UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

MARIA GABRIELA DE SOUSA CERQUEIRA

USO DE MICRORGANISMOS PARA CONTROLE DE FITONEMATOIDES

CURITIBA/PR

2024

MARIA GABRIELA DE SOUSA CERQUEIRA

USO DE MICRORGANISMOS PARA CONTROLE DE FITONEMATOIDES

Trabalho de Conclusão apresentado ao curso de Pós-Graduação Lato Sensu em Fitossanidade, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Especialista em Fitossanidade.

Orientador: Prof. Dr. Elizeu Junior da Silva

CURITIBA/PR

2024

AGRADECIMENTOS

À Deus pela minha vida e por me dar sabedoria, saúde e discernimento para executar este trabalho.

Aos meus pais e meu irmão, em especial à minha mãe por torcer, acreditar e sempre orar para que tudo ocorra da melhor forma.

Ao meu esposo Hiago Cerqueira e minha filha Sarah Cerqueira por acreditarem em mim e me ajudarem sempre.

Aos professores e tutoria pelas correções e ensinamentos que me permitiram apresentar um melhor desempenho no meu processo de formação.

RESUMO

Os fitonematoides, como *Meloidogyne spp.* (nematoide das galhas), *Pratylenchus spp.* (nematoide das lesões radiculares) e *Heterodera glicynes* (nematoide do cisto da soja) representam uma ameaça significativa à cultura da soja, ocasionando perdas de produtividade e comprometendo a qualidade do cultivo. O objetivo deste trabalho é analisar as principais alternativas para o controle desses fitonematoides, com foco no controle biológico e no mercado de bioinsumos. Estes nematoides causam danos ao sistema radicular das plantas, prejudicando a absorção de água e nutrientes, o que leva à redução no crescimento e na produção. O controle eficaz desses fitonematoides é essencial para garantir a viabilidade econômica da soja no Brasil, um dos maiores produtores mundiais dessa cultura. Diversos métodos de controle têm sido empregados para mitigar os impactos causados pelos fitonematoides, sendo os mais comuns o uso de cultivares resistentes, rotação de culturas, tratamentos químicos e manejo cultural. Entretanto, a crescente preocupação com os impactos ambientais e a saúde humana tem levado à busca por alternativas mais sustentáveis. Nesse contexto, o controle biológico se destaca como uma opção promissora. O uso de microrganismos benéficos, como bactérias e fungos nematófagos, tem mostrado resultados positivos na redução das populações de fitonematoides, além de minimizar os danos à saúde do solo e aos ecossistemas. O mercado brasileiro de bioinsumos e bionematicidas tem apresentado forte crescimento, impulsionado pela demanda por soluções sustentáveis no manejo agrícola. O desenvolvimento de bionematicidas, como parte do controle biológico, oferece benefícios como menor impacto ambiental, segurança para os aplicadores e a possibilidade de integrar com outras estratégias de manejo. A combinação dessas abordagens no manejo integrado de fitonematoides pode resultar em uma prática mais eficiente e ambientalmente responsável. Portanto, o controle biológico e o uso de bionematicidas são ferramentas essenciais para o manejo sustentável dos fitonematoides na cultura da soja, promovendo não só a produtividade, mas também a preservação do meio ambiente. A contínua pesquisa e o desenvolvimento de novas tecnologias são fundamentais para a ampliação da aplicação desses métodos no campo.

Palavras-chave: Controle biológico, fitonematoides, microrganismos, nematoides, sustentabilidade, bionematicidas, soja.

ABSTRACT

Root-knot nematodes (*Meloidogyne spp.*), root-lesion nematodes (*Pratylenchus spp.*), and soybean cyst nematodes (*Heterodera glycines*) pose significant threats to soybean crops, causing yield losses and compromising crop quality. The objective of this study is to analyze the main alternatives for controlling these plant parasitic nematodes, focusing on biological control and the bioinput market. These nematodes damage the root system of plants, impairing water and nutrient absorption, leading to reduced growth and production. Effective control of these nematodes is essential for ensuring the economic viability of soybean production in Brazil, one of the largest producers of this crop globally. Various control methods have been employed to mitigate the impacts caused by nematodes, with the most common being the use of resistant cultivars, crop rotation, chemical treatments, and cultural practices. However, growing concerns about environmental impacts and human health have driven the search for more sustainable alternatives. In this context, biological control stands out as a promising option. The use of beneficial microorganisms, such as nematophagous bacteria and fungi, has shown positive results in reducing nematode populations while minimizing soil health damage and ecosystem disruption. The Brazilian bioinput and bionematicide market has shown strong growth, driven by the demand for sustainable solutions in agricultural management. The development of bionematicides as part of biological control offers benefits such as reduced environmental impact, safety for applicators, and the possibility of integrating with other management strategies. Combining these approaches in integrated nematode management can result in more efficient and environmentally responsible practices. Therefore, biological control and the use of bionematicides are essential tools for the sustainable management of nematodes in soybean cultivation, promoting not only productivity but also environmental preservation. Ongoing research and the development of new technologies are key to expanding the application of these methods in the field.

Keywords: Biological control, phytonematodes, microorganisms, nematodes, sustainability, bionematicides, soybean.

Sumário

1 INTRODUÇÃO 8
2 FITONEMATOIDES NA CULTURA DA SOJA 9
2.1 NEMATOIDE DAS GALHAS (*MELOIDOGYNE* SPP.) 10
2.2 NEMATOIDE DAS LESÕES RADICULARES (*PRATYLENCHUS* SPP.) 11
2.3 NEMATOIDE DO CISTO DA SOJA (*HETERODERA GLYCINES*) 12
3 METODOS DE CONTROLE DE FITONEMATOIDES 13
4 CONTROLE BIOLÓGICO DE FITONEMATOIDES 15
5 MERCADO BRASILEIRO DE BIOINSUMOS/BIONEMATICIDAS/CONTROLE BIOLÓGICO DE FITONEMATOIDES 17
CONSIDERAÇÕES FINAIS 19
REFERENCIAS 20

1 INTRODUÇÃO

A soja é um dos grãos mais importantes da agricultura nos dias de hoje, sendo tradicionalmente cultivada no verão devido suas exigências climáticas e fisiológicas. Mesmo sua origem sendo datada de milênios, há relatos de sua existência em 1882 já no Brasil, porém sendo marcada em 1901 pelos início dos cultivos na Estação Agropecuária de Campinas.

Segundo dados do USDA/PSD (06/2023), no mundo hoje temos uma produção de soja de 369,029 milhões de toneladas em uma área plantada de 136,029 milhões de hectares. Um levantamento da CONAB realizado em junho de 2023 no Brasil mostrou que temos uma produção de 154.566,3 milhões de toneladas em uma área de 44.062,6 milhões de hectares plantados.

Apesar de ser uma cultura que passou por vários processos de adaptação e desenvolvimento tecnológico para se tornar um pilar da economia nacional, a soja ainda sofre com algumas intempéries durante o seu ciclo de vida; sendo os problemas fitossanitários os mais recorrentes, dos quais os nematoides merecem destaque.

Nematoides podem comprometer a produtividade e a rentabilidade da cultura, pois são vermes microscópicos que podem colonizar principalmente as raízes das plantas. No sistema radicular, absorvem água e nutrientes das plantas prejudicando o seu desenvolvimento. Na cultura da soja os nematoides podem provocar crescimento reduzido das plantas, abortamento de vagens, necrose das folhas e drástica queda na produção. Todas essas variáveis dependem da espécie do nematoide e o grau de infestação.

Tendo em vista a agressividade de algumas espécies e os danos causados, medidas de controle podem ser adotadas. Essas estratégias podem ser o controle químico, biológico, rotação de culturas e uso de variedades resistentes. Porém, é importante lembrar que além dessas estratégias é essencial o manejo adequado da lavoura, antes, durante e após o estabelecimento da cultura, integrando os diferentes métodos quando possível.

O objetivo do presente trabalho é realizar um levantamento bibliográfico sobre o uso de microrganismos para controle de fitonematoides.

2 FITONEMATOIDES NA CULTURA DA SOJA

A soja (*Glycine max* L.), pertencente à família Fabaceae, é uma planta herbácea anual de germinação epígea, com crescimento que pode ser determinado, semideterminado ou indeterminado, e hastes e vagens de coloração cinza ou marrom (Matsuo et al., 2015). Reconhecida como uma das culturas mais produzidas e consumidas globalmente, seu cultivo remonta a mais de cinco mil anos na China, sendo considerada originária do Leste Asiático, com a região central da China identificada como núcleo genético secundário (Picolli, 2018; Tejo et al., 2019).

No Brasil, a introdução da soja ocorreu em 1882, na Bahia, por Gustavo D'Utra, com registros de testes em diferentes estados, o que foi essencial para sua consolidação no país (Bonato et al., 1987). A cultura encontrou condições ideais para o cultivo, como adaptação às variedades, possibilidade de rotação de culturas, mecanização, e mercados interno e externo favoráveis. Esses fatores impulsionaram investimentos em infraestrutura, armazenamento, processamento, transporte e exportação, promovendo o desenvolvimento de toda a cadeia produtiva (APROSOJA, 2021).

A soja destaca-se pelo alto valor nutricional e versatilidade. É a principal fonte de proteína no mundo, utilizada tanto na nutrição humana quanto animal, além de conter elevados teores de óleo, empregado na alimentação e na produção de biocombustíveis. Seu cultivo totalmente mecanizado, associado à uniformidade e padronização como commodity, permite sua ampla comercialização entre diferentes países (Hirakuri et al., 2014).

Atualmente, o Brasil é considerado o maior produtor e exportador de soja, com destaque para os estados de Mato Grosso, Rio Grande do Sul, Paraná, Goiás e Mato Grosso do Sul (Hirakuri et al., 2014; Monteiro et al., 2022). A produção em 2021/22 atingiu 124,047 milhões de toneladas em uma área de 40,950 milhões de hectares, apesar de uma redução de 10,2% em comparação à safra anterior, compensada por um aumento de 4,5% na área cultivada (CONAB, 2022). Na região Centro-Oeste, a expansão da cultura no Cerrado deve-se às adaptações realizadas, como o desenvolvimento de variedades resistentes e produtivas, o uso de maquinário moderno e a adoção do plantio direto (Borlachenco et al., 2017; Seixas et al., 2020).

Para alcançar alta produtividade, é necessário combinar fatores como sementes de alta qualidade, adubação adequada, manejo correto do solo, controle

fitossanitário e o uso de tecnologias avançadas (França et al., 2016). Avanços em biotecnologia, como o desenvolvimento de variedades geneticamente modificadas e precoces, têm contribuído significativamente para o aumento da eficiência produtiva (Dall'agnol, 2019).

Um dos principais desafios no cultivo da soja é o manejo de fitonematoides, como os nematoides de galha (*Meloidogyne spp.*), lesões radiculares (*Pratylenchus spp.*) e cistos (*Heterodera glycines*), que afetam o desenvolvimento radicular e a absorção de nutrientes e água, reduzindo a produtividade (Dias et al., 2010). Estratégias de manejo integrado, incluindo controle biológico e práticas culturais, têm demonstrado eficácia na mitigação desses impactos.

2.1 Nematoide das galhas (*Meloidogyne* spp.)

Os nematoides do gênero *Meloidogyne* spp. possuem ampla distribuição geográfica e atacam diversas culturas, tornando-se patógenos de grande relevância econômica (Taylor; Sasser, 1983; AGRIOS, 2005). Frequentemente interagem com outros microrganismos patogênicos do solo, formando complexos de doenças que dificultam o controle e resultam em quedas significativas na produção agrícola (FERRAZ, 2001; STROZE, 2012).

Dentre as espécies mais importantes, destacam-se *M. incognita*, *M. javanica* e *M. arenaria* (Carneiro e Almeida, 2001). Esses nematoides apresentam parasitismo característico, formando células gigantes no córtex, endoderme e parênquima vascular das raízes do hospedeiro (Trudgill e Blok, 2001).

O nome *Meloidogyne* deriva do grego e significa "fêmea com formato de maçã" devido à morfologia adquirida pelas fêmeas maduras (Ruppert, Fox, Barnes, 2005). Esses nematoides são endoparasitas sedentários obrigatórios que atacam o sistema radicular, formando galhas e causando grandes perdas econômicas (Williamson e Gleason, 2003; Weischer e Brown, 2001).

Em temperaturas entre 25 e 30°C, seu ciclo de vida dura de 22 a 30 dias (Ferraz, 2001). O ciclo inicia-se com a fêmea depositando até 500 ovos nas raízes, de onde emergem juvenis de segundo estádio (J2), que perfuram as raízes para estabelecer um sítio de alimentação (Abad et al., 2009).

Os J2s são atraídos pelos exsudatos radiculares e penetram nas raízes por meio do estilete, selecionando células para alimentação e induzindo alterações

metabólicas no hospedeiro (Huang, 1985; Pedrosa, Hussey e Boerma, 1996). O estilete também injeta substâncias das glândulas esofagianas, modificando células ao redor dos vasos condutores (Bird e Kaloshian, 2003; Fuller, Lilley e Urwin, 2008).

O sítio de alimentação age como um filtro de assimilados vegetais, possuindo alta atividade metabólica para o desenvolvimento do nematoide. Durante o crescimento, os juvenis passam por três mudas até se tornarem adultos, com as fêmeas permanecendo nas raízes e os machos migrando para o solo (Tihohod, 1993; Noe, 2004).

A reprodução ocorre preferencialmente por partenogênese, mas pode haver dimorfismo sexual em condições adversas (Whitehead, 1997). Os machos, vermiformes e não parasitas, saem das raízes, enquanto as fêmeas globosas permanecem parasitando a planta (Mendonça, 2016).

Os danos causados pelos nematoides incluem migração e obstrução dos vasos vasculares, reduzindo a absorção de água e nutrientes (Sijmons, 1993), afetando a produtividade (FERRAZ; MONTEIRO, 1995). O manejo é desafiador, sendo a rotação de culturas e o controle biológico alternativas sustentáveis e eficientes (Stirling, 1991; Machado et al., 2013).

2.2 **Nematoide das lesões radiculares (*Pratylenchus* spp.)**

Os nematoides das lesões radiculares, do gênero *Pratylenchus*, são amplamente reconhecidos como pragas de culturas economicamente relevantes, como soja, milho, algodão e café. Globalmente, existem 68 espécies descritas, parasitando diversas plantas (Castillo e Vovlas, 2007). No Brasil, *P. brachyurus, P. zeae e P. coffeae* destacam-se pelos danos econômicos e ampla distribuição.

Esses nematoides são endoparasitas migradores que se alimentam do conteúdo celular do córtex radicular, causando necroses e favorecendo a entrada de patógenos secundários (Lordello, 1984; Machado, 2019). Diferente dos nematoides sedentários, P. brachyurus não é controlado por resistência via hipersensibilidade, exigindo mecanismos pós-infeccionais para limitar seu desenvolvimento (Machado, 2019; Ferraz, 2006; Freitas et al., 2001; Dinardo-Miranda, 2005).

O ciclo de vida de *Pratylenchus* é rápido, com várias gerações em uma única safra. A fêmea deposita ovos no solo ou nas raízes, completando seu ciclo em 3 a 4

semanas, dependendo de fatores como temperatura e umidade (Loof, 1991; Tihohod, 1997; Ferraz e Monteiro, 1995; Castillo e Vovlas, 2007).

Nos últimos anos, os danos causados por esses nematoides aumentaram, especialmente no Cerrado, em culturas como soja e milho. Esse crescimento parece estar associado a fatores como monocultura, plantio direto e compactação do solo (Dias et al., 2010; Goulart, 2008). Além disso, até o momento, não há cultivares de soja resistentes a P. brachyurus, ao contrário de outros nematoides como os de cisto e galha (Machado, 2019).

No Brasil, *P. brachyurus* é o fitonematoide mais frequente em áreas de soja e algodão do Cerrado, podendo reduzir a produtividade em até 30% (Ribeiro et al., 2010; Silva et al., 2004; Dias et al., 2010).

2.3 **Nematoide do cisto da soja (*Heterodera glycines*)**

Os nematoides do gênero *Heterodera* pertencem à família Heteroderidae e são caracterizados pela formação de cistos, estruturas de resistência que permitem sua sobrevivência em condições adversas (Ali et al., 2015). As fêmeas, de coloração amarelada e formato oval, aderem às raízes das plantas, dificultando sua movimentação no solo. Durante o ciclo reprodutivo, elas depositam ovos, que podem permanecer dentro do cisto ou ser liberados na superfície das raízes, facilitando a dispersão do patógeno (Cares e Baldwin, 1995).

Os cistos, além de protegerem os ovos, tornam-se agentes eficientes de disseminação, sendo transportados por máquinas agrícolas, veículos, vento e solo contaminado. Cada cisto pode conter cerca de 200 ovos, e sua resistência à deterioração contribui para o aumento populacional do nematoide em áreas infestadas (Dias et al., 2010).

O ciclo de vida do *Heterodera glycines* dura entre 21 e 24 dias, dependendo das condições ambientais. A eclosão ocorre no interior do cisto, dando origem a juvenis de segundo estágio (J2), que penetram nas raízes e estabelecem sítios de alimentação, conhecidos como sincícios. Enquanto as fêmeas permanecem fixas às raízes e continuam seu desenvolvimento, os machos retornam ao solo e morrem após a fertilização (Taylor, 1971).

Os sintomas da infestação incluem redução no crescimento e clorose das plantas, caracterizando o "nanismo amarelo da soja". No entanto, em solos férteis e

com boa disponibilidade hídrica, a cultura pode não apresentar sinais visíveis, embora haja queda na produtividade (Guarnieri, 2018).

A variabilidade genética de *H. glycines* dificulta o controle do nematoide, reduzindo a eficiência de cultivares resistentes. No Brasil, já foram identificadas 11 raças, sendo que algumas, como 4+ e 14+, apresentam capacidade de parasitar cultivares antes consideradas resistentes (Dias et al., 2010; Carneiro, 2022).

Devido à ausência de sintomas evidentes em algumas áreas, a diagnose incorreta pode levar a perdas superiores a 20% na produtividade da soja. O manejo inadequado favorece o aumento da população do nematoide, agravando o problema ao longo dos anos (Ferreira et al., 2019).

3 METODOS DE CONTROLE DE FITONEMATOIDES

A presença de fitonematoides em áreas agrícolas é uma preocupação significativa, pois, uma vez estabelecidos em solos explorados para cultivo, sua erradicação torna-se praticamente inviável. O ataque de nematoides pode resultar em perdas substanciais na produtividade, sendo um fator limitante para o sucesso de diversas culturas (Corte et al., 2014). A identificação das espécies presentes na área, juntamente com o entendimento de sua biologia, é fundamental para o desenvolvimento de estratégias eficazes de controle.

Segundo Ritzinger e Fancelli (2006), um manejo equilibrado, que combine diferentes métodos de controle, é essencial para reduzir os danos causados por esses parasitas e para manter a população de nematoides abaixo do limiar de dano econômico. Entre as abordagens recomendadas estão o uso de cultivares resistentes, a rotação de culturas e o controle biológico, que se destacam como ferramentas eficazes no manejo integrado dos fitonematoides.

A rotação de culturas é uma prática agrícola eficaz no controle de fitonematoides, pois interrompe o ciclo de vida desses parasitas, reduzindo sua população no solo. Ao alternar espécies de plantas que não são hospedeiras para os nematoides, diminui-se a oferta de alimento para esses organismos, o que contribui para sua diminuição. Segundo Oliveira et al. (2018), a rotação com cultivos não hospedeiros, como leguminosas e plantas que não servem como substrato para os nematoides, pode resultar em uma redução significativa nas populações de fitonematoides no solo, além de melhorar a saúde do solo e a produtividade das

culturas subsequentes. A eficácia da rotação depende da escolha correta das culturas, sendo essencial o planejamento adequado para que se evite o retorno dos nematoides a cada ciclo agrícola (Silva et al., 2017).

O uso de cultivares resistentes é uma das estratégias mais eficazes no controle de fitonematoides, visto que essas variedades apresentam características genéticas que dificultam a infecção e o desenvolvimento dos nematoides nas plantas. O cultivo de variedades resistentes pode reduzir significativamente a população de fitonematoides no solo, minimizando os danos às plantas e, consequentemente, as perdas de produtividade. Segundo Fancelli e Ritzinger (2006), o uso de cultivares resistentes deve ser parte de um manejo integrado, aliado a outras práticas de controle, para garantir sua eficácia a longo prazo, já que nematoides podem desenvolver resistência ao tempo. Além disso, a resistência genética pode ser combinada com outras técnicas, como a rotação de culturas, para otimizar o controle dos nematoides (Oliveira et al., 2020).

Já o controle químico de fitonematoides é uma das abordagens mais comuns, especialmente em situações de alta infestação, quando outras alternativas de manejo não são suficientes para controlar a população de nematoides. O uso de nematicidas pode proporcionar um controle imediato e eficaz, reduzindo rapidamente as populações de fitonematoides no solo e nos sistemas radiculares das plantas. No entanto, o uso excessivo e indiscriminado de produtos químicos pode levar à resistência dos nematoides e à degradação do meio ambiente, além de impactar negativamente organismos benéficos do solo. Segundo Souza et al. (2017), a aplicação de nematicidas deve ser cuidadosamente planejada, levando em consideração a dose e o momento adequado, para evitar danos ao ecossistema e garantir a eficácia do tratamento. Portanto, o controle químico deve ser integrado a outras práticas de manejo sustentável, como a rotação de culturas e o uso de cultivares resistentes, a fim de garantir o controle a longo prazo e a preservação da saúde do solo (Lima et al., 2019).

O controle biológico de fitonematoides é uma alternativa promissora e sustentável ao uso de produtos químicos, utilizando organismos vivos para reduzir as populações de nematoides no solo. Entre os agentes biológicos mais utilizados estão fungos, bactérias e nematoides antagonistas que parasitam ou competem com os fitonematoides, inibindo seu desenvolvimento e redução das infestações. Segundo

Silva et al. (2018), o fungo *Paecilomyces lilacinus* tem demonstrado grande potencial no controle de nematoides, sendo eficaz na degradação dos ovos e larvas desses organismos. Embora o controle biológico seja uma prática de longo prazo e exija um planejamento mais detalhado, ele se destaca sendo uma solução promissora para a agricultura moderna (Almeida et al., 2020).

4 CONTROLE BIOLÓGICO DE FITONEMATOIDES

O manejo de nematoides em áreas infestadas é desafiador e o controle biológico de nematoides com produtos à base de bactérias e fungos são uma importante ferramenta no Manejo Integrado para diversas culturas. Neste artigo serão abordados o crescimento do mercado de bionematicidas no Brasil e o modo de ação dos principais microrganismos com potencial de uso como princípio ativo.

O Brasil possui atualmente 62 bionematicidas comerciais disponíveis para uso (AGROFIT, 2023). São 14 produtos comerciais a mais do que havia a exatos dois anos atrás, de acordo com levantado por Machado (2022). No total são 14 agentes de controle biológico registrados (três a mais que em abril de 2021).

Para efeito de comparação existem 33 produtos químicos registrados como nematicidas no Brasil (AGROFIT, 2023). Prospecções futuras indicam que o mercado de produtos biológicos deve atingir R$ 3,7 bilhões no Brasil em 2030, valor que representa um crescimento de 107% em comparação com as vendas de 2021, de acordo com reportagem publicada pelo Globo Rural; sendo os nematicidas responsáveis por 35% desses valores. Para a soja, estima-se que mais de 2,5 milhões de hectares no Brasil foram tratados com bionematicidas na safra 2018/2019 (Dias 2020).

Diversos tipos de microrganismos têm demonstrado potencial no controle de fitonematoides: Bactérias do gênero *Bacillus* e *Pseudomonas* são amplamente investigadas devido à sua capacidade de produzir substâncias antimicrobianas e nematicidas, como proteínas exoenzimáticas, antibióticos e toxinas. Essas bactérias podem inibir a sobrevivência e o desenvolvimento dos nematoides de várias maneiras.

O uso de fungos como agentes de controle biológico tem se mostrado altamente promissor, especialmente os pertencentes aos gêneros *Trichoderma* e *Paecilomyces*. O fungo *Trichoderma harzianum*, por exemplo, é amplamente empregado no controle de fitonematoides devido à sua elevada eficiência e

capacidade de colonizar as raízes das plantas. Essa interação não apenas dificulta a infestação por nematoides, mas também estimula a resistência da planta ao ataque desses patógenos.

Além dos fungos, as actinobactérias, como *Streptomyces* spp., vêm sendo exploradas como ferramentas para o manejo de fitonematoides. Essas bactérias produzem uma ampla variedade de antibióticos, enzimas e metabólitos secundários que podem ser tóxicos para os nematoides ou atuar na promoção da saúde do solo e das plantas. Além disso, têm a capacidade de induzir mecanismos de defesa nas plantas, tornando-as mais resistentes ao ataque de fitonematoides e aumentando a atividade antimicrobiana no solo.

Os fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) também despertam grande interesse devido ao seu efeito protetor contra nematoides. Esses fungos estabelecem associações simbióticas com as raízes das plantas, promovendo o crescimento radicular e fortalecendo a resistência da planta contra doenças, incluindo infecções por fitonematoides. Embora a relação entre micorrizas e nematoides ainda não seja completamente compreendida, evidências sugerem que os FMAs podem reduzir a infecção ao interferir na capacidade dos nematoides de se alimentar e se reproduzir, além de melhorar a estrutura e a microbiota do solo, favorecendo um ambiente menos propício ao desenvolvimento dessas pragas.

Os microrganismos empregados no controle biológico de fitonematoides atuam por diferentes mecanismos, que visam reduzir a população desses parasitas e minimizar seus danos às culturas agrícolas. Um dos principais mecanismos é o antagonismo direto, no qual muitos microrganismos produzem substâncias tóxicas ou enzimas, como quitinases e celulases, que atuam diretamente nos nematoides, destruindo suas estruturas ou inibindo seu desenvolvimento e reprodução. Fungos como *Paecilomyces lilacinus* e *Trichoderma spp.* são exemplos de microrganismos que atacam ovos e larvas de nematoides, proporcionando controle eficaz (Silva et al., 2018). Outro mecanismo importante é a competição por recursos, onde microrganismos benéficos competem com os nematoides por nutrientes e espaço no solo. Ao limitar a disponibilidade de recursos essenciais para os nematoides, esses microrganismos enfraquecem as populações de fitonematoides e reduzem seu impacto nas plantas. Esse processo também contribui para o controle das populações de nematoides de maneira mais sustentável (Almeida et al., 2020).

Além disso, muitos microrganismos podem induzir a resistência nas plantas, estimulando as defesas naturais das plantas. Eles atuam promovendo a expressão de genes de defesa, tornando as plantas mais resistentes ao ataque de fitonematoides, bem como a outras pragas e doenças. Esse efeito é observado em diversos microrganismos, que ativam mecanismos de defesa no organismo hospedeiro, reforçando sua capacidade de lidar com infestações de nematoides (Silva et al., 2018).

Por fim, o controle biológico também pode envolver a alteração do microambiente do solo, no qual microrganismos benéficos modificam as condições do solo, como o pH, a umidade ou a composição microbiológica, tornando o ambiente menos favorável ao desenvolvimento de fitonematoides. Alterações no pH do solo, por exemplo, podem inibir a atividade dos nematoides, criando condições mais difíceis para sua reprodução e sobrevivência (Oliveira et al., 2020). Esses mecanismos, quando integrados, podem oferecer uma alternativa sustentável ao controle químico de fitonematoides, promovendo a saúde do solo e a preservação dos ecossistemas agrícolas.

5 MERCADO BRASILEIRO DE BIOINSUMOS/BIONEMATICIDAS/CONTROLE BIOLÓGICO DE FITONEMATOIDES

O mercado brasileiro de bioinsumos e bionematicidas, com foco no controle biológico de fitonematoides, tem apresentado um crescimento significativo nos últimos anos, impulsionado por uma demanda crescente por práticas agrícolas mais sustentáveis e eficientes. Esse mercado se insere dentro de um contexto maior de transição para uma agricultura mais verde, com o uso de alternativas aos produtos químicos sintéticos, visando reduzir impactos ambientais e promover a saúde do solo e das culturas.

O Brasil tem experimentado uma expansão robusta do mercado de bioinsumos, impulsionado pela crescente demanda por soluções agrícolas mais sustentáveis, alinhadas com as exigências ambientais globais e com o interesse crescente de consumidores por produtos livres de agrotóxicos.

Segundo estimativas de empresas de consultoria, o mercado de bioinsumos no Brasil pode alcançar cifras significativas, superando os R$ 3 bilhões até 2030. Isso é resultado do crescimento da agricultura orgânica, o aumento da certificação

ambiental das propriedades rurais e o incentivo a práticas de manejo integrado de pragas (MIP).

O uso de bionematicidas apresenta diversas vantagens. Uma delas é a redução da resistência, pois, ao contrário dos nematicidas químicos, que podem levar ao desenvolvimento de resistência nos nematoides, os bionematicidas costumam agir de formas mais complexas e multifacetadas, dificultando a adaptação dos patógenos. Outra vantagem significativa é o aumento da produtividade a longo prazo. A adoção de métodos de controle biológico contribui para a melhoria da saúde do solo, o que é essencial para o aumento sustentável da produtividade ao longo do tempo.

O mercado de bionematicidas e bioinsumos apresenta um grande potencial de crescimento, mas ainda enfrenta desafios significativos. Um dos principais obstáculos é a regulamentação e aprovação desses produtos no Brasil. O processo de registro ainda está em evolução, com dificuldades para homologação de novos bioinsumos. No entanto, órgãos reguladores como a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) e o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) têm trabalhado para tornar esse cenário mais favorável, promovendo um ambiente que incentive o desenvolvimento e a regularização desses produtos.

Outro desafio importante é o custo e a disponibilidade dos bioinsumos. Em comparação com os produtos químicos convencionais, o investimento inicial pode ser mais alto, o que representa uma barreira para pequenos e médios produtores. Entretanto, com a expansão do mercado e os avanços tecnológicos, espera-se que os custos sejam reduzidos, tornando os bioinsumos mais acessíveis.

Além disso, a falta de conhecimento técnico e capacitação adequada também dificulta a adoção dos bionematicidas. Muitos produtores estão habituados ao uso de defensivos químicos tradicionais e podem ter resistência à mudança. Para superar essa barreira, é essencial investir em programas de capacitação e disseminação de informações sobre os benefícios do controle biológico de nematoides, garantindo que os agricultores estejam preparados para utilizar essas soluções de forma eficaz.

A tendência é que o mercado de bioinsumos e bionematicidas continue crescendo, impulsionado pela demanda por soluções que atendam às crescentes exigências de sustentabilidade. A pesquisa e o desenvolvimento de novas soluções biológicas continuam a ser uma grande área de foco para empresas e instituições de

pesquisa. Soluções mais eficazes, custo-efetivas e com ampla aplicação para diferentes tipos de fitonematoides serão cada vez mais demandadas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os fitonematoides representam um grande desafio para a cultura da soja, causando perdas significativas de produtividade e dificultando a sustentabilidade do cultivo. Entre os principais fitonematoides que afetam a soja, destacam-se *Meloidogyne spp.* (nematoide das galhas) e *Pratylenchus spp.* (nematoide das lesões radiculares), ambos responsáveis por danos severos ao sistema radicular das plantas e, consequentemente, pelo comprometimento da absorção de água e nutrientes.

Diante desse cenário, diferentes métodos de controle vêm sendo adotados para minimizar os impactos dos fitonematoides. Estratégias como o manejo cultural, o uso de cultivares resistentes, a rotação de culturas e o tratamento químico são amplamente empregadas. No entanto, a crescente preocupação com a sustentabilidade e a redução do uso de produtos químicos tem impulsionado a busca por alternativas eficazes e ambientalmente seguras.

O controle biológico de fitonematoides surge como uma estratégia promissora nesse contexto, utilizando microrganismos benéficos para reduzir as populações de nematoides e minimizar seus danos. O desenvolvimento e a aplicação de bionematicidas à base de bactérias e fungos nematófagos vêm ganhando destaque como uma abordagem sustentável e viável.

O mercado brasileiro de bioinsumos e bionematicidas tem experimentado um crescimento expressivo nos últimos anos, impulsionado pela demanda por soluções sustentáveis e pelo avanço da pesquisa na área de controle biológico. O uso de bioinsumos específicos para fitonematoides apresenta vantagens como menor impacto ambiental, segurança para os aplicadores e possibilidade de integração com outras estratégias de manejo.

Dessa forma, a adoção de um manejo integrado, que combine diferentes estratégias de controle, incluindo o uso de bioinsumos, é fundamental para garantir a produtividade e a sustentabilidade da cultura da soja. O avanço da pesquisa e do desenvolvimento de novas tecnologias será essencial para ampliar a eficiência das

soluções biológicas e consolidar o controle biológico como uma ferramenta indispensável no manejo de fitonematoides.

REFERENCIAS

ABAD, P.; CASTAGNONE-SERENO, P.; ROSSO, M. N.; ENGLER, J. A.; FAVERY, B**. Invasion, feeding and development**. In: PERRY R., MOENS M.; STARR J. L. eds. Root-knot Nematodes. Cambridge, MA, USA, CABI International, p. 163-181, 2009.

AGRIOS, G.N. **Plant pathology**. 5. Ed. New York, Academic Press, 2005. 929p.

ALI, M. A.; ABBAS, A.; AZEEM, F.; JAVED, N.; BOHLMANN, H. Plant-nematode interactions: from genomics to metabolomics. **International Journal of Agricultural & Biology**, v. 17, p. 1071-1082, 2015.

ALMEIDA, J. L.; SANTOS, R. M.; FERREIRA, C. F. Controle biológico de fitonematoides: avanços e perspectivas. **Revista Brasileira de Fitopatologia**, v. 42, n. 3, p. 233-240, 2020.

APROSOJA. **Soja**. 2021. Disponível em: https://aprosojabrasil.com.br/a-soja/. Acesso em: 06 out. 2025.

BIRD, D. M; KALOSHIAN, I. Are root special? Nematodes have their say. **Physiological and Molecular Plant Pathology**, Michigan, v. 62, p. 115-123, 2003.

BONATO, E. R.; BONATO, A. L. V. **Soja no Brasil**: história e estatística. Londrina: Embrapa, 1987. v. 21, p. 7-29.

CARES, J. E.; BALDWIN, J. G. Comparative fine structure of sperm of Heterodera schachtii and Punctodera chalcoensis, with phylogenetic implications for Heteroderinae (Nemata: Heterideridae). **Canadian Journal of Zoology**, v. 73, n. 2, p. 309-320, 1995.

CARNEIRO, K. M. **Controle integrado de nematoides na cultura da soja**. [Trabalho de Conclusão de Curso: Agronomia] Universidade Federal de Mato Grosso: Barra do Garças, 2022. 68 p.

CARNEIRO, R. D. G.; ALMEIDA, M. R. A. Técnica de eletroforese usada nos estudos de enzimas dos nematoides de galhas para identificação de espécies. **Nematologia Brasileira**, Piracicaba, v. 1, n. 25, p. 35-44, 2001.

CASTILLO, P.; VOVLAS, N**. *Pratylenchus* (Nematoda: Pratylenchidae):** diagnosis, biology, pathogenicity and management. Leiden: Brill, 2007. 529p.

CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento da safra brasileira de grãos. Disponível em: file:///C:/Users/luzia/Downloads/Ebook_BoletimZdeZSafrasZ-Z7oZlevantamento-compactado%20(1).pdf. Acesso em: 23 abr. 2022.

CORTE, C. R. et al. A importância dos nematoides fitoparasitas na agricultura. **Revista de Ciências Agrárias,** v. 39, n. 2, p. 105-112, 2014.

DIAS, W. P.; ASMUS, G. L.; SILVA, J. F. V.; GARCIA, A.; CARNEIRO, G. E. S. **Nematoides**. In: ALMEIDA, A.M.R.; SEIXAS, C.D.S. (Ed.) Soja: doenças radiculares e de hastes e inter-relações com o manejo do solo e da cultura. Embrapa Soja: Londrina, 2010. p. 173-206.

DIAS, W.P.; GARCIA, A.; SILVA, J.F.V.; CARNEIRO, G.E.S. **Nematoides em soja**: Identificação e Controle. Londrina: Embrapa Soja, 2010. 8p.

FANCELLI, A. L.; RITZINGER, R. F. Manejo de fitonematoides em cultivos agrícolas. **Revista Brasileira de Nematologia**, v. 29, n. 1, p. 45-53, 2006.

FERRAZ, L.C.C.B. O nematóide *Pratylenchus brachyurus* e a soja sob plantio direto. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, edição 96, p. 23-27, 2006.

FERRAZ, L. C. C. B.; MONTEIRO, A. R**. Nematoides**. In: BERGAMIN FILHO, A.; KIMATI, H.; AMORIM, L. Manual de Fitopatologia: princípios e conceitos. São Paulo, Editora: Ceres, v.1, 1995, p. 168-201.

FERREIRA, L.; SILVA, L. L.; SILVA, E. H.; PEREIRA, I. S. Nematoide do cisto da soja e princípios de controle. **Multidisciplinary Reviews**, v. 2, n. 1, p. 1-9, 2019.

FREITAS, L.G.; OLIVEIRA, R.D.L.; FERRAZ, S. Introdução à nematologia. **Cadernos Didáticos**, Viçosa: UFV, 2001, 84p.

FULLER, V. L.; LILLEY, C. J.; URWIN, P. E. Nematode resistance. **New Phytologist**, Bristol, v. 180, p. 27-44, 2008.

GOULART, A. M. C. Aspectos gerais sobre nematóides-das-lesões radiculares (gênero *Pratylenchus*). Planaltina: Embrapa Cerrados, 2008. 30p.

GUARNIERI, C. C. O. **Eficácia de tiodicarbe, cadusafós e condicionador de solo via tratamentos de sementes e/ou sulco de plantio no controle de nematoides na cultura da soja.** [Dissertação de Mestrado em Agronomia] Universidade Estadual Paulista: Jaboticabal, 2018. 81 p.

HIRAKURI, M. H.; LAZZAROTTO, J. J. **O agronegócio da soja nos contextos mundial e brasileiro.** Londrina: Embrapa Soja, 2014. n. 349, p. 12-13.
HUANG, J. S. Mechanisms of resistance to root-knot nematodes. In: SASSER, J. N.; CARTER, C. C. An advanced treatise on *Meloidogyne*. Biology and control. North Carolina State University Graphics, v.1, p.11-17, 1985.

LIMA, A. F.; SOARES, M. J.; PEREIRA, V. T. Manejo de fitonematoides: o papel do controle químico. **Revista Brasileira de Nematologia**, v. 35, n. 2, p. 123-131, 2019.

LIMA, F. S. de O. et al. Population dynamics of the root lesion nematode, Pratylenchus brachyurus, in soybean fields in Tocantins State and its effect to soybean yield. **Nematropica,** v. 45, n. 2, p. 170-177, 2015.

LOOF, P. A. A. The family Pratylenchidae Thorne, 1949. In: NICKLE, W. R. (Ed.). **Manual of agricultural nematology.** New York: Marcel Dekker, 1991. P. 363-421.

LORDELLO, R. R. A.; SAWAZAKI, E.; LORDELLO, A. I. L.; ALOISIO SOBRINHO, J. Controle de *Pratylenchus* spp. em milho com nematicidas sistêmicos e com torta de mamona**. Revista da Sociedade Brasileira de Nematologia**, v. 7, p. 241-250, 1983.

MACHADO, A. C. Z. Porque não temos cultivares resistentes a *Pratylenchus brachyurus*. 26 mai. 2019. **In: XXXVI Congresso Brasileiro de Nematologia**.

MACHADO, A. C. Z.; ITO, D. S.; SILVA, S. A.; DORIGO, O. F. Agressividade de populações de *Meloidogyne paranaensis* em cafeeiro 'Mundo Novo'. VIII Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil. **Anais**. Salvador, 2013.

MENDONÇA, C. I**. Multiplicação do nematoide *Meloidogyne paranaensis* e velocidade de enraizamento de estacas**. Universidade de Brasília, 2016.

MONTEIRO, M. G. et al. Limitações e problemas no transporte de soja no Brasil. **Informe GEPEC**, v. 25, p. 261-283, 2021.

NOE, J. **Plant-parasitic nematodes**. In: TRIGIANO, R. W. M.; WINDHAM, A. Plant Pathology Concepts and Laboratory Exercises. CRS Press, Boca Raton, 2004, 413p.

OLIVEIRA, M. A.; LIMA, R. S.; PEREIRA, F. J. Controle biológico de fitonematoides: perspectivas e novas abordagens**. Revista de Ciências Agrárias**, v. 39, n. 2, p. 150-158, 2020.

OLIVEIRA, M. A.; LIMA, R. S.; PEREIRA, F. J. Estratégias para o controle de fitonematoides: a rotação de culturas como método de manejo. **Revista Brasileira de Fitopatologia**, v. 41, n. 3, p. 256-263, 2018.

OLIVEIRA, M. A.; LIMA, R. S.; PEREIRA, F. J. Uso de cultivares resistentes para controle de fitonematoides. **Fitopatologia Brasileira**, v. 45, n. 1, p. 76-83, 2020.

PEDROSA, E. M. R.; HUSSEY, R. S.; BOERMA, H. R. Cellular responses of resistant and susceptible soybean genotypes infected with *Meloidogyne arenaria* races 1 and 2. **Journal of Nematology**, Riverside, v. 28, p. 225-232, 1996.
PICCOLI, E. **Importância da soja para o agronegócio: uma análise sob o enfoque do aumento da produção de agricultores no município de Santa Cecília do Sul**. Dissertação (Bacharelado em Administração) – Faculdade e Escola, Tapejara, 2018.

RITZINGER, R. F.; FANCELLI, A. L. Manejo integrado de nematoides em cultivos agrícolas. **Revista Brasileira de Nematologia**, v. 30, n. 1, p. 80-85, 2006.

RUPPERT, E. E.; FOX, R. S.; BARNES, R. D. **Zoologia dos invertebrados**: uma abordagem funcional e evolutiva. 7 ed. São Paulo: Rocca, 2005. 1145 p.

SEIXAS, C. D. S. et al. **Sistema de produção**: tecnologias de produção de soja. Embrapa Soja, 2020. n. 17, p. 18-19.

SILVA, A. F.; PEREIRA, M. R.; FERREIRA, V. T. Controle biológico de fitonematoides: revisão e aplicação de agentes antagonistas. **Fitopatologia Brasileira**, v. 43, n. 1, p. 45-53, 2018.

SILVA, A. F.; PEREIRA, M. R.; FERREIRA, V. T. Manejo integrado de nematoides: rotação de culturas e controle biológico. **Fitopatologia Brasileira**, v. 42, n. 2, p. 134-142, 2017.

SILVA, R. A. et al. Efeito da rotação e sucessão de culturas no manejo de nematoides da soja em área arenosa. **Nematropica**, v. 48, p. 198-206, 2018.

SILVA, S. D. **Avaliação da patogenicidade de isolados de *Pochonia chlamydosporia* e *Purpureocillium lilacinum* sobre ovos de *Meloidogyne enterolobii*.** 2015. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Brasília, 2015.

SIJMONS, P. C.; ATKINSON, H. J.; WYSS, U. Parasitic strategies of root-knot nematodes and associate host cell responses. **Annual Review of Phytopathology**, Palo Alto, v. 32, p. 235-259,1994.

SOUZA, D. F.; PEREIRA, M. R.; OLIVEIRA, J. P. Uso de nematicidas no controle de fitonematoides: práticas e desafios. **Fitopatologia Brasileira**, v. 42, n. 1, p. 67-74, 2017.

STIRLING, G. R. **Biological Control of Plant Parasitic Nematode**: Progress, Problems and Prospects. CAB International, Wallington, UK, 1991. 282p.

STROZE, C. T. **Resistência de plantas medicinais *a Meloidogyne javanica* e *M. paranaensis*.** 2012. 62 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2012.

TAYLOR, A. L. Introductions to research on plant nematology. Rome: FAO, 1971. 133p.

TAYLOR, A. L.; SASSER, J. N. **Biología, identificación y control de los nematodos del nódulo de la raiz**. Projeto internacional de *Meloidogyne*. Raleigh: North Carolina State University, 1983. 109 p.

TEJO, D. P.; FERNANDES, C. H. S.; BURATTO, J. S. Soja: fenologia, morfologia e fatores que interferem na produtividade. **Revista Científica Eletrônica da FAEF**, v. 35, n. 1, p. 1-8, 2019.

TIHOHOD, D. **Nematologia agrícola**. Jaboticabal: FUNEP, 1993. 372 p.

TRUDGILL, D. L.; BLOK, V. C. Apomitic, polyphagous root knot nematodes: Exceptionally successful and damaging biotrophic root pathogens. **Annual Review of Phytopathology**, Palo Alto, v. 39, p. 53-77, 2001.

WHITEHEAD, A. G. Sedentary Endoparasites of Roots and Tubers (Meloidogyne e Nacobbus). In: WHITEHEAD, A. G. **Plant Nematode Control**. Wallingford: CAB International, p. 209-260, 1997.