

**INSTITUTO FEDERAL GOIANO DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO
CENTRO DE EXCELÊNCIA EM BIOINSUMOS COORDENAÇÃO DE
CAPACITAÇÃO EM BIOINSUMOS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO *lato sensu* EM BIOINSUMOS IF GOIANO
CAMPUS CRISTALINA GO**

DOUGLAS GOMES DE LIMA

MÉTODOS DE CONTROLE DE NEMATÓIDES NA CULTURA DA SOJA (*Glycine max*)

CRISTALINA-GO

2025

DOUGLAS GOMES DE LIMA

MÉTODOS DE CONTROLE DE NEMATOIDES NA CULTURA DA SOJA (*Glycine max*)

Monografia apresentada à Banca Examinadora
do Curso de Especialização em Bioinsumos
Instituto Federal Goiano como exigência
parcial para obtenção do título de Especialista.

Orientador: Prof. Dr. José Feliciano Bernardes
Neto

CRISTALINA-GO

2025

**Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do
Programa de Geração Automática do Sistema Integrado de Bibliotecas do IF Goiano - SIBi**

L732m Lima, Douglas Gomes de
 MÉTODOS DE CONTROLE DE NEMATOIDES NA
 CULTURA DA SOJA (Glycine max) / Douglas Gomes de Lima.
 Cristalina 2025.

 49f.

 Orientador: Prof. Dr. José Feliciano Bernardes Neto.
 Monografia (Especialista) - Instituto Federal Goiano, curso de
 1030426 - Especialização em Bioinsumos - Cristalina (Campus
 Cristalina).
 1. Glycine max. 2. Fitonematoides. 3. Manejo Integrado. I.

Regulamento de Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) – CEBIO/IF Goiano

ANEXO V - ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CURSO

Aos **dezoito** dias do mês de **outubro** de **dois mil e vinte e cinco**, às **15 horas**, reuniu-se a Banca Examinadora composta por: **Prof. Dr. José Feliciano Bernardes Neto** (orientador), **Dr. Bruno Eduardo Cardozo de Miranda** e o **Dr. João Pedro Elias Gondim**, para examinar o Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) intitulado “**MÉTODOS DE CONTROLE DE NEMATÓIDES NA CULTURA DA SOJA (*Glycine max*)**” de **Douglas Gomes de Lima**, estudante da *lato sensu* em Bioinsumos do **Centro de Excelência em Bioinsumos (CEBIO) do IF Goiano – Campus Cristalina**, sob a **Matrícula nº 2024110304260003**. A palavra foi concedida ao(à) estudante para a apresentação oral do TC, em seguida houve arguição dos candidatos pelos membros da Banca Examinadora. Após tal etapa, a Banca Examinadora decidiu pela **APROVAÇÃO** do(a) estudante. Ao final da sessão pública de defesa foi lavrada a presente ata, que, após apresentação da versão corrigida do TC, foi assinada pelos membros da Banca Examinadora.

Cristalina, 18 de outubro de 2025.

(Assinado eletronicamente)

Dr. José Feliciano Bernardes Neto

Orientador

Documento assinado digitalmente
 **BRUNO EDUARDO CARDOZO DE MIRANDA**
Data: 18/10/2025 16:31:03-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr. Bruno Eduardo Cardozo de Miranda

Membro da Banca Examinadora

Documento assinado digitalmente
 **JOAO PEDRO ELIAS GONDIM**
Data: 18/10/2025 16:12:36-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

(Assinado eletronicamente)

Dr. João Pedro Elias Gondim

Membro da Banca Examinadora

Observação:

Para o caso de REAPRESENTAÇÃO, tem-se no trecho final da Ata a seguinte redação:

“Após tal etapa, a Banca Examinadora decidiu pela **REAPRESENTAÇÃO** do TCC. Desta forma, o estudante deve realizar correções e adequações no trabalho e apresentá-lo novamente em até XX dias, contados a partir de hoje (XX/XX/XXX). Nesta nova oportunidade, após avaliação da banca examinadora, o estudante poderá ser

APROVADO ou REPROVADO, não havendo possibilidade de outra reapresentação. Ao final da sessão pública de defesa foi lavrada a presente ata que foi assinada pelos membros da Banca Examinadora e Responsável de TCC.”

Para o caso de REPROVAÇÃO, tem-se no trecho final da Ata a seguinte redação:

“Após tal etapa, a Banca Examinadora decidiu pela **REPROVAÇÃO** do(a) estudante. Desta forma, o estudante deverá realizar o desenvolvimento e defesa de novo TCC no próximo semestre. Ao final da sessão pública de defesa foi lavrada a presente ata que foi assinada pelos membros da Banca Examinadora e Responsável de TCC.”

Documento assinado eletronicamente por:

■ **Jose Feliciano Bernardes Neto**, **ASSISTENTE DE ALUNO**, em 18/10/2025 16:06:55.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 18/10/2025. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 755410

Código de Autenticação: 774f6c23cd



TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO

PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS

NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610, de 19 de fevereiro de 1998, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano a disponibilizar gratuitamente o documento em formato digital no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

IDENTIFICAÇÃO DA PRODUÇÃO TÉCNICO-CIENTÍFICA

Tese (doutorado)

Dissertação (mestrado)

Monografia (especialização)

TCC (graduação)

Artigo científico

Capítulo de livro

Livro

Trabalho apresentado em evento

Produto técnico e educacional - Tipo:

Nome completo do autor:

Matrícula:

Título do trabalho:

RESTRIÇÕES DE ACESSO AO DOCUMENTO

Documento confidencial: Não Sim, justifique:

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: / /

O documento está sujeito a registro de patente? Sim Não

O documento pode vir a ser publicado como livro? Sim Não

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O(a) referido(a) autor(a) declara:

- Que o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- Que obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autoria, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- Que cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Documento assinado digitalmente

DOUGLAS GOMES DE LIMA
Data: 31/10/2025 10:33:34-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Local

Data

Assinatura do autor e/ou detentor dos direitos autorais

Ciente e de acordo:

Assinatura do(a) orientador(a)

Documento assinado digitalmente

JOSE FELICIANO BERNARDES NETO
Data: 31/10/2025 11:03:14-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

A Deus.

À minha mãe, pelo amor incondicional e exemplo de força; à minha esposa Maísa, pelo companheirismo, paciência e incentivo constante; e aos meus filhos, que são a minha maior motivação. Sem o apoio e carinho de vocês, esta conquista não seria possível.

Dedico.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela saúde, sabedoria e força para chegar até aqui.
Ao Instituto Federal Goiano, pelo ambiente de aprendizado e apoio à pesquisa.

Ao meu orientador, Prof. Dr. José Feliciano Bernardes Neto, pela orientação dedicada, paciência e incentivo.

À minha mãe, à minha esposa Máisa e aos meus filhos, por todo apoio, amor e compreensão ao longo desta jornada.

Aos professores e colegas do Programa de Pós-Graduação em Bioinsumos, pelos conhecimentos compartilhados e companheirismo.

Às instituições de fomento e apoio, como FAPEG, FUNAPE, IF Goiano e CEBIO, pelo suporte à formação acadêmica e científica.

A todos, que de alguma forma, apoiaram a condução deste trabalho.



“A agricultura é a base da cultura e da economia de todos os povos.”
Justus von Liebig

BIOGRAFIA DO ALUNO

Douglas Gomes de Lima, filho de José de Souza Lima e Vilmaire Gomes da Silva, nasceu em Formosa – GO, no dia 27 de abril de 1991. Graduiu-se em Agronomia pela União Pioneira de Integração Social (UPIS), em Planaltina – DF, no ano de 2016. Em 2024, concluiu a Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas pela Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz da Universidade de São Paulo (Esalq/USP).

Atualmente, atua como Engenheiro Agrônomo na empresa Goiásplan, onde desenvolve projetos voltados ao agronegócio, com ênfase em planejamento produtivo, manejo de culturas anuais e uso sustentável dos recursos agrícolas.

RESUMO

LIMA, DOUGLAS GOMES. Instituto Federal Goiano – Campus Cristalina – GO, setembro de 2025. **Metodos de controle de nematoides na cultura da soja (*Glycine max*)**. Orientador: José Feliciano Bernardes Neto.

Este trabalho analisou os principais métodos de controle de fitonematoides na cultura da soja (*Glycine max*), abordando as estratégias de manejo genético, biológico, químico, cultural e comportamental. A relevância do estudo justificou-se pelo crescente impacto econômico e produtivo causado por gêneros como *Aphelenchoides besseyi*, *Ditylenchus spp*, *Helicotylenchus spp*, *Heterodera glycines*, *Meloidogyne spp*, *Pratylenchus spp*, *Radopholus similis*, *Rotylenchulus reniformis* e *Scutellonema spp*, que representam um dos mais sérios desafios fitossanitários para a sojicultura, com prejuízos anuais que ultrapassam R\$ 27,7 bilhões e ameaçam a sustentabilidade da produção. O objetivo do trabalho consistiu em realizar uma sistematização crítica e uma atualização das principais estratégias disponíveis, avaliando a eficácia, as limitações e o potencial de integração dos diferentes métodos de manejo. Para tal, empregou-se uma revisão narrativa de literatura, com análise de publicações científicas e técnicas dos últimos quinze anos, cujos dados foram categorizados por tipo de controle e submetidos a uma análise crítica comparativa. Os resultados evidenciaram que a eficácia do manejo não reside em uma única ferramenta, mas em uma abordagem integrada e hierárquica, na qual o controle cultural foi identificado como a fundação indispensável do sistema, atuando de forma preventiva para reduzir o inóculo no solo. Sobre esta base, o controle genético posicionou-se como um pilar central, embora sua sustentabilidade tenha se mostrado ameaçada pela seleção de biótipos e pela escassez de resistência para espécies como *Meloidogyne spp*. Os controles químico e biológico foram caracterizados como ferramentas táticas complementares: o químico, de ação rápida e pontual, mas com limitações de custo e impacto ambiental; e o biológico, de ação prolongada e sustentável, mas com o desafio da inconsistência de resultados em campo. O controle comportamental, por sua vez, foi classificado como uma fronteira de inovação, ainda em estágio de pesquisa. Concluiu-se, portanto, que a estratégia mais resiliente e eficiente para a mitigação de danos e garantia da longevidade da cultura consiste na combinação sinérgica das práticas culturais como base, associadas ao uso de cultivares resistentes, à suplementação com bioinsumos e ao uso criterioso e pontual de nematicidas.

Palavras-chave: *Glycine max*. Fitonematoides. Manejo Integrado.

ABSTRACT

LIMA, DOUGLAS GOMES. Instituto Federal Goiano – Campus Cristalina – GO, September 2025. **Methods of Nematode Control in Soybean (*Glycine max*)**. Advisor: José Feliciano Bernardes Neto.

This study analyzed the main methods of controlling phytonematodes in soybean (*Glycine max*), addressing genetic, biological, chemical, cultural, and behavioral management strategies. The relevance of the research is justified by the growing economic and productive impact caused by genera such as *Aphelenchoides besseyi*, *Ditylenchus* spp., *Helicotylenchus* spp., *Heterodera glycines*, *Meloidogyne* spp., *Pratylenchus* spp., *Radopholus similis*, *Rotylenchulus reniformis*, and *Scutellonema* spp., which represent one of the most serious phytosanitary challenges for soybean cultivation, generating annual losses exceeding BRL 27.7 billion and threatening the sustainability of production. The objective of this work was to conduct a critical systematization and an updated review of the main available strategies, evaluating the effectiveness, limitations, and integration potential of different management methods. A narrative literature review was carried out, analyzing scientific and technical publications from the last fifteen years, with data categorized by control type and subjected to comparative critical analysis. The results showed that management effectiveness does not rely on a single tool but on an integrated and hierarchical approach, in which cultural control was identified as the essential foundation of the system, acting preventively to reduce soil inoculum. On this basis, genetic control was positioned as a central pillar, although its sustainability proved to be threatened by the selection of biotypes and the scarcity of resistance sources for species such as *Meloidogyne* spp. Chemical and biological controls were characterized as complementary tactical tools: chemical control offers fast and localized action but presents cost and environmental limitations, whereas biological control provides prolonged and sustainable effects but faces challenges related to field performance consistency. Behavioral control, in turn, was classified as an innovative frontier, still under research development. It was concluded that the most resilient and effective strategy for damage mitigation and crop longevity is the synergistic combination of cultural practices as the foundation, associated with the use of resistant cultivars, supplementation with bioinputs, and the judicious and punctual application of nematicides.

Keywords: *Glycine max*. Phytonematodes. Integrated Management.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Agentes de biocontrole de fitonematoides registrados no Brasil	24
Tabela 2 - Principais nematicidas químicos utilizados na cultura da soja no Brasil	28
Tabela 3 - Métodos de Controle de Nematoides na Cultura da Soja.....	34

SUMÁRIO

RESUMO	vi
ABSTRACT	vii
1. INTRODUÇÃO GERAL	13
2. OBJETIVO	14
CAPÍTULO I	15
1. INTRODUÇÃO	16
2. MATERIAIS E MÉTODOS	18
3. RESULTADOS	19
3.1. Controle Genético: Cultivares Resistentes	19
3.2. <i>Controle Biológico</i>	21
3.3. <i>Controle Químico</i>	25
3.4. <i>Controle Comportamental</i>	30
3.5. <i>Controle Cultural</i>	32
3.6. <i>Tabela Comparativa</i>	34
4. DISCUSSÕES	36
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	38
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	40
CONCLUSÃO GERAL	48

1. INTRODUÇÃO GERAL

O Brasil consolida-se como o maior produtor e exportador mundial de soja, destacando-se pelo avanço tecnológico e pela expansão sustentável das áreas cultivadas. De acordo com a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2025), a safra 2024/2025 está estimada em 168,3 milhões de toneladas, representando um crescimento de aproximadamente 14% em relação à temporada anterior. A produtividade média nacional foi calculada em 3.536 kg ha⁻¹, com área plantada de cerca de 47,6 milhões de hectares.

A região Centro-Oeste permanece como principal polo produtor, com o estado do Mato Grosso respondendo por aproximadamente 26% da produção nacional, seguido pelos estados do Paraná e Rio Grande do Sul, ambos com participações em torno de 13%.

Outros estados, como Goiás, Bahia, Minas Gerais e São Paulo, também registraram expressivo crescimento em produtividade, impulsionados pela adoção de práticas de manejo sustentável e uso de cultivares adaptadas às condições edafoclimáticas regionais. Esse desempenho reforça a importância estratégica da soja para o agronegócio brasileiro, tanto na geração de divisas — com exportações estimadas em mais de 104 milhões de toneladas — quanto como base para a cadeia de biocombustíveis e insumos agroindustriais (CONAB, 2025; FGV, 2025; UOL Economia, 2024).

O crescimento da sojicultura no Brasil tem sido favorecido pela expansão de áreas cultivadas, pelo uso de tecnologias de melhoramento genético, insumos agrícolas e sistemas de produção cada vez mais intensivos (HIRAKURI; LAZZAROTTO, 2014). Apesar desses avanços, diversos fatores bióticos e abióticos ainda limitam a produtividade, entre os quais se destacam os fitonematoides, responsáveis por expressivas perdas econômicas. Esses microrganismos atacam principalmente o sistema radicular, prejudicando a absorção de água e nutrientes, levando a reduções significativas de rendimento (OLIVEIRA; SANTOS; CASTRO, 2021).

Estimativas apontam que, no Brasil, os nematoides causam prejuízos anuais superiores a R\$ 27,7 bilhões na cultura da soja, sendo considerados atualmente um dos maiores desafios fitossanitários da agricultura nacional (FERRAZ; FREITAS, 2021). Diante disso, torna-se imprescindível a busca por soluções sustentáveis, como o uso de cultivares resistentes, manejo cultural, uso de bioinsumos e integração de diferentes estratégias de controle, dentro do conceito de manejo integrado (DIAS-ARIEIRA; CHIAMOLERA; RIBEIRO, 2018).

Neste contexto, o presente trabalho apresenta uma análise crítica dos principais métodos de controle de nematoides na soja, discutindo sua aplicabilidade, vantagens, limitações e potencial de integração, a fim de contribuir para uma produção mais sustentável e resiliente.

2. OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é realizar uma sistematização crítica e uma atualização das principais estratégias de controle de nematoides na cultura da soja. A contribuição específica do artigo consiste em organizar e avaliar a eficácia, as limitações e o potencial de integração dos diferentes métodos, oferecendo um panorama consolidado que auxilie na tomada de decisão para um manejo mais eficiente e sustentável da cultura.

CAPÍTULO I

Métodos de controle de nematoides na cultura da soja (*Glycine Max*)

(Normas de acordo com a Revista Pesquisa Agropecuária Tropical – Qualis B1)

Resumo

Este trabalho analisou os principais métodos de controle de fitonematoides na soja (*Glycine max*), abrangendo estratégias genéticas, biológicas, químicas, culturais e comportamentais. O estudo justifica-se pelo impacto econômico de gêneros como *Aphelenchoides besseyi*, *Ditylenchus spp*, *Helicotylenchus spp*, *Heterodera glycines*, *Meloidogyne spp*, *Pratylenchus spp*, *Radopholus similis*, *Rotylenchulus reniformis* e *Scutellonema spp*, responsáveis por perdas anuais acima de R\$ 27,7 bilhões. A revisão de literatura dos últimos quinze anos evidenciou que o manejo eficaz requer integração: práticas culturais como base preventiva; resistência genética como pilar central, embora ameaçada pela seleção de biótipos; controles químico e biológico como complementares, com limitações de custo, impacto ambiental ou inconsistência de resultados; e o controle comportamental como fronteira em desenvolvimento. Conclui-se que a combinação de práticas culturais, cultivares resistentes, bioinsumos e uso criterioso de nematicidas constitui a estratégia mais resiliente para a sojicultura.

Palavras-chave: *Glycine max*. Fitonematoides. Manejo Integrado.

1. INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max*) é uma das principais culturas agrícolas do mundo, sendo cultivada em diversos países, como Estados Unidos, Brasil, Argentina, China e Índia (Embrapa, 2020).

O Brasil consolida-se como o maior produtor e exportador mundial de soja, destacando-se pelo avanço tecnológico e pela expansão sustentável das áreas cultivadas. De acordo com a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2025), a safra 2024/2025 está estimada em 168,3 milhões de toneladas, representando um crescimento de aproximadamente 14% em relação à temporada anterior.

A produtividade média nacional foi calculada em 3.536 kg ha⁻¹, com área plantada de cerca de 47,6 milhões de hectares. A região Centro-Oeste permanece como principal polo produtor, com o estado do Mato Grosso respondendo por aproximadamente 26% da produção nacional, seguido pelos estados do Paraná e Rio Grande do Sul, ambos com participações em torno de 13%. Outros estados, como Goiás, Bahia, Minas Gerais e São Paulo, também registraram expressivo crescimento em produtividade, impulsionados pela adoção de práticas de manejo sustentável e uso de cultivares adaptadas às condições edafoclimáticas regionais (CONAB, 2025).

Sua importância econômica se deve à ampla utilização na produção de farelo proteico, óleo vegetal e biocombustíveis, além de seu papel estratégico na segurança alimentar global (Nogueira *et al.*, 2021; Mapa, 2022).

No entanto, o desempenho produtivo da cultura pode ser severamente afetado por fatores bióticos e abióticos, sendo os nematoides fitoparasitas um dos principais desafios fitossanitários da soja (Santos *et al.*, 2020). Entre os gêneros mais prejudiciais destacam-se *Aphelenchoides besseyi*, *Ditylenchus spp*, *Helicotylenchus spp*, *Heterodera glycines*, *Meloidogyne spp*, *Pratylenchus spp*, *Radopholus similis*, *Rotylenchulus reniformis* e *Scutellonema spp* (Freitas *et*

al., 2019; Oliveira et al., 2021). Esses organismos parasitam o sistema radicular das plantas, comprometendo a absorção de água e nutrientes, resultando em redução do crescimento, perdas produtivas expressivas e maior suscetibilidade a estresses ambientais e patógenos secundários (Tihole *et al.*, 2023).

No contexto brasileiro, dados mais recentes apontam que os prejuízos causados por nematoides na cultura da soja ultrapassam R\$ 27,3 bilhões por safra, representando cerca de 10% da produção nacional (Revista Campo; Negócios, 2023). Além disso, projeções indicam que, caso medidas efetivas de manejo não sejam adotadas, as perdas acumuladas podem alcançar até R\$ 374 bilhões em uma década somente nesta cultura (Syngenta, 2023).

Diante da variabilidade regional dos sistemas de produção, da emergência de espécies resistentes e do impacto econômico crescente dos fitonematoides, torna-se necessário sistematizar e atualizar as estratégias de manejo mais eficazes. As práticas de controle devem ser orientadas por princípios agroecológicos e integrados, como proposto por Stirling (2014), a fim de garantir sustentabilidade e eficiência. O controle eficiente dos nematoides requer uma abordagem integrada, combinando diferentes estratégias, que incluem resistência genética, controle biológico, controle químico e práticas culturais. A escolha da estratégia depende da espécie predominante de nematoide, das condições edafoclimáticas e do sistema de produção adotado. Dessa forma, um manejo integrado e sustentável é fundamental para minimizar as perdas e garantir a viabilidade econômica da cultura (Embrapa Soja, 2020; Ferreira; Vieira, 2022).

Para atingir o objetivo proposto, realizou-se uma revisão narrativa de literatura, com foco em publicações dos últimos quinze anos. Foram analisadas pesquisas publicadas em bases de dados acadêmicas, como Portal de Periódicos CAPES, PubMed, Scopus, Web of Science, Google Acadêmico e SciELO. Foram utilizadas palavras-chave como “Nematoides da soja”,

“Manejo de nematoides”, “Resistência genética”, “Nematicidas”, “Controle biológico” e “Rotação de culturas” para selecionar materiais relevantes e atualizados sobre o tema.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia adotada para o desenvolvimento deste artigo é uma revisão narrativa de literatura, de caráter qualitativo. A seleção dos materiais considerou estudos publicados entre os anos de 2010 e 2024, com foco nos principais métodos de controle de nematoides na cultura da soja. As fontes foram acessadas por meio de bases eletrônicas reconhecidas, como: CAPES, SciELO, Scopus, Web of Science e Google Scholar. Além disso, foram incluídos artigos científicos, documentos técnicos da Embrapa, relatórios da CONAB e publicações institucionais do MAPA. Os critérios de inclusão envolveram pertinência ao tema, atualidade, disponibilidade de dados e revisão por pares. Foram utilizados descritores como: "controle de nematoides na soja", "manejo integrado de nematoides", "nematoides fitoparasitas" e "resistência genética soja".

A análise dos dados extraídos ocorreu em duas etapas: primeiramente, realizou-se a categorização das informações por tipo de controle (genético, biológico, químico, comportamental e cultural); em seguida, procedeu-se a uma análise crítica de cada método, avaliando sua eficácia, limitações e potencial de integração em sistemas de manejo sustentável.

3. RESULTADOS

3.1. Controle Genético: Cultivares Resistentes

Controle Genético no manejo de nematoides na cultura da soja refere-se ao uso de variedades resistentes, desenvolvidas por meio de melhoramento genético ou biotecnologia, para reduzir a reprodução e os danos causados por espécies como *H. glycines* (nematóide de cisto) e *Meloidogyne* spp. (nematóides de galhas). Essa abordagem explora genes de resistência, como Rhg1 e Rhg4, presentes em linhagens como PI 88788 e Peking, que conferem defesa contra a infecção por nematoides ao interferir no estabelecimento de sítios de alimentação ou ativar respostas imunes na planta. Estudos recentes destacam avanços na identificação de marcadores moleculares e edição gênica para aprimorar a resistência, reduzindo a dependência de nematicidas químicos (Gardner; Heinz; Wang, 2017; Lian *et al.*, 2022).

O uso de cultivares geneticamente resistentes é outro componente relevante do controle cultural. A resistência genética dificulta ou impede a alimentação e a reprodução dos nematoides nas raízes da soja, conferindo proteção à cultura. Segundo Brasmax Genética (2022), diversas cultivares com resistência a múltiplas raças do nematóide-de-cisto-da-soja (*Heterodera glycines*), como as raças 3, 6, 9, 10 e 14, estão disponíveis no mercado, proporcionando ao produtor alternativas eficientes e sustentáveis. Estudo conduzido pelo Instituto Goiano de Agricultura (Iga, 2024) revelou que a combinação entre cultivares resistentes e práticas complementares, como o tratamento de sementes, promove um controle mais duradouro e eficaz.

O controle genético por meio do uso de cultivares resistentes representa uma das abordagens mais sustentáveis e eficazes para o manejo de nematoides na soja. Entre os principais alvos desta estratégia encontra-se *H. glycines* (nematóide de cisto da soja - NCS), para o qual diversas fontes de resistência foram identificadas e incorporadas em programas de

melhoramento. Fontes como PI 88788 (rhg1b), Peking (Rhg4), e PI 437654 ('Hartwig') são amplamente utilizadas, embora a dependência quase exclusiva da PI 88788 tenha favorecido a seleção de biótipos em diversas regiões produtoras, reduzindo progressivamente sua eficácia ao longo do tempo (Dias *et al.*, 2010; Mccarville *et al.*, 2023). Essa limitação evidencia a necessidade de rotação entre fontes genéticas e a piramidação de genes como estratégia de preservação da resistência.

Em contraste, a resistência genética aos nematoides de galhas (*M. javanica* e *M. incognita*) é notoriamente mais limitada e inconsistente. Embora algumas fontes, como 'Bragg' e PI 96354, tenham sido utilizadas, alguns estudos tem demonstrado a suscetibilidade do gene a *M. javanica*, com fator de reprodução superior a 1,0 (Balardin *et al.*, 2022). Por exemplo, em um ensaio com 37 cultivares brasileiras, todas foram classificadas como suscetíveis a *M. javanica*, com variação nos níveis de suscetibilidade, sendo FPS Atalanta IPRO a menos suscetível (FR = 1,2) (Balardin *et al.*, 2022). Esse cenário revela um gargalo crítico na disponibilidade de resistência efetiva, demandando intensificação de esforços em prospecção genética e melhoramento.

Para *P. brachyurus*, apesar da escassez generalizada de cultivares resistentes, algumas exceções foram identificadas em estudos recentes. As cultivares TEC 6029 IPRO e NS 6211 RR, por exemplo, apresentaram resistência com base no critério de FR (Bellé *et al.*, 2017). Tais achados reforçam que, embora raras, fontes de resistência efetiva podem ser encontradas e devem ser integradas aos programas de melhoramento. Ainda assim, o caráter altamente polífago de *P. brachyurus* e sua capacidade de persistir em sistemas de plantio direto complexifica o manejo baseado exclusivamente em resistência genética (Dias *et al.*, 2010).

A introdução da resistência transgênica com o evento GMB151, que expressa a proteína Cry14Ab-1, marca um avanço importante na biotecnologia aplicada à sojicultura. Estudos indicam que a combinação dessa resistência com genes nativos como rhg1b potencializa o

controle do nematoide de cisto da soja e promove ganhos de produtividade significativos, com redução de até 50% na reprodução e aumento de 44% no rendimento (Mccarville *et al.*, 2023). Todavia, há preocupações quanto à sustentabilidade dessa tecnologia, sobretudo pela possibilidade de seleção de populações resistentes à toxina, como já documentado em insetos-praga (Mccarville *et al.*, 2023).

Ainda que promissora, a piramidação de genes para garantir a durabilidade da resistência representa mais um horizonte tecnológico do que uma realidade amplamente disponível. A estratégia consiste em integrar múltiplos mecanismos de defesa para diminuir a probabilidade de superação pelo patógeno. Contudo, sua implementação em larga escala ainda é um gargalo, limitada pela complexidade dos programas de melhoramento e pela estreita base genética da soja comercial. Isso posiciona o controle genético como um pilar fundamental, porém incompleto, do manejo, cuja sustentabilidade depende criticamente da sua integração com outras práticas para evitar a rápida quebra de resistência. (Dias *et al.*, 2010; Glasenapp *et al.*, 2015).

3.2. Controle Biológico

O controle biológico de nematoides na cultura da soja consiste na utilização de microrganismos vivos, como fungos e bactérias, para suprimir a população desses patógenos no solo e nas raízes das plantas. Essa estratégia de manejo se baseia em diferentes modos de ação, incluindo o parasitismo direto de ovos e juvenis dos nematoides por fungos especializados, a produção de substâncias tóxicas (metabólitos) por bactérias que inibem o desenvolvimento ou causam a morte dos vermes, a competição por espaço e nutrientes no sistema radicular e a indução de mecanismos de defesa na própria planta de soja, tornando-a mais resistente ao ataque do patógeno. Dessa forma, o controle biológico se apresenta como

uma alternativa sustentável que atua para reduzir os danos e as perdas de produtividade causadas pelos nematoides (Freitas, 2019; Boschiero, 2023)

O controle biológico desponta como uma alternativa promissora e sustentável para o manejo de nematoides na cultura da soja, especialmente diante das limitações impostas pelo uso contínuo de cultivares resistentes e pelos impactos ambientais dos nematicidas químicos. O uso de microrganismos antagonistas, como fungos ovicidas e bactérias produtoras de metabólitos tóxicos, tem demonstrado eficácia variável, mas potencialmente comparável aos métodos convencionais sob determinadas condições de campo (Gardiano-link *et al.*, 2022; Loureiro *et al.*, 2024).

Entre os agentes biológicos mais estudados e aplicados estão as bactérias do gênero *Bacillus spp* e *Purpureocillium lilacinum*, que tem mostrado capacidade significativa de reduzir populações de *Meloidogyne spp.* e *H. glycines*, tanto no solo quanto nas raízes. O resultado de alguns experimentos demonstraram que esse fungo apresenta ação protetora consistente aos 32 e 60 dias após a emergência da cultura, sendo considerado compatível com produtos químicos como Cruiser® e Maxim XL® (Loureiro *et al.*, 2020). A compatibilidade com defensivos químicos, aliada ao seu efeito prolongado e à ausência de fitotoxicidade, tornam *P. lilacinum* uma ferramenta valiosa em sistemas de manejo integrado.

Por outro lado, o fungo *Trichoderma harzianum* é outro destaque sendo que sua aplicação sequencial em duas safras consecutivas resultou em maior redução populacional de nematoides e incrementos de produtividade quando associado a *P. lilacinum* (Loureiro *et al.*, 2024). A sinergia entre diferentes agentes biológicos não apenas amplia o espectro de ação, mas também contribui para maior resiliência do sistema frente à variabilidade ambiental. Essa abordagem multifatorial é especialmente importante considerando a complexidade da rizosfera e a presença simultânea de múltiplas espécies de nematoides.

No entanto, os resultados de campo com agentes biológicos ainda são marcados por alta variabilidade. Fatores como pH do solo, textura, temperatura, teor de matéria orgânica e composição da microbiota nativa influenciam diretamente o sucesso do controle biológico (Gardiano-link *et al.*, 2022). Por exemplo, cepas de *Bacillus subtilis*, como CNPSO 2657, apresentam eficácia comprovada contra *Meloidogyne spp.* e *P. brachyurus*, mas sua performance pode ser limitada por competição com microrganismos autóctones ou pela interferência de agroquímicos aplicados simultaneamente (Gardiano-link *et al.*, 2022; Seixas *et al.*, 2022).

Adicionalmente, destaca-se que todas as formas de aplicação testadas — tratamento de sementes, sulco de plantio e cobertura do solo — apresentaram desempenho semelhante na proteção das raízes, sugerindo que a eficiência dos agentes não está necessariamente condicionada ao modo de aplicação, mas sim à persistência e colonização efetiva na rizosfera (Santos *et al.*, 2019). Esta constatação tem implicações práticas importantes, pois amplia a flexibilidade de manejo conforme a realidade operacional de cada sistema de cultivo.

Por fim, estudos demonstraram que a associação entre produtos biológicos e químicos pode maximizar os resultados. Em uma das safras avaliadas, essa combinação promoveu a redução completa (100%) das populações de *H. glycines* no solo e nas raízes (Loureiro *et al.*, 2024). Embora esses resultados sejam promissores, a eficácia ainda depende da compatibilidade entre os produtos utilizados. Por exemplo, a abamectina foi classificada como moderadamente tóxica a *P. lilacinum*, o que exige cautela na escolha de combinações (Loureiro *et al.*, 2020). Essa necessidade de compatibilidade funcional reforça o papel do controle biológico como um componente integrado, e não isolado, dentro do manejo de nematoides.

A análise crítica dos estudos revela que, embora o controle biológico seja uma das estratégias mais sustentáveis e promissoras, seu principal desafio é a inconsistência de resultados em campo. A eficácia dos bioagentes é altamente dependente de fatores

edafoclimáticos como pH, textura do solo e microbiota nativa, o que gera uma variabilidade de desempenho que ainda limita sua adoção em larga escala com a mesma previsibilidade dos químicos.

Portanto, o avanço desta frente depende não apenas de novas cepas, mas do desenvolvimento de formulações mais resilientes e de protocolos de aplicação que garantam sua viabilidade e eficácia nas diversas condições de campo.

Tabela 1 - Agentes de biocontrole de fitonematoides registrados no Brasil

Agente (ingrediente ativo)	Mecanismo(s) de ação	Produto(s) comerciais registrados (Brasil)
<i>Bacillus methylotrophicus</i> (cepas comerciais)	Antibiose (metabólitos tóxicos), competição por nicho/nutrientes e indução de resistência sistêmica.	ONIX / ONIX OG (Bionematicida à base de <i>B. methylotrophicus</i>).
<i>Bacillus amyloliquefaciens</i> / <i>B. subtilis</i> (diversas cepas)	Misturas comerciais (<i>Bacillus</i> + outros microrganismos)	NEMACONTROL (Simbiose Biociências).
<i>Pochonia chlamydosporia</i>	Parasitismo de ovos; fungo que coloniza e destrói ovos de nematoides; supressão do inóculo.	Produtos comerciais contendo <i>Pochonia</i> ; consultar AGROFIT para cepas/titulares
<i>Purpureocillium</i> (Paecilomyces) lilacinum	Parasita ovos e juvenis; produção de enzimas	BIOSTAT (Agrocete) e formulações locais registradas.

	(quitinases) que degradam ovos; supressão direta.	
<i>Trichoderma spp.</i> (ex.: <i>T. harzianum</i> , <i>T. asperellum</i>)	Antibiose, competição, micoparasitismo, indução de resistência sistêmica e promoção radicular.	Trichodermil (Koppert) e outras marcas.
Misturas comerciais (<i>Bacillus</i> + outros microrganismos)	Ação combinada: antibiose, promoção de crescimento, parasitismo e estímulo microbiano	Produtos mistos com <i>Paenibacillus</i> , <i>Bacillus subtilis</i> , <i>B. licheniformis</i> , <i>B. circulans</i> .

Fonte: ADAPAR (2024); AGROFIT (MAPA, 2024); Embrapa (2020); CABI BioProtection Portal (2024); revisões técnicas sobre controle biológico de nematoides.

3.3. Controle Químico

O Controle Químico de nematoides na cultura da soja consiste na utilização de nematicidas sintéticos, aplicados via tratamento de sementes ou diretamente no sulco de plantio, com o objetivo de proteger as plantas durante a fase inicial de desenvolvimento. Esses produtos atuam de diferentes formas, seja causando a morte dos nematoides presentes no solo ou exercendo um efeito protetor nas raízes, que inibe ou reduz a penetração desses patógenos no sistema radicular da planta. A escolha do ingrediente ativo e do método de aplicação depende da espécie de nematoide-alvo e do nível de infestação na área, visando reduzir a população do patógeno e minimizar os danos à produtividade da lavoura (Agro Insight, 2022; Gardiano *et al.*, 2022).

O controle químico, ainda que alvo de críticas por seu impacto ambiental, à saúde dos aplicadores e risco de seleção de resistência, mantém sua relevância no manejo de nematoides

na sojicultura, sobretudo em situações de alta pressão de inóculo, onde outras estratégias isoladas não são suficientes para manter as populações abaixo do nível de dano econômico. Diversos ingredientes ativos, com distintos modos de ação, têm sido empregados com graus variáveis de eficácia e seletividade (Santana *et al.*, 2018; Gardiano-link *et al.*, 2022; Crop Science, 2025).

Entre os compostos mais utilizados destaca-se a abamectina, uma avermectina de origem microbiana que atua sobre os canais de cloro, promovendo paralisia e morte dos nematoides. Ensaios demonstraram que sua aplicação via tratamento de sementes (TS) ou no sulco de plantio reduz significativamente o número de ovos e juvenis de *M. javanica*, com desempenho superior ao observado por pulverizações foliares, que se mostraram ineficazes (Santana *et al.*, 2018). Apesar de seus efeitos positivos iniciais, a abamectina apresenta curta persistência no solo, limitando sua eficácia ao período inicial de desenvolvimento radicular (Almeida *et al.*, 2017).

Além da abamectina, outros ingredientes ativos como fluopyram e pydiflumetofen, pertencentes ao grupo dos inibidores da succinato desidrogenase (SDHI), têm ganhado espaço no mercado de tratamento de sementes. Esses compostos apresentam ação nematicida e fungicida, atuando na respiração mitocondrial dos nematoides. Estudos revelam que, mesmo quando não reduzem significativamente a reprodução dos nematóides até o final do ciclo, esses produtos promovem incrementos consistentes de produtividade, possivelmente por protegerem a planta do estresse inicial e de infecções oportunistas (Bissonnette *et al.*, 2024). Essa dissociação entre supressão populacional e resposta produtiva é um aspecto que merece atenção, pois implica em mecanismos de ação que vão além do controle direto do patógeno.

Outro composto relevante é o tiodicarbe, um carbamato de ação nematicida e inseticida que inibe a acetilcolinesterase. Aplicado via TS, mostrou efeito sobre *Meloidogyne* spp. e *Pratylenchus* spp., embora os riscos toxicológicos e o impacto sobre organismos não-alvo limitem seu uso em sistemas sustentáveis (Gardiano-link, 2022). De forma similar, o

organofosforado "cadusafós" é reconhecido por sua elevada toxicidade e eficácia, mas também enfrenta restrições ambientais e regulatórias.

A eficácia do controle químico, embora em média 38% superior à do controle biológico no tocante à redução do fator de reprodução de *P. brachyurus*, apresenta como limitação seu efeito residual restrito, exigindo aplicações ou associação com outras táticas de manejo (Gardiano-link, 2022). Além disso, há crescente preocupação com os efeitos adversos dos nematicidas sobre a biota edáfica, incluindo inimigos naturais, microrganismos benéficos e a microbiota da rizosfera, o que reforça a necessidade de uso criterioso e seletivo dos compostos.

A questão da resistência de nematoides a nematicidas, embora menos documentada do que em insetos e fungos, representa um risco potencial. O uso contínuo de produtos com o mesmo mecanismo de ação favorece a seleção de populações menos sensíveis, ainda que o monitoramento desse fenômeno no Brasil seja incipiente (Gardiano-link, 2022). Diante disso, recomenda-se a rotação de ingredientes ativos com diferentes modos de ação e a integração com práticas culturais, biológicas e genéticas.

Por fim, estudos apontam que a compatibilidade entre produtos químicos e agentes biológicos deve ser cuidadosamente avaliada em programas de manejo integrado. A abamectina, por exemplo, foi considerada moderadamente tóxica para *P. lilacinum*, podendo comprometer sua eficácia em aplicações conjuntas (Loureiro *et al.*, 2020). Portanto, o controle químico deve ser compreendido como uma ferramenta de ação rápida e pontual, cuja eficiência e sustentabilidade estão condicionadas à sua integração com demais estratégias.

Tabela 2 - Principais nematicidas químicos utilizados na cultura da soja no Brasil

Ingrediente ativo	Mecanismo de ação principal	Produtos comerciais registrados (Brasil)	Observações
Fluopyram	Inibe a enzima Succinato desidrogenase (SDHI), afetando a respiração mitocondrial dos nematoídes. Atua por contato e efeito residual no solo.	Velum® One, Velum® Prime (Bayer)	Amplamente utilizado no manejo de <i>Meloidogyne incognita</i> e <i>Pratylenchus brachyurus</i> . Recomendado em programas integrados (MAPA, 2024; Embrapa Soja).
Fluensulfone	Afeta o sistema nervoso e o metabolismo lipídico do nematoíde, provocando paralisia e morte.	Nimitz® (Adama Brasil)	Eficaz contra <i>Meloidogyne spp.</i> ; baixa persistência ambiental; produto não fumigante.
Abamectina	Neurotoxina que age nos canais de cloro mediados	Avicta® 500 FS	Amplamente usada no

	pelo glutamato, levando à paralisia e morte dos nematoides. Atua por contato e ingestão.	(Syngenta), Milbeknock® , Vertimec®	tratamento de sementes e sulco de plantio. Uso contínuo pode levar à redução da eficácia.
Tioxazafen	Interfere na respiração celular e na ecdise, com ação direta sobre ovos e juvenis de <i>Meloidogyne</i> e <i>Heterodera</i> .	AERIS® (Bayer), VOTIVO Prime®	Produto de amplo espectro com efeito protetor no sistema radicular; deve ser usado em associação com práticas culturais.
Oxamyl	Inibidor reversível da acetilcolinesterase; atua por contato e sistêmico, bloqueando o movimento e alimentação dos nematoides.	Vydate® 240 SL (Corteva Agriscience)	Eficaz contra <i>Meloidogyne</i> , <i>Pratylenchus</i> e <i>Rotylenchulus</i> . Produto de alta

			toxicidade, exigindo uso técnico controlado.
Fostiazato	Inibe enzimas da cadeia respiratória; impede a eclosão e mobilidade dos juvenis J2.	Nemathorin® 150 EC (Syngenta, registro internacional; experimental no Brasil)	Uso emergente e restrito. Potencial para inclusão futura em programas de manejo Integrado.

Fonte: ADAMA, (2024); AGROFIT (MAPA, 2024); Embrapa (2024); Corteva, (2023); CABI BioProtection Portal (2023) EMBRAPA Soja, (2022); revisões técnicas sobre controle biológico de nematoides.

3.4. Controle Comportamental

O controle comportamental de nematoides na cultura da soja emerge como uma alternativa inovadora e ecologicamente sustentável dentro do manejo integrado de pragas, fundamentando-se na interferência direta nos mecanismos de orientação e comportamento desses organismos. Essa abordagem visa dificultar a localização e a infecção das plantas hospedeiras, utilizando-se de conhecimentos acerca da biologia e da ecologia dos nematoides. Um dos principais alvos dessa estratégia é a quimotaxia, processo pelo qual os nematoides se dirigem em resposta a gradientes químicos, sendo este mecanismo essencial para o deslocamento dos juvenis infectivos até as raízes das plantas (Mo; Zhang, 2024).

Outra estratégia promissora é o uso de plantas atrativas não hospedeiras, que consiste na utilização de plantas capazes de atrair nematoides, sem, contudo, permitir a continuidade de seu ciclo biológico. O trevo carmesim (*Trifolium incarnatum*) tem sido destacado por sua capacidade de induzir significativamente a eclosão de juvenis e atraí-los para as raízes, onde não conseguem se desenvolver. De forma similar, a faba bean (*Vicia faba*) demonstrou ser altamente atrativa aos nematoides, induzindo níveis de eclosão comparáveis aos da soja, porém sem possibilitar a progressão dos parasitas às fases adultas (Harbach; Wlezien; Tylka, 2021). Essas plantas, portanto, funcionam como armadilhas biológicas, reduzindo a pressão de infestação na cultura principal.

O controle comportamental também pode ser favorecido pela ação de microrganismos que produzem substâncias com efeito repelente ou tóxico aos nematoides. A bactéria *Microbacterium maritypicum* Sneb159, por exemplo, apresentou atividade nematocida expressiva frente ao *H. glycines*, com a produção de compostos voláteis como disulfeto de dimetila e trissulfeto de dimetila, capazes de agir tanto por contato direto quanto por fumigação (Zhao *et al.*, 2025a). Testes de quimotaxia demonstraram, ainda, o efeito repelente desse microrganismo, que resultou na diminuição da penetração dos juvenis nas raízes e na supressão de seu desenvolvimento (Zhao *et al.*, 2025b).

Por fim, a identificação de neuropeptídeos relacionados à quimossensação em nematoides parasitas de plantas tem revelado novas possibilidades no aprimoramento do controle comportamental. Em experimentos com *M. javanica*, observou-se que genes vinculados à percepção química foram expressivamente ativados após contato com exsudatos radiculares de tomateiro, indicando uma via de sinalização regulada por receptores acoplados à proteína G neuropeptídica (Mo; Zhang, 2024). Dentre os compostos estudados, destaca-se o neuropeptídeo MjFLP-14-2, cuja influência direta sobre o direcionamento dos juvenis às raízes

posiciona-se como promissora ferramenta para o desenvolvimento de estratégias moleculares que perturbem o processo de localização do hospedeiro (Mo; Zhang, 2024).

É crucial ressaltar que o controle comportamental se encontra, em grande parte, em estágio de pesquisa e desenvolvimento, representando uma fronteira inovadora, mas ainda não consolidada comercialmente. As estratégias baseadas no uso de plantas-armadilha e na identificação de neuropeptídeos que regulam a quimiotaxia são exemplos de abordagens em fase de validação científica. Sua contribuição atual é mais teórica e exploratória, abrindo novos alvos para o desenvolvimento futuro de produtos e tecnologias, do que uma ferramenta prática disponível ao sojicultor. A transição dessas descobertas do laboratório para o campo será o próximo grande passo para este método.

3.5. Controle Cultural

O controle cultural de nematoides constitui uma estratégia essencial no manejo integrado de pragas na cultura da soja, sendo pautado na manipulação do ambiente agrícola com o intuito de suprimir a população dos fitonematoides e reduzir os danos causados à produtividade. Dentre as práticas culturais mais eficazes destacam-se a rotação de culturas, o uso de cultivares resistentes, a adubação verde com plantas de cobertura e o manejo da matéria orgânica do solo (Iga, 2024).

A rotação e a sucessão de culturas assumem papel de destaque no controle de nematoides por interromperem o ciclo biológico desses patógenos. Essa interrupção é viabilizada pela introdução de espécies não hospedeiras ou más hospedeiras, que dificultam a manutenção e multiplicação das populações de nematoides no solo. Gardiano *et al.* (2022) demonstraram que a utilização de aveia-preta (*Avena strigosa*) na entressafra foi altamente eficiente na redução de *P. brachyurus*, além de contribuir para o aumento da produtividade da

soja na região centro-sul do Paraná. Complementando essa abordagem, Debiasi *et al.* (2012) observaram que a *Crotalaria spectabilis* atua como cultura armadilha, pois permite a penetração de juvenis nas raízes sem possibilitar seu desenvolvimento, resultando na redução populacional do nematoide.

A adoção de plantas de cobertura e adubação verde na entressafra também desempenha papel estratégico no controle cultural de nematoides, atuando na melhoria da estrutura do solo, na liberação de compostos com efeito nematicida e na promoção de inimigos naturais. Araújo *et al.* (2023) identificaram que a utilização de *Crotalaria spectabilis* e *Urochloa ruziziensis* contribuiu significativamente para a supressão de *P. brachyurus*. Tais práticas não apenas reduzem a população de nematoides, mas também favorecem a sustentabilidade do sistema produtivo ao elevar a biodiversidade do solo.

Além disso, o manejo da matéria orgânica exerce influência direta sobre a dinâmica populacional dos nematoides. Ambientes com altos teores de matéria orgânica abrigam uma diversidade maior de microrganismos benéficos, como fungos e bactérias antagônicos aos nematoides. Santos *et al.* (2024) destacam que o uso de milho e nabo forrageiro, aliado a nematicidas biológicos, contribui para a criação de condições desfavoráveis à sobrevivência de espécies como *M. javanica* e *P. brachyurus*. A Embrapa (Debiasi *et al.*, 2012) reforça que mesmo em áreas com infestações severas, a implementação de práticas culturais durante a entressafra pode reduzir significativamente a pressão dos nematoides no ciclo subsequente.

Por fim, práticas como a limpeza de equipamentos agrícolas e o uso de sementes sadias são essenciais para evitar a disseminação dos nematoides entre talhões ou propriedades, conforme alerta a Syngenta (2022). O controle cultural, portanto, vai além da escolha de plantas ou cultivares, envolvendo um conjunto de medidas preventivas e sustentáveis que, se integradas de forma estratégica, contribuem para a longevidade dos sistemas produtivos e a mitigação das perdas causadas por nematoides na cultura da soja.

3.6. Tabela Comparativa

Com base nos dados fornecidos e nas pesquisas científicas mais atuais, apresento a tabela comparativa detalhada sobre os métodos de controle de nematoides na cultura da soja:

Tabela 3 - Métodos de Controle de Nematoides na Cultura da Soja

Método de Controle	Principais Agentes/Práticas	Mecanismo de Ação	Vantagens	Limitações/Desvantagens
Genético	Cultivares com genes de resistência (fontes PI 88788, Peking, PI 437654); Piramidação de genes; Transgenia (evento GMB151 com proteína Cry14Ab-1)	Impede ou dificulta a alimentação e a reprodução do nematoide nas raízes, ativa respostas de defesa da planta e interfere no estabelecimento de sítios de alimentação	Método sustentável e eficaz; Sem custos adicionais para o produtor; Ambientalmente seguro	Seleção de biótipos na população de nematoides (quebra de resistência); Eficácia inconsistente e limitada para nematoides-das-galhas (<i>Meloidogyne</i> spp.); Dificuldade técnica para aplicar a piramidação de genes em larga escala
Biológico	Fungos (<i>Purpureocillium lilacinum</i> , <i>Trichoderma harzianum</i>); Bactérias (<i>Bacillus subtilis</i> , <i>B. amyloliquefaciens</i>)	Parasitismo direto de ovos e juvenis; Produção de metabólitos tóxicos; Competição por espaço e nutrientes na rizosfera; Indução de resistência na planta	Ação prolongada no solo; Promove a saúde e a biodiversidade do solo; Alternativa sustentável e com baixo impacto ambiental; Compatível com alguns químicos	Alta variabilidade de resultados em campo; Eficácia dependente das condições de solo e clima (pH, temperatura, matéria orgânica); Performance pode ser limitada pela competição com a microbiota nativa
Químico	Nematicidas sintéticos aplicados via tratamento de sementes (TS) ou no sulco.	Causa paralisia e morte por atuação em canais de cloro (Abamectina); Inibe a respiração mitocondrial do	Ação rápida e de alta eficácia inicial; Essencial em áreas com	Curto efeito residual (proteção limitada ao início do ciclo); Risco de toxicidade ambiental e a organismos não-

	Ingredientes ativos: Abamectina, Fluopyram, Pydiflumetofen, Tiodicarbe	nematoide (inibidores de SDHI como Fluopyram)	alta pressão populacional do patógeno	alvo; Custo elevado; Pode ser incompatível com alguns agentes biológicos
Comportamental	Plantas-armadilha não hospedeiras (<i>Trifolium incarnatum</i> , <i>Vicia faba</i>); Uso de microrganismos com efeito repelente (<i>Microbacterium maritropicum</i>); Exploração de neuropeptídeos (MjFLP-14-2)	Interfere na quimiotaxia (orientação química) do nematoide; Atrai para raízes onde não completam o ciclo; Produz compostos voláteis repelentes ou tóxicos	Abordagem inovadora e ecologicamente sustentável; Atua em alvos específicos do comportamento do patógeno	Método em estágio inicial de pesquisa e desenvolvimento; Sem aplicação comercial consolidada ou disponível em larga escala; Contribuição mais teórica e exploratória no momento
Cultural	Rotação e sucessão de culturas com plantas não hospedeiras (aveia-preta, milho); Adubação verde e plantas de cobertura (<i>Crotalaria spectabilis</i> , <i>Urochloa ruziziensis</i>); Manejo da matéria orgânica; Limpeza de maquinário	Interrupção do ciclo biológico do nematoide pela ausência de hospedeiro; Liberação de compostos alelopáticos/nematocidas no solo; Aumento de inimigos naturais	Base do manejo integrado; Ação preventiva e de longo prazo; Melhora a estrutura e a saúde geral do solo; Baixo custo de implementação	Exige planejamento do sistema produtivo a médio/longo prazo; Resultados não são imediatos; Pode ter baixa eficácia em áreas de altíssima infestação se usado isoladamente

Fonte: Araujo, Bragante e Bragante (2014); Braga (2021); Gulart et al. (2022); Leandro e Asmus (2015); Machado (2024); Tavares (2023).

Esta tabela comparativa demonstra que o manejo integrado de nematoides é a estratégia mais eficaz, combinando diferentes métodos para maximizar o controle e minimizar as limitações individuais de cada abordagem.

O controle genético e cultural formam a base sustentável do manejo, enquanto os métodos químicos e biológico oferecem ferramentas complementares para situações específicas. O controle comportamental, embora promissor, ainda requer mais desenvolvimento para aplicação comercial.

4. DISCUSSÕES

A análise dos dados permite posicionar o controle cultural como a base indispensável de qualquer programa de manejo bem-sucedido. Sua força reside no caráter preventivo e de longo prazo. Práticas como a rotação com culturas não hospedeiras, a exemplo da aveia-preta (Gardiano *et al.*, 2022), e o uso de plantas de cobertura supressoras, como a *Crotalaria spectabilis* (Debiasi *et al.*, 2012), atuam diretamente na redução do inóculo inicial no solo, quebrando o ciclo do patógeno antes mesmo da semeadura da soja. A principal vantagem é seu baixo custo e os benefícios agregados à saúde do solo. Sua limitação, contudo, é a ausência de um efeito curativo imediato, o que o torna insuficiente em áreas de alta infestação se utilizado de forma isolada.

Sobre a fundação cultural, o controle genético emerge como o pilar central do manejo, por ser uma tecnologia embutida na semente, sem custos adicionais ou impacto ambiental direto. Para o nematoide-de-cisto (*H. glycines*), seu sucesso é notável, embora a dependência excessiva de poucas fontes de resistência, como a PI 88788, tenha criado sua maior fraqueza: a seleção de biótipos, que diminuem progressivamente a eficácia do método (Dias *et al.*, 2010; Mccarville *et al.*, 2023). Para outros nematoides, como os das galhas (*Meloidogyne spp.*) e o das lesões radiculares (*P. brachyurus*), a escassez de cultivares com resistência robusta é o principal gargalo tecnológico (Balardin *et al.*, 2022), tornando este pilar frágil e necessitado de escoras.

Para complementar a base cultural-genética, os controles biológico e químico funcionam como ferramentas táticas com lógicas opostas.

O controle biológico atua como um amplificador da saúde do solo com ação prolongada. Sua força é a sustentabilidade e a capacidade de suprimir patógenos através de múltiplos mecanismos, como parasitismo e produção de toxinas. Seu "calcanhar de Aquiles" é a inconsistência de resultados em campo, uma vez que sua eficácia é altamente influenciada por fatores edafoclimáticos e pela microbiota nativa (Gardiano-link *et al.*, 2022).

O controle químico, em contrapartida, oferece uma solução corretiva de ação rápida e alta eficácia inicial, sendo crucial em cenários de alta pressão populacional (Gardiano-Link *et al.*, 2022). Suas desvantagens, porém, são notórias e limitam seu uso estratégico: alto custo, curto efeito residual que não protege a cultura durante todo o ciclo (Almeida *et al.*, 2017), impacto ambiental e risco de incompatibilidade com agentes biológicos (Loureiro *et al.*, 2020)

Métodos como o controle comportamental, que visa manipular a orientação do nematoide, representam a fronteira da inovação, mas ainda se encontram em estágio pré-comercial e não compõem o arsenal prático do agricultor (Mo; Zhang, 2024; Zhao *et al.*, 2025b). A biotecnologia, com a transgenia (Mccarville *et al.*, 2023) e a piramidação de genes (Muniz *et al.*, 2025), aponta para o futuro do controle genético, mas ainda enfrenta desafios de durabilidade e complexidade.

Diante do exposto, a abordagem mais eficiente e objetiva é a integração hierárquica:

1. **Fundação:** Implementar o **controle cultural** como prática obrigatória para reduzir a pressão de inóculo (Gardiano *et al.*, 2022; Debiasi *et al.*, 2012).
2. **Pilar:** Escolher **cultivares com resistência genética**, rotacionando as fontes de resistência sempre que possível (Dias *et al.*, 2010; Mccarville *et al.*, 2023).
3. **Suplementação:** Empregar o **controle biológico** para agregar uma camada de proteção duradoura e promover a saúde do sistema, ciente de sua variabilidade (Loureiro *et al.*, 2024; Gardiano-link *et al.*, 2022).

4. **Intervenção:** Utilizar o **controle químico** de forma pontual e criteriosa, como uma ferramenta tática para "apagar incêndios" em situações de surto, e não como a base do manejo (Almeida *et al.*, 2017; Loureiro *et al.*, 2020).

Esta abordagem integrada é, sem dúvida, a resposta mais completa e resiliente para a mitigação dos danos e a sustentabilidade da cultura da soja frente ao desafio dos nematoides.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os nematoides fitoparasitas representam um dos principais desafios fitossanitários para a cultura da soja, sendo responsáveis por perdas econômicas significativas que podem ultrapassar R\$ 27,7 bilhões por safra no Brasil. Os fitonematoides *Helicotylenchus* spp, *Heterodera glycines*, *Meloidogyne* spp, *Pratylenchus* spp, *Radopholus similis*, *Rotylenchulus reniformis* e *Scutellonema* spp, afetam o sistema radicular, comprometendo a absorção de nutrientes e a produtividade das plantas. A análise da literatura confirma que a mitigação eficaz desses danos depende da adoção de estratégias de manejo integrado, pois o uso isolado de qualquer ferramenta de controle se mostra limitado e insustentável a longo prazo.

Contudo, para fortalecer e expandir a eficácia do manejo integrado, a presente revisão identificou lacunas de conhecimento que delineiam uma agenda de pesquisa prioritária. Destacam-se:

- **Ampliação da base de resistência genética:** É urgente a prospecção e o desenvolvimento de cultivares com resistência robusta a *M. javanica* e *P. brachyurus*, uma vez que a disponibilidade de fontes de resistência para essas espécies é notoriamente limitada e inconsistente, representando um gargalo tecnológico crítico.
- **Validação de estratégias inovadoras:** Métodos promissores, como o controle comportamental baseado na quimiotaxia, necessitam de maior validação em condições de campo para viabilizar sua transição do laboratório para a aplicação prática, transformando o conhecimento teórico em ferramentas comerciais.
- **Aumento da estabilidade do controle biológico:** A variabilidade de resultados em campo é o principal desafio dos bioinsumos. Pesquisas devem focar no

desenvolvimento de formulações mais resilientes e na compreensão das interações entre os micro-organismos e os diferentes ambientes edafoclimáticos para garantir maior consistência de desempenho.

- **Estudos sobre a durabilidade das tecnologias:** Diante da rápida evolução de populações de *H. glycines* virulentas a fontes de resistência como a PI 88788, são essenciais estudos de longo prazo sobre a durabilidade das tecnologias genéticas e químicas, visando estratégias antirresistência, como a piramidação de genes.

Superar essas lacunas é fundamental para o avanço das futuras estratégias de controle. Portanto, o manejo integrado, adaptado à realidade local, baseado no monitoramento constante e fomentado por uma agenda de pesquisa focada em resolver gargalos práticos, representa o caminho mais eficiente e sustentável para garantir a longevidade e a produtividade da sojicultura brasileira frente aos desafios impostos pelos fitonematoides.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAPAR – AGÊNCIA DE DEFESA AGROPECUÁRIA DO PARANÁ. *Bula do produto ONIX OG – Bionematicida microbiológico à base de Bacillus methylotrophicus (UFPEDA 20)*. Curitiba: ADAPAR, 2024. Disponível em: https://www.adapar.pr.gov.br/sites/adapar/arquivos_restritos/files/documento/2024-04/onix_og.pdf. Acesso em: 20 out. 2025.

ADAMA BRASIL. **Nimitz® – Ficha técnica e recomendações de uso**. Londrina, 2024.

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (ANVISA). **Registro de produtos nematicidas no Brasil**. Brasília, DF: Anvisa, 2024.

AGROCETE. *BIOSTAT: nematicida biológico para controle de nematoides na soja*. Londrina: Agrocete, 2024. Disponível em: <https://www.agrocete.com.br/pt/saber-mais/biostat-nematicida-biologico-da-agrocete-para-controle-de-nematoides>. Acesso em: 20 out. 2025.

AGRO INSIGHT. **Nematoides na cultura da soja**. Piracicaba: Agro Insight, 2022. Disponível em: <https://agroinsight.com.br/nematoides-na-cultura-da-soja/>. Acesso em: 2 jul. 2025.

ALMEIDA, Adriely A. de; ABE, Vinícius H. F.; GONÇALVES, Ricardo M.; BALBI-PEÑA, Maria I.; SANTIAGO, Débora C. Seed treatment for management of *Meloidogyne javanica* in soybean. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 38, n. 5, p. 2995–3005, set./out. 2017. Disponível em: <https://ojs.uel.br/revistas/uel/index.php/semagrarias/article/view/29102>. Acesso em: 13 jun. 2025.

ALVES, João Paulo et al. Estratégias de rotação de culturas na supressão de nematoides em soja. **Revista Campo & Negócios**, [S. l.], v. 17, n. 4, p. 88-95, 2020.

ALVES, Luiza Eduarda Strambaioli Garcia; FONTANA, Laís Fernanda; DIAS-ARIEIRA, Cláudia Regina. Green manure and Pochonia chlamydosporia for *Meloidogyne javanica* control in soybean. **Revista Caatinga, Mossoró**, v. 35, n. 3, p. 625-632, jul./set. 2022. DOI: 10.1590/1983-21252022v35n313rc. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1983-21252022000300625&tlng=en. Acesso em: 13 jun. 2025.

ARAÚJO, F. F. de; BRAGANTE, R. J.; BRAGANTE, C. E. Controle genético, químico e biológico de meloidoginose na cultura da soja. **Tropical Plant Pathology**, Brasília, v. 39, n. 2, p. 99-105, mar./abr. 2014. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pat/a/ch8kMX5NKvK3SLMKr7Zxgsx/?format=html>. Acesso em: 10 jul. 2025.

ARAÚJO, Fernando Godinho et al. Plantas de cobertura e agentes de biocontrole no manejo de nematoides na cultura da soja. **Revista Caatinga, Mossoró**, v. 36, n. 2, p. 243-250, abr./jun. 2023. DOI: 10.1590/1983-21252023v36n210rc. Disponível em: <https://revistacaatinga.com.br/caatinga/article/view/10570>. Acesso em: 2 jul. 2025.

BAYER CROP SCIENCE. **Velum® One e Velum® Prime – Informações Técnicas**. São Paulo, 2024.

BALARDIN, Ricardo R.; BELLÉ, Cristiano; PIOVESAN, Bruno C.; DALLA NORA, Daiane; RAMOS, Rodrigo F.; LOPES, Andrezza N.; SANTOS, Paulo Sérgio dos; ANTONIOLLI, Zaida Inês. Reproduction of *Meloidogyne javanica* in soybean genotypes. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 94, n. 2, p. e20191427, 2022. DOI: 10.1590/0001-3765202220191427. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/aabc/a/xjwB3QfZn4GNZbBx5ZDDhVh/?format=pdf>. Acesso em: 13 jun. 2025.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). **AGROFIT – Sistema de Agrotóxicos Fitossanitários**. Brasília, DF: MAPA, 2024. Disponível em: https://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons. Acesso em: 20 out. 2025.

BELLÉ, C. *et al.* Reação de cultivares de soja a *Pratylenchus brachyurus*. **Agrarian**, [S. l.], v. 10, n. 36, p. 136-140, 6 jun. 2017. Disponível em: <http://ojs.ufgd.edu.br/index.php/agrarian/article/view/4322>. Acesso em: 13 jun. 2025.

BISSONNETTE, Kaitlyn M.; BARIZON, Jefferson; ADEE, Eric; AMES, Keith A.; BECKER, Talon; BIGGS, Meghan; BRADLEY, Carl A.; BROWN, Mariama; BYAMUKAMA, Emmanuel; CHILVERS, Martin I.; FASKE, Travis R.; HARBACH, Chelsea J.; JACKSON-ZIEMS, Tamra A.; KANDEL, Yuba R.; KLECZEWSKI, Nathan M.; KOEHLER, Alyssa M.; MARKELL, Samuel G.; MUELLER, Daren S.; SJARPE, Daniel A.; SMITH, Damon L.; TELENKO, Darcy E. P.; TENUITA, Albert U. **Management of soybean cyst nematode and sudden death syndrome with nematode-protectant seed treatments across multiple environments in soybean**. *Plant Disease*, v. 108, n. 6, p. 1729–1739, jun. 2024. DOI: 10.1094/PDIS-02-23-0292-RE. Acesso em: 13 jun. 2025.

BRAGA, A. F. **Interação de *Trichoderma asperellum* e *Bacillus* spp. utilizados no controle biológico de doenças na soja**. 2021. Dissertação (Mestrado em Bioenergia e Grãos) – Instituto Federal Goiano, Rio Verde, 2021. Disponível em: https://sistemas.ifgoiano.edu.br/sgcursos/uploads/anexos_13/2022-06-30-11-00-034_DISSERTA%C3%87%C3%83O_ADELIANE_FERREIRA_BRAGA.pdf. Acesso em: 10 jul. 2025.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). **Plano Nacional de Fertilizantes e Biocombustíveis**. Brasília, DF: MAPA, 2022.

CABI BIOPROTECTION PORTAL. *Nemacontrol – Bacillus amyloliquefaciens for nematode management*. Wallingford: CABI, 2024. Disponível em: <https://bioprotectionportal.com/productdetails/nemacontrol-10750604/?country=br>. Acesso em: 20 out. 2025.

CARPENTIERI-PÍPOLO, Vera *et al.* Desenvolvimento de *Heterodera glycines* em cultivares resistentes e suscetível de soja. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 26, n. 4, p. 485-488, 2005.

CARVALHO, D. B. *et al.* **Manejo cultural para controle de nematoides em soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2021.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Acompanhamento da Safra Brasileira: grãos: safra 2022/23**. Brasília, DF: Conab, 2023.

CORTEVA AGRISCIENCE. **Vydate® 240 SL – Informações técnicas**. São Paulo, 2023.

COSTA, Mauro Junior Natalino. Uso de esterco bovino e cobertura de solo no manejo de nematoides na cultura da soja. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FITOPATOLOGIA, 53., 2021, [online]. **Anais** [...]. [Brasília, DF]: Sociedade Brasileira de Fitopatologia, 2021. Disponível em: https://sbfitepatologia.org.br/admin/files/papers/file_hAVMjZYK2E6N.pdf. Acesso em: 13 jun. 2025.

CROP SCIENCE. Management of parasitic nematodes attacking soybean. **Crop Science US**, [S. l.], 30 abr. 2025. Disponível em: <https://www.cropscience.bayer.us/articles/bayer/parasitic-nematodes-in-soybeans>. Acesso em: 13 jun. 2025.

DEBIASI, H. *et al.* **Manejo de nematoide na entressafra para o cultivo de soja**. Londrina: Embrapa Soja, set. 2012. (Circular Técnica, 93). Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/907639/1/debiasi.manejo.PDF>. Acesso em: 2 jul. 2025.

DIAS-ARIEIRA, C. R.; CHIAMOLERA, F. M.; RIBEIRO, N. R. **Manejo de fitonematoides na cultura da soja**. *Revista de Ciências Agrárias*, v. 41, n. 1, p. 219–229, 2018.

DIAS, W. P. *et al.* **Nematoides em soja: identificação e controle**. Londrina: Embrapa, 2010. (Circular Técnica, n. 76).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Sistema de Produção da Soja: Região Central do Brasil**. Londrina: Embrapa Soja, 2020. Disponível em: www.embrapa.br. Acesso em: 31 mar. 2025.

FERRAZ, L. C. C. B.; FREITAS, L. G. **Nematoides: biologia e controle**. Viçosa: Editora UFV, 2021.

FERREIRA, S. A.; VIEIRA, C. R. Abordagens sustentáveis no controle de fitonematoides em leguminosas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 52, 2022.

FREITAS, L. G. de. **Manejo biológico de nematoides em soja, milho e algodão**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE NEMATOLOGIA, 36., [S. l.: s. n.], 2019. Disponível em: <http://anais.infobibos.com.br/cbn/36/Palestras/Leandro%20Freitas.pdf>. Acesso em: 1 jul. 2024.

FREITAS, L. G. de; OLIVEIRA, R. D. L.; FERRAZ, S. Principais nematoides em soja e estratégias de controle. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, DF, v. 44, p. 85-94, 2019.

FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS (FGV). **Panorama do Agronegócio Brasileiro: soja mantém liderança na balança comercial**. Rio de Janeiro: FGV Agro, 2025. Disponível em: <https://portal.fgv.br>. Acesso em: 17 out. 2025.

GARDIANO-LINK, Cristiane G.; SANTANA-GOMES, Sílvia de M.; KLUGE, Elizandro R.; FEKSA, Heraldo R.; KLUGE, Fábio T. da R.; DIAS-ARIEIRA, Cláudia R. Management systems for nematode control in soybean fields in south-central Paraná, Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 57, e02526, 2022. DOI: 10.1590/S1678-3921.pab2022.v57.02526. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pab/a/yCQys3gtczvmtRW9GDLPDmw/>. Acesso em: 13 jun. 2025.

GARDNER, Matthew; HEINZ, Rebecca; WANG, Xiaowu. Genetics and Adaptation of Soybean Cyst Nematode to Broad Spectrum Soybean Resistance. **G3: Genes, Genomes, Genetics**, v. 7, n. 3, p. 835–841, 10 mar. 2017. DOI: 10.1534/g3.116.035964. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC5345713/>. Acesso em: 13 jun. 2025.

GIRALDELI, Ana Ligia et al. Weeds hosts of nematodes in sugarcane culture. *Planta Daninha*, Viçosa, v. 35, e017156815, 2017. DOI: 10.1590/s0100-83582017350100021. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-83582017000100221&lng=en&tlng=en. Acesso em: 13 jun. 2025.

GLASENAPP, J. S. et al. Diversidade de características agronômicas e moleculares em cultivares de soja com diferentes graus de resistência à *Phakopsora pachyrhizi*. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 31, n. 1, p. 25-36, jan./fev. 2015. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/17166>. Acesso em: 13 jun. 2025.

GÓMEZ-LUNA, Blanca Estela et al. Aplicación de microorganismos benéficos para la producción de flor de cempasúchil (*Tagetes erecta*). *Revista de Innovación Sistemática*, [Cidade do México], v. 3, n. 9, p. 1–4, mar. 2019. DOI: 10.35429/JSI.2019.9.3.1.4. Disponível em: https://www.ecorfan.org/taiwan/research_journals/Innovacion_Sistemica/vol3num9/Revista_de_Innovacion_Sistem%C3%A1tica_V3_N9_1.pdf. Acesso em: 13 jun. 2025.

GOULART, A. **Controle biológico de nematoides: 5 microrganismos utilizados**. Agroadvance, 27 abr. 2023. Disponível em: <https://agroadvance.com.br/blog-controle-biologico-de-nematoides/>. Acesso em: 1 jul. 2024.

GULART, C. et al. Tecnologia de aplicação para controle de fitonematoides em soja. **Elevagro Blog**, [S. l.], 23 fev. 2022. Disponível em: <https://elevagro.com/blog/tecnologia-de-aplicacao-para-controle-de-fitonematoides-em-soja/>. Acesso em: 10 jul. 2025.

HARBACH, Chelsea J.; WLEZIEN, Elizabeth; TYLKA, Gregory L. A mechanistic approach to assessing the potential for cover crops to serve as trap crops for the soybean cyst nematode. *Plant Disease*, St. Paul, v. 105, n. 4, p. 1136-1142, abr. 2021. DOI: 10.1094/PDIS-05-20-0964-RE. Disponível em: <https://apsjournals.apsnet.org/doi/10.1094/PDIS-05-20-0964-RE>. Acesso em: 13 jun. 2025.

IBAMA. **Relatório de Substâncias Restritas e Banidas**. Brasília, DF, 2023.

IJANI, A. S. M.; MMBAGA, M. T. Studies on the control of root knot nematodes (*Meloidogyne* species) on tomato in Tanzania using marigold plants (*Tagetes* species), ethylene dibromide and aldicarb. *International Journal of Pest Management*, London, v. 34, n. 2, p. 147-149, abr./jun. 1988. DOI: 10.1080/09670878809371229. Disponível em: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/09670878809371229>. Acesso em: 13 jun. 2025.

INSTITUTO GOIANO DE AGRICULTURA. **Resultados Finais Nematologia Safra 2023/2024**. Montividiu, 2024. Disponível em: https://iga-go.com.br/images/IGA_Resultados_Finais_Nematologia_safra_2023.2024.pdf. Acesso em: 2 jul. 2025.

HIRAKURI, M. H.; LAZZAROTTO, J. J. **O agronegócio da soja nos contextos mundial e brasileiro**. Londrina: Embrapa Soja, 2014.

KOENNING, S. R.; WRATHER, J. A. Suppression of soybean yield potential by plant diseases from 2006 to 2009. **Plant Health Progress**, St. Paul, v. 11, 2010.

LEANDRO, H. M.; ASMUS, G. L. Rotação e sucessão de culturas para o manejo do nematoide reniforme em área de produção de soja. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 45, n. 6, p. 947-952, jun. 2015. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cr/a/nQMfb86jbrHrr4NT775rrhD/>. Acesso em: 10 jul. 2025.

LIAN, Y.; WU, X.; XU, Z.; (outros autores conforme o artigo). The spatial distribution and genetic diversity of the soybean cyst nematode, *Heterodera glycines*, in China: It is time to take measures to control soybean cyst nematode. **Frontiers in Plant Science**, v. 13, p. 1–14, 15 jun. 2022. DOI: 10.3389/fpls.2022.927773. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9242501>. Acesso em: 13 jun. 2025.

LORDELLO, Rubens Rodolfo Albuquerque; SABINO, Nelson Paulieri. Efeito do controle de nematóides na qualidade da fibra do algodoeiro. *Bragantia*, Campinas, v. 44, n. 2, p. 695-699, 1985. DOI: 10.1590/S0006-87051985000200016. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0006-87051985000200016&lng=pt&tlng=pt. Acesso em: 13 jun. 2025.

LOUREIRO, Eduardo S.; OLIVEIRA, Carla M.; SILVA, Ricardo P.; (demais autores conforme artigo). Benefícios econômicos do manejo biológico de *Heterodera glycines* na cultura da soja. **Revista de Gestão e Secretariado**, São Paulo, v. 15, n. 1, p. 102–113, 2024. Disponível em: <https://ojs.revistagesec.org.br/secretariado/article/view/3343>. Acesso em: 13 jun. 2025.

LOUREIRO, Eduardo S.; SANTOS, Thiago A.; PEREIRA, Marcos R; Management of *Pratylenchus brachyurus* with *Trichoderma harzianum* and *Purpureocillium lilacinum* in soybean. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 7, p. e124973828, maio 2020. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/3828>. Acesso em: 13 jun. 2025.

LOURENÇO, C. M.; FARIAS, G. M.; MARINHO, F. A. Genética de resistência à *Heterodera glycines*. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 48, n. 7, p. 1-8, 2018.

MACHADO, A. W. Como usar plantas armadilhas para o controle de pragas? **Agrolink**, [S. l.], 2024. Disponível em: https://www.agrolink.com.br/agrolinkfito/manejo-integrado/manejo-integrado-de-pragas/como-usar-plantas-armadilhas-para-o-controle-de-pragas-_494237.html. Acesso em: 10 jul. 2025.

MANEJO biológico de nematoides: uso de *Bacillus* para controle. **Dillon Biotecnologia**, [S. l.], [s.d.]. Disponível em: <https://dillonbio.com.br/blog/controle-biologico/manejo-biologico-de-nematoides-uso-de-bacillus-para-controle>. Acesso em: 10 jul. 2025.

MAPA – MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. *Mapa registra novas inovações tecnológicas para o controle de pragas na agricultura*. Brasília, DF: MAPA, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/mapa-registra-algumas-inovacoes-tecnologicas-para-o-controle-de-pragas-na-agricultura>. Acesso em: 20 out. 2025.

MCCARVILLE, Micheal T.; SKINNER, Krista; THOMPSON, Justin; (lista completa de autores conforme artigo). Soybean Cyst Nematode Management Is Improved by Combining Native and Transgenic Resistance. *Plant Disease*, v. 107, n. 9, p. 2792–2798, set. 2023. DOI: 10.1094/PDIS-10-22-2515-RE. Disponível em: <https://apsjournals.apsnet.org/doi/10.1094/PDIS-10-22-2515-RE>. Acesso em: 13 jun. 2025.

MENDONÇA, M. S.; PEREIRA, F. L.; ALMEIDA, R. V. Eficiência de bioinsumos no controle de nematoides. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, Sobral, v. 17, n. 2, p. 99-107, 2023.

MO, Chenmi; ZHANG, Lei. Unraveling the Roles of Neuropeptides in the Chemosensation of the Root-Knot Nematode *Meloidogyne javanica*. *International Journal of Molecular Sciences*, v. 25, n. 12, p. 6300, jun. 2024. DOI: 10.3390/ijms25126300. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1422-0067/25/12/6300>. Acesso em: 13 jun. 2025.

MUNIZ, F. R. S. et al. Genetic variability in soybean with resistance to cyst nematode and powdery mildew: impact of multi-parent crosses on recombination and genetic diversity. *Brazilian Journal of Biology*, [S. l.], v. 85, p. e290697, dez. 2025. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/bjb/a/GyK9qyqprrzpQMDM3TXfWdz/?lang=en>. Acesso em: 13 jun. 2025.

NATIONAL LIBRARY OF MEDICINE (PMC). *Successful treatment of Paecilomyces lilacinus: mechanisms of nematocidal action*. Maryland: PubMed Central, 2016. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4908444/>. Acesso em: 20 out. 2025.

NEMATOIDE de cisto: cultivares Brasmax resistentes. Blog Brasmax Genética, [S. l.], 23 ago. 2022. Disponível em: <https://www.brasmaxgenetica.com.br/blog/nematoide-de-cisto-cultivares-brasmax-resistentes/>. Acesso em: 2 jul. 2025.

NEMATOIDES: prejuízos podem chegar a R\$27,7 bilhões por ano na cultura da soja. Mais Agro, São Paulo: Syngenta, [2022]. Disponível em: <https://maisagro.syngenta.com.br/dia-a-dia-do-campo/nematoides-prejuizos-podem-chegar-a27-7-bilhoes-por-ano-na-cultura-da-soja/>. Acesso em: 2 jul. 2025.

NOGUEIRA, S. R.; ALMEIDA, D. P.; FERNANDES, R. R. A cultura da soja e seus desafios fitossanitários. *Revista Brasileira de Agrociência*, Santa Maria, v. 27, n. 3, p. 123-132, 2021.

OLIVEIRA, C. M. G.; SANTOS, J. M.; CASTRO, L. H. S. **Impacto dos fitonematoides na agricultura brasileira**. *Nematologia Brasileira*, v. 45, n. 2, p. 34–52, 2021.

OLIVEIRA, Felipe de Paula et al. Manejo sustentável de nematoides no cafeeiro. Observatório de la Economía Latinoamericana, Málaga, v. 22, n. 11, p. e7793, nov. 2024. DOI: 10.61180/olel.v22i11.7793. Disponível em: <https://ojs.observatoriolatinoamericano.com/ojs/index.php/olel/article/view/7793>. Acesso em: 13 jun. 2025.

OLIVEIRA, R. D. L.; MARTINS, E. R.; VIEIRA, J. L. Diagnóstico e manejo de nematoides da soja. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Brasília, DF, v. 51, n. 2, p. 1-9, 2021.

PREJUÍZOS provocados pelos nematoides na agricultura brasileira. **Revista Campo & Negócios**, [S. l.], 2023. Disponível em: <https://revistacampoenegocios.com.br/prejuizos-provocados-pelos-nematoides-na-agricultura-brasileira/>. Acesso em: 16 abr. 2025.

SANTANA, M. V. et al. Modos de aplicação de nematicidas para o controle do nematoide-das-galhas *Meloidogyne javanica* em soja. **Multi-Science Journal**, [S. l.], v. 1, n. 4, p. 66-69, mar. 2018. Disponível em: <https://periodicos.ifgoiano.edu.br/index.php/multiscience/article/view/144>. Acesso em: 13 jun. 2025.

SANTOS, A. R. B. et al. Agentes de biocontrole no manejo de *Pratylenchus brachyurus* na cultura da soja. **Revista de Ciências Agrárias**, [S. l.], v. 42, n. 3, p. 776-785, set. 2019. Disponível em: <https://revistas.rcaap.pt/index.php/rca/article/view/17201/14457>. Acesso em: 13 jun. 2025.

SANTOS, M. A. dos et al. Manejo de nematoides na cultura da soja. **Agro@mbiente On-line**, Vitória, v. 14, n. 1, p. 1-10, 2020.

SANTOS, P. et al. Nematicida biológico, plantas de cobertura e cultivares no manejo de nematoides. *Revista Cultivar*, Pelotas, 17 jun. 2024. Disponível em: <https://revistacultivar.com.br/artigos/nematicida-biologico-plantas-de-cobertura-e-cultivares-no-manejo-de-nematoides>. Acesso em: 2 jul. 2025.

SEIXAS, C. D. S. et al. Bioinsumos para o manejo de doenças foliares na cultura da soja. In: MEYER, M. C. et al. (org.). **Bioinsumos na cultura da soja**. Brasília, DF: Embrapa, 2022. cap. 19, p. 331-343.

SEVERINO, L. S.; PAULINO, H. B.; FONSECA, A. R. Impacto da rotação de culturas no controle de fitonematoides. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**, Brasília, DF, v. 31, p. 77-83, 2020.

SILVA, A. P.; CUNHA, D. F.; BATISTA, R. S. Efetividade de nematicidas comerciais em soja. **Cadernos de Agroecologia**, Viçosa, MG, v. 16, n. 4, p. 345-352, 2021.

STIRLING, C. A. T. Integrated agroecological practices for nematode management. **Journal of Agroecology**, London, v. 5, n. 1, p. 45-60, 2014.

SYNGENTA. Pesquisa inédita revela mapa de crescimento e danos econômicos causados por nematoides. **Syngenta Brasil**, [S. l.], 2023. Disponível em: <https://www.syngenta.com.br/press-release/institucional/pesquisa-inedita-revela-mapa-de-crescimento-e-danos-economicos-causados>. Acesso em: 16 abr. 2025.

TAVARES, M. C. **Influência de novas moléculas químicas na penetração, desenvolvimento e reprodução de *Pratylenchus brachyurus* e *Meloidogyne javanica* na cultura da soja**. 2023. Dissertação (Mestrado em Proteção de Plantas) – Instituto Federal Goiano, Rio Verde, 2023. Disponível em: https://sistemas.ifgoiano.edu.br/sgcursos/uploads/anexos_1/2023-10-11-07-41-19disserta%C3%A7ao_Mirian%20Carvalho.pdf. Acesso em: 10 jul. 2025.

TIHOLE, S. S. et al. Integrated Nematode Management in Soybean: A Review. **Journal of Nematology Research**, New Delhi, v. 55, n. 3, p. 22-31, 2023.

UOL ECONOMIA. **Produção brasileira de soja deve crescer 14% na safra 2024/25, aponta Conab**. São Paulo: UOL, 2024. Disponível em: <https://economia.uol.com.br>. Acesso em: 17 out. 2025.

ZHAO, Jing; WANG, Xia; LI, Qiang; Nematicidal potential of *Microbacterium maritopicum* Sneb159 against *Heterodera glycines* and the complete genome sequence analysis. **Frontiers in Plant Science**, v. 16, p. 1485160, fev. 2025. DOI: 10.3389/fpls.2025.1485160. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2025.1485160/full>. Acesso em: 13 jun. 2025.

CONCLUSÃO GERAL

Os resultados deste trabalho confirmam que o manejo de fitonematoides na soja não se sustenta em uma única ferramenta, mas em um arranjo integrado e hierárquico de estratégias. O controle cultural se consolidou como a base indispensável do sistema, por atuar de modo preventivo na redução do inóculo e por promover melhorias estruturais e biológicas do solo. Sobre essa fundação, o controle genético ocupa papel central, oferecendo eficiência operacional e baixo impacto ambiental. Contudo, sua durabilidade é limitada pela seleção de populações virulentas e pela escassez de fontes de resistência efetivas para *Meloidogyne* spp. e, em menor escala, para *Pratylenchus brachyurus*.

Os controles biológico e químico se mostraram táticas complementares com lógicas distintas. O biológico agrega persistência e sustentabilidade, mas apresenta desempenho variável em campo, condicionado a fatores edafoclimáticos e à microbiota nativa. O químico entrega resposta rápida e é crucial em cenários de alta pressão, porém com efeito residual curto, custo elevado e potenciais impactos ambientais. O controle comportamental surge como fronteira promissora, principalmente por interferir na quimiotaxia e no comportamento do patógeno, mas ainda carece de validação e escalabilidade para uso rotineiro.

Diante desse panorama, a estratégia mais resiliente combina: i) adoção sistemática de práticas culturais na entressafra e ao longo do sistema produtivo, com rotação e plantas de cobertura supressoras; ii) uso de cultivares resistentes, com rotação de fontes de resistência e, quando disponível, piramidação de genes para retardar quebras; iii) suplementação com bioinsumos compatíveis e bem posicionados no tempo e no espaço; iv) uso criterioso e pontual de nematicidas, preferencialmente em tratamento de sementes ou sulco, com rotação de modos de ação e atenção à compatibilidade com agentes biológicos.

Para a tomada de decisão, recomenda-se um protocolo operacional baseado em monitoramento e diagnóstico: amostragem de solo e raízes por talhão, identificação de espécies

e quantificação de populações, definição de níveis de ação, escolha de combinações táticas por safra e avaliação pós-colheita para retroalimentar o plano de manejo. Esse ciclo contínuo permite ajustar a intensidade de intervenções, reduzir custos desnecessários e mitigar riscos de seleção de resistência.

Este estudo também evidencia lacunas críticas que orientam uma agenda de pesquisa aplicada. Destacam-se a ampliação da base genética de resistência para *Meloidogyne* spp. e *P. brachyurus*, o desenvolvimento de formulações biológicas mais estáveis e adaptadas a diferentes condições de campo, a avaliação de estratégias comportamentais em escala operacional e a mensuração da durabilidade de tecnologias genéticas e químicas em séries temporais longas. Avanços nessas frentes tendem a aumentar a previsibilidade dos resultados e a longevidade das ferramentas disponíveis.

Em síntese, a sustentabilidade e a competitividade da sojicultura diante dos fitonematoides dependem da integração disciplinada de práticas culturais, da gestão inteligente da resistência genética, da inserção criteriosa de bioinsumos e do uso tático de nematicidas. Quando ancorado em monitoramento, diagnóstico e rotação de estratégias, esse arranjo reduz perdas, preserva serviços ecossistêmicos do solo e prolonga a vida útil das tecnologias, assegurando produtividade com responsabilidade ambiental e econômica.