Na safra de soja de 2023, caracterizada por maior precipitação e umidade relativa elevada, observou-se que a presença de fitonematoides não comprometeu severamente o crescimento das plantas. Houve correlações positivas moderadas entre a densidade de fitonematoides nas raízes e a altura das plantas de soja, bem como com o diâmetro do caule. Esse comportamento pode ser explicado por estudos como os de Evans & Haydock (2000) e Norton (1979), que apontam que, em ambientes com boa disponibilidade hídrica, as plantas conseguem compensar os danos causados pelos fitonematoides, mantendo crescimento vegetativo próximo ao normal.

A análise das correlações entre a densidade de fitonematoides radiculares e variáveis climáticas nos anos de 2023 e 2024 evidencia uma mudança significativa na influência dos fatores meteorológicos sobre a dinâmica desses organismos. Em um ano com condições mais amenas e úmidas, a relação entre o clima e a presença de fitonematoides foi moderada, indicando que, embora o ambiente tenha contribuído para sua ocorrência, não foi o principal fator determinante. Por outro lado, em um cenário marcado por estresse hídrico e térmico, as correlações se intensificaram, revelando que a limitação hídrica e o aumento das temperaturas potencializam a influência do clima sobre a infestação por fitonematoides. Além disso, a interação entre variáveis como velocidade do vento e umidade ambiental também se mostrou mais acentuada em condições adversas, sugerindo que o microclima pode desempenhar papel relevante na sobrevivência e dispersão dos fitonematoides.

Embora a umidade do solo não tenha sido medida diretamente, a umidade relativa do ar é um fator climático que influencia fortemente a dinâmica hídrica do solo. Segundo Seneviratne et al. (2010), há uma relação direta entre a umidade do ar e a

umidade do solo, mediada pela evapotranspiração. Em ambientes tropicais, como o da área experimental, essa relação é ainda mais pronunciada. Vereecken et al. (2008) reforçam que a umidade relativa elevada reduz a taxa de evaporação, contribuindo para a manutenção da umidade no solo. Além disso, Betts et al. (2007) destacam que a umidade relativa pode ser utilizada como intermediário para estimar a umidade do solo em modelos climáticos e agrícolas. No contexto da biologia do solo, Nielsen et al. (2014) e Franco et al. (2019) demonstraram que a umidade relativa do ar está correlacionada com a umidade do solo e afeta diretamente a estrutura das comunidades de fitonematoides.

Os dados indicam que *Heterodera glycines* teve impacto agrônômico mais severo em 2023, mesmo sob condições climáticas favoráveis (24 °C e 770 mm de chuva), com correlações moderadamente negativas com altura, diâmetro e vigor de plantas. *Meloidogyne spp.* apresentou efeitos mais moderados nesse mesmo ano. Em 2024, sob clima adverso (28 °C e 390 mm), ambas as espécies mostraram correlações negativas menos intensas e mais homogêneas, sugerindo que o estresse hídrico e térmico reduziu a capacidade da planta de responder de forma diferenciada às espécies. Isso indica que as condições ambientais influenciam não apenas o desempenho da cultura, mas também a expressão dos efeitos dos fitonematoides.

Analisado a relação da população total, na safra de soja de 2024, sob condições adversas de baixa precipitação e umidade relativa do ar reduzida, os efeitos negativos dos fitonematoides foram intensificados. A correlação entre a presença de fitonematoides e a altura das plantas de soja foi ainda mais forte ($r = 0.78$), enquanto o diâmetro do caule apresentou correlação negativa significativa ($r = -0.76$). Esses achados estão alinhados com os estudos de Ferraz et al. (2010) e Dias-Arieira et al. (2010), que mostram que infecções por *P. brachyurus* e *Meloidogyne spp.* reduzem tanto a altura quanto o diâmetro do caule, especialmente em solos arenosos e sob estresse hídrico.

A redução da altura das plantas de soja em resposta à infecção por *M. incognita* também foi descrita por McClure (1977), que introduziu o conceito de “sumidouro metabólico”, no qual as células gigantes formadas nas raízes desviam assimilados da

parte aérea, comprometendo o crescimento. Estudos mais recentes, como os de Silva et al. (2019), Wu et al. (2020) e Xiang et al. (2017a), confirmam que a infecção por *M. incognita* reduz significativamente a altura de plantas de tomate, soja e algodão, mesmo em condições controladas.

A análise das correlações entre o nematoide *Pratylenchus brachyurus* e variáveis climáticas nos anos de 2023 e 2024 evidencia que o impacto das condições meteorológicas sobre sua dinâmica varia conforme o ambiente. Em 2023, sob clima mais ameno e úmido, a influência do clima foi moderada, sugerindo menor pressão ambiental sobre a infestação. Já em 2024, com estresse hídrico e térmico mais acentuado, as correlações se intensificaram, indicando que fatores como baixa umidade e altas temperaturas potencializam os danos da ocorrência e a atividade de parasitismo na planta.

As análises da população total cultura do milho segue a mesma tendência evidenciando que em 2023, também sob boas condições climáticas, observou-se correlação positiva moderada ($r = 0.55$) entre a presença de fitonematoides e a altura das plantas, sugerindo que o crescimento não foi severamente comprometido. No entanto, o diâmetro do caule do milho apresentou correlação negativa ($r = -0.56$), indicando que mesmo em boas condições, os fitonematoides podem afetar a estrutura da planta. Já em 2024, com menor umidade relativa do ar, a correlação entre altura e presença de fitonematoides foi negativa ($r = -0.24$), e o vigor das plantas foi visivelmente reduzido.

Do ponto de vista fisiológico, Dropkin (1980) foi um dos primeiros a descrever como os nematoides afetam a fisiologia vegetal, destacando alterações hormonais e redução da fotossíntese. Sijmons et al. (1991) complementaram esse entendimento ao mostrar que a infecção altera a expressão gênica e reprograma o metabolismo celular da planta hospedeira. Já Hussey & Williamson (1998) explicaram que os nematoides secretam efetores que induzem a formação de células gigantes, interferindo no transporte de nutrientes e no crescimento da parte aérea.

A redução do diâmetro do caule observada em ambas as culturas em 2024 também pode ser explicada pelos achados de Carneiro et al. (2006) e Goulart (2008),

que relataram que infecções por *H. glycines* e *Pratylenchus* spp. causam necroses radiculares e comprometem o desenvolvimento do caule. Castillo & Vovlas (2007) reforçam que o dano causado por *Pratylenchus* spp. afeta diretamente a arquitetura da planta, com impacto no diâmetro e na robustez do caule.

Esses resultados reforçam a importância de considerar o ambiente como um modulador da interação planta-nematoide. Em condições favoráveis, como as observadas em 2023, os efeitos do parasitismo podem ser atenuados, mas em cenários de estresse climático, como em 2024, os danos são potencializados, exigindo estratégias de manejo mais integradas e adaptativas.

5. CONCLUSÕES

As variações na umidade relativa do ar influenciaram diretamente a densidade de fitonematoides e o desenvolvimento das culturas de soja e milho. Em 2023, com clima mais úmido, os efeitos dos fitonematoides foram atenuados, enquanto em 2024, sob condições mais secas, houve maior impacto negativo no crescimento e produtividade das plantas. A forte correlação entre umidade e densidade de fitonematoides ($R^2 = 0,60$) destaca a importância do monitoramento climático e do manejo integrado para reduzir perdas em cenários de estresse ambiental.

6. AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) e a Corteva Agriscience do Brasil.

7. REFERÊNCIAS

- Aphalo, P. J. (2025). ggpmisc: Miscellaneous Extensions to 'ggplot2' (Versão 0.6.2.9001) [Pacote R]. <https://docs.r4photobiology.info/ggpmisc/>. Acessado em 20 de outubro de 2025.
- Bardgett, R. D.; Van Der Putten, W. H. Belowground biodiversity and ecosystem functioning. **Nature**, v. 515, n. 7528, p. 505–511, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1038/nature13855>
- Barker, K. R.; Koenning, S. R. Developing damage functions for nematodes. In: **Nematology: Advances and Perspectives**, v. 2, p. 541–565, 1998.
- Betts, R. A. et al. Projected increase in continental runoff due to plant responses to increasing carbon dioxide. **Nature**, v. 448, p. 1037–1041, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1038/nature06045>
- Bird, D. M.; Kaloshian, I. Are roots special? Nematodes have their say. **Physiological and Molecular Plant Pathology**, v. 62, p. 115–123, 2003. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0885-5765\(03\)00045-6](https://doi.org/10.1016/S0885-5765(03)00045-6)
- Blankinship, J. C. et al. A meta-analysis of responses of soil biota to global change. **Oecologia**, v. 165, p. 553–565, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00442-011-1909-0>
- Carneiro, R. M. D. G. et al. Reação de genótipos de soja a Heterodera glycines. **Nematologia Brasileira**, v. 30, n. 1, p. 1–6, 2006.
- Castillo, P.; Vovlas, N. **Pratylenchus (Nematoda: Pratylenchidae): Diagnosis, Biology, Pathogenicity and Management**. Leiden: Brill, 2007. 529 p.
- Dias-Arieira, C. R. et al. Reação de cultivares de soja a *Pratylenchus brachyurus*. **Nematologia Brasileira**, v. 34, n. 2, p. 123–128, 2010.

Dropkin, V. H. **Introduction to Plant Nematology**. New York: **Wiley-Interscience**, 1980. 293 p.

Eisenhauer, N. et al. Global change effects on soil animals. **Global Change Biology**, v. 18, p. 2733–2749, 2012.

Evans, K.; Haydock, P. P. J. A review of damage thresholds for nematodes on potatoes. **Annals of Applied Biology**, v. 137, p. 1–9, 2000.

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. **FAOSTAT**. Disponível em: <https://www.fao.org/faostat> . Acesso em: 20/06/25

FAO & ITPS. (2015). Status of the World's Soil Resources (SWSR) – Main Report. Food and Agriculture Organization of the United Nations and Intergovernmental Technical Panel on Soils. Rome, Italy. Disponível em <http://www.fao.org/3/a-i5199e.pdf>

Ferraz, S. et al. **Manejo sustentável de nematoides**. Viçosa: **UFV**, 2010. 306 p.

Franco, A. L. C. et al. Extreme drought and rainfall alter soil nematode communities in a tropical forest. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 132, p. 28–35, 2019.

Goulart, A. M. C. **Aspectos gerais sobre nematoides-das-lesões-radiculares (gênero *Pratylenchus*)**. Planaltina: **Embrapa Cerrados**, 2008.

Haider, S. et al. Molecular mechanisms of plant tolerance to heat stress: current landscape and future perspectives. **Plant Cell Reports**, v. 40, p. 2247–2271, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00299-021-02696-3>

Hussey, R. S.; Williamson, V. M. Physiological and molecular aspects of nematode parasitism. **Plant and Soil**, v. 200, p. 91–101, 1998.

Jones, J. T. et al. Top 10 plant-parasitic nematodes in molecular plant pathology. **Molecular Plant Pathology**, v. 14, n. 9, p. 946–961, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1111/mpp.12057>

Kloepper, J. W. et al. Induced systemic resistance and promotion of plant growth by *Bacillus* spp. **Phytopathology**, v. 94, p. 1259–1266, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1094/PHYTO.2004.94.11.1259>

- Lahm, G. P. et al. The discovery of Fluazaindolizine: A new product for the control of plant parasitic nematodes. **Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters**, v. 27, p. 1572–1575, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bmcl.2017.02.029>
- McClure, M. A. *Meloidogyne incognita*: a metabolic sink. **Journal of Nematology**, v. 9, n. 2, p. 88–90, 1977. DOI: <https://doi.org/10.1093/jofnem/9.2.88>
- Mitchum, M. G. et al. Frequency of occurrence of Heterodera glycines types, Meloidogyne spp., and eight other nematode taxa associated with soybeans in Georgia. **Plant Health Progress**, v. 24, p. 214–220, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1094/PHP-09-22-0096-S>
- Nascimento, A. M., Silva, J. R., & Oliveira, M. F. (2013). Correlação de Spearman na análise de dados não paramétricos em estudos agronômicos. **Revista Brasileira de Estatística Aplicada**, 2(1), 45–52.
- Nicol, J. M. et al. Current nematode threats to world agriculture. In: Jones, J.; Gheysen, G.; Fenoll, C. (Eds.). **Genomics and Molecular Genetics of Plant-Nematode Interactions**. Springer, 2011. p. 21–43. DOI: https://doi.org/10.1007/978-94-007-0434-3_2
- Nielsen, U. N. et al. Global-scale patterns of assemblage structure of soil nematodes in relation to climate and ecosystem properties. **Global Ecology and Biogeography**, v. 23, p. 968–978, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1111/geb.12177>
- Norton, D. C. **Ecology of Plant-Parasitic Nematodes**. New York: Wiley-Interscience, 1979. 268 p.
- Paula, G. A. (2010). **Modelos de regressão com dados transformados**. São Paulo: Editora Blucher.
- R Core Team. (2024). **R: A language and environment for statistical computing** [Computer software]. <https://www.r-project.org/>. Acessado em 29 de agosto de 2025.
- Sasser, J. N.; Freckman, D. W. A world perspective on nematology: the role of the society. In: Veech, J. A.; Dickson, D. W. (Eds.). **Vistas on Nematology**. Hyattsville: **Society of Nematologists**, 1987. p. 7–14.

Seneviratne, S. I. et al. Investigating soil moisture–climate interactions in a changing climate: a review. **Earth-Science Reviews**, v. 99, p. 125–161, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2010.02.004>

Sijmons, P. C. et al. *Arabidopsis thaliana* as a new model host for plant-parasitic nematodes. **The Plant Journal**, v. 1, n. 2, p. 245–254, 1991. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-313X.1991.00245.x>

Silva, J. D. O. et al. Efficacy of new nematicides for managing *Meloidogyne incognita* in tomato crop. **Journal of Phytopathology**, v. 167, p. 295–299, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1111/jph.12798>

Sousa, R. O. (2019). Aplicação da correlação de Spearman em dados agronômicos com distribuição não normal. **Caderno de Estatística Aplicada**, 7(2), 33–40.

Thoden, T. C.; Wiles, J. A. Biological attributes of Salibro™, a novel sulfonamide nematicide. **Nematology**, v. 21, p. 625–639, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1163/15685411-00003240>

Vandeghechuchte, M. L. et al. Responses of nematode communities to increased rainfall variability are determined by community composition. **Oecologia**, v. 177, p. 847–859, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00442-014-3151-2>

Vereecken, H. et al. On the spatio-temporal dynamics of soil moisture at the field scale. **Journal of Hydrology**, v. 340, p. 183–196, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2007.04.013>

Wardle, D. A. et al. Ecological linkages between aboveground and belowground biota. **Science**, v. 304, p. 1629–1633, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.1094875>

Wei, T., & Simko, V. (2024). corrplot: Visualization of a Correlation Matrix (Versão 0.95) [Pacote R]. <https://github.com/taiyun/corrplot>. Acessado em 20 de outubro de 2025.

Wickham, H. (2016). ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis (2ª ed.). **Springer-Verlag** New York. <https://ggplot2.tidyverse.org>. Acessado em 20 de outubro de 2025.

Williamson, V. M.; Kumar, A. Nematode resistance in plants: the battle underground. **Trends in Genetics**, v. 22, n. 7, p. 396–403, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tig.2006.05.003>

Winter, M., & Lôbo, R. N. B. (2018). Transformações logarítmicas em dados de contagem: implicações para análise de regressão. **Revista de Métodos Quantitativos**, 9(1), 21–35.

Wu, H. Y. et al. Fluazaindolizine mitigates plant-parasitic nematode activity at sublethal dosages. **Journal of Pest Science**, v. 94, p. 573–583, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10340-020-01262-2>

Xiang, N. et al. Biological control of *Meloidogyne incognita* by spore-forming plant growth-promoting rhizobacteria on cotton. **Plant Disease**, v. 101, p. 774–784, 2017.