

BIONEMATICIDAS NO NORDESTE BRASILEIRO: O USO DE MICRORGANISMOS NATIVOS PARA UMA AGRICULTURA SUSTENTÁVEL

BIONEMATICIDES IN NORTHEASTERN BRAZIL: THE USE OF NATIVE MICROORGANISMS FOR SUSTAINABLE AGRICULTURE

Yrlânia de Lira Guerra¹
Aline Fernandes de Melo²
Lilian Margarete Paes Guimarães³
Bianca Galúcio Pereira Araújo⁴

RESUMO

Há diversos relatos de perdas econômicas na agricultura brasileira causada pelos nematoides. Decorrentes do manejo inadequado dos solos e aplicação de forma desordenada de produtos químicos. Só no ano de 2023 o MAPA registrou mais de 36 substâncias químicas com ação nematicidas, dessas apenas três, não oferecem riscos ao meio ambiente. O Brasil é um dos maiores consumidores dos agroquímicos, nos últimos 40 anos sucedeu um aumento no uso dos agrotóxicos em mais de 700%. A busca de um biocontrole eficaz é de extrema importância para uma agricultura mais sustentável e menos agressiva ao meio ambiente. O manejo de fitonematoides via a utilização de produtos biológicos é uma opção viável. Os bionemáticos são biocontroladores que empregam microrganismos antagonistas, têm mostrado ser mais eficazes e sustentáveis no controle desses parasitas, por meio de competição, antibiose e parasitismo. O objetivo desse trabalho é realizar um levantamento bibliográfico das pesquisas desenvolvidas na busca de novas tecnologias que forneçam aporte ao biocontrole integrado dos nematoides. Esses defensivos biológicos tem demonstrado esse potencial de bioprodutos para o controle biológico desses parasitas. O mercado brasileiro de nematicidas biológicos possui esse potencial em se tornar um dos pioneiros na utilização em larga escala desse tipo de bioinsumos, atendendo a uma demanda crescente mundial de uma expansão agrícola mais sustentável.

Palavras-chave: bionemáticas; nematoides; agricultura sustentável; fitonematoides.

¹Doutora em Agronomia – Melhoramento Genético de plantas. Pesquisadora do Programa de Capacitação Institucional do Centro de Tecnologias Estratégicas do Nordeste – CETENE. Recife. PE. Brasil. E-mail: yrvalg@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8313-3586>.

²Mestre em Fitopatologia. Doutoranda do Programa de Pós-graduação em Fitopatologia na Universidade Federal Rural de Pernambuco. Recife. PE. Brasil E-mail: alinefernandesmelo@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7152-4854>.

³Doutora em Fitopatologia. Docente titular do Programa de Pós-graduação em Fitopatologia na Universidade Federal Rural de Pernambuco. Recife. PE. Brasil. E-mail: lilian.guimaraes@ufrpe.br. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1740-6077>.

⁴Doutora em Agronomia – Melhoramento Genético de plantas. Tecnologista permanente das Pesquisas de Bioprocessamento de bioinsumos no Centro de Tecnologias Estratégicas do Nordeste – CETENE. Recife. PE. Brasil. E-mail: bianca.araujo@cetene.gov.br. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4163-0274>.

ABSTRACT

There are widespread reports of economic losses in Brazilian agriculture due to nematodes, resulting from inadequate soil management and the improper application of chemicals. In 2023 alone, MAPA (Ministry of Agriculture, Agriculture and Food Supply) registered more than 36 chemical substances with nematicidal action, of which only three pose no environmental risk. Brazil is one of the largest consumers of agrochemicals; over the past 40 years, pesticide use has increased by more than 700%. The search for effective biocontrol is crucial for more sustainable and environmentally friendly agriculture. Plant nematode management using biological products is a viable option. Bionematicides, biocontrol agents that employ antagonistic microorganisms, have proven to be more effective and sustainable in controlling these parasites through competition, antibiosis, and parasitism. The objective of this study is to conduct a bibliographic survey of research developed in the search for new technologies that provide support for the integrated biocontrol of nematodes. These biological pesticides have demonstrated the potential of bioproducts for the biological control of these parasites. The Brazilian biological nematicides market has the potential to become a pioneer in the large-scale use of these types of bioinputs, meeting a growing global demand for more sustainable agricultural expansion.

Key words: bionemáticas; nematodes; sustainable agriculture; phytonematoids.

Artigo recebido em: 21/01/2025

Artigo aprovado em: 10/09/2025

Artigo publicado em: 30/09/2025

Doi: <https://doi.org/10.24302/sma.v14.5791>

1 INTRODUÇÃO

Ao longo dos anos, os fitonematoides têm ocasionado grandes perdas econômicas na agricultura brasileira, especialmente em regiões do Nordeste. Diversos relatos atribuem os prejuízos ao manejo inadequado, à exaustão dos solos e ao uso indiscriminado de agroquímicos¹. Esses parasitas infestam principalmente as raízes, comprometendo o desenvolvimento das plantas e toda produção de alimentos².

Os nematoides ao penetrar parcial ou total nos tecidos vegetais, interrompem o transporte de água e nutrientes, ocasionando amarelecimento nas folhas, murcha, diminuição do sistema radicular, redução do crescimento das plantas e queda na produção. Além disso, possuem a aptidão de sobreviver por longos períodos no solo em condições ambientais adversas³. Com grandes habilidades de infectar diversas culturas agrícolas, sendo uma preocupação global a disseminação e multiplicação. Eles fazem parte do filo *Nematoda*, com diversas espécies, as mais conhecidas mundialmente são: *Pratylenchus* spp (causa lesões nas plantas), *Meloidogyne* spp (causa galhas nas raízes), entre outros³. Segundo a Sociedade Nematologia Brasileira, as perdas na agricultura por esses microrganismos de solos ultrapassam US\$ 6,5 bilhões ao ano, sendo a cultura da soja a mais afetada⁴.

As estratégias de controle ainda são limitadas. Práticas como rotação de cultura e utilização de cultivares resistente auxiliam na redução da população existente. Porém, muitas vezes ineficazes devido à variabilidade e resistência por alguns dos fitonematoides, como ocorre em determinadas raças do gênero *Meloidogyne*, que possuem a aptidão de superar a resistência atribuída pelo gene Mi⁵.

O controle químico, apesar de amplamente difundido, impacta negativamente o meio ambiente e a saúde humana⁶. A área de atuação limitando-se a região em torno da raiz, covas, sulcos de plantio ou as sementes⁷. Apenas uma pequena fração dos nematicidas disponíveis no mercado possui baixo risco ambiental^{11, 47}. Ainda assim, seu uso persiste por falta de alternativas acessíveis e eficazes. Muitos desses compostos atuam sobre o sistema nervoso, crescimento ou metabolismo dos nematoides, mas sua aplicação localizada favorece a formação de “áreas de escape” e a sobrevivência dos parasitas⁸.

Atualmente, o Brasil consome por ano mais de 25% de toda a produção mundial dos agroquímicos, um aumento no uso dos agrotóxicos em mais de 700% nas últimas quatro décadas¹². O controle ineficiente e o aumento dos custos de produção têm incentivado a busca por estratégias mais sustentáveis, especialmente por parte dos pequenos agricultores nordestinos, que enfrentam limitações técnicas e financeiras^{11,13}.

Diante desse cenário, o controle biológico surge como uma opção promissora, baseado na utilização de microrganismos antagonistas aos fitonematoides¹⁴. Essa abordagem é sustentável, de baixo impacto ambiental e pode ser adaptada às condições específicas do Nordeste brasileiro, especialmente quando se utiliza agentes biológicos nativos da Caatinga.

A falta de medidas eficazes para erradicação desses patógenos, incentiva ao desenvolvimento de produtos orgânicos com maior período de ação, sustentáveis e adequados para o campo. Com foco em pesquisas contínuas, devido aos nematoides possuírem ampla capacidade de adaptação a diversos ambientes distintos¹⁵.

Esta revisão tem como objetivo abranger um panorama das inovações tecnológicas voltadas ao biocontrole de fitonematoides, com ênfase na seleção de microrganismos promissores para o desenvolvimento de bionematicidas. A proposta é fortalecer a agricultura familiar e promover práticas mais ecológicas no manejo fitossanitário de culturas afetadas por esses patógenos radiculares no Nordeste brasileiro.

2 METODOLOGIA

A metodologia adotada compreendeu três etapas:

- Seleção das fontes de consultas: Foi realizada uma busca sistematizada entre os meses de janeiro a setembro de 2024, nas seguintes bases de dados: Acadêmicos, bibliotecas online e artigos científicos de revistas, como periódicos da Capes, Web of Science, Scientific Electronic Library Online

(SciELO). Para uma triagem mais apurada sobre o assunto, foram utilizados como busca os termos 'bionematicidas', 'controle biológico de nematoides', 'microrganismos nematófagos', 'microrganismos da Caatinga', assegurando uma abordagem ampla e representativa do tema. A busca pelos materiais foi realizada com termos em português e inglês;

- Critérios de Inclusão e Exclusão: Foram incluídos artigos completos e revisados por pares, publicados a partir do ano 2000, com foco em estudos experimentais ou revisões sobre o uso de microrganismos para o controle de fitonematoídeos. Documentos que apresentavam apenas resumos, duplicados, ou sem relevância direta ao objetivo da pesquisa foram excluídos. Priorizaram-se publicações com base metodológica sólida, acesso aberto e contextualização regional quando possível;
- Processo de Seleção e Análise: Os artigos selecionados foram avaliados quanto à sua conexão ao assunto desta revisão. Em seguida, os textos completos foram analisados quanto à qualidade metodológica, atualidade, valor científico e aplicabilidade prática dos dados. As informações extraídas foram organizadas e compiladas de forma crítica, para identificar tendências, lacunas e perspectivas futuras sobre o uso de microrganismos nativos como bionematicidas.

3 RESULTADOS

Os bionematicidas são bioprodutos derivados de ativos biológicos naturais, como plantas, hormônios, insetos, nematoides, bactérias e fungos¹⁶. Esse tipo de manejo é chamado de controle biológico, refere-se ao controle de um agente causal de fitodoença por meio de um antagonista¹⁷.

Segundo o Comitê Brasileiro de Ação à Resistência a Inseticidas - IRAC-BR, o modo de ação desses nematicidas para o controle de nematoides parasitas de plantas, ocorrem principalmente no sistema nervoso e muscular ou no crescimento e desenvolvimento do ciclo de vida do parasita ou afeta a respiração ou ainda não foi elucidado (Figura 1)⁷.

Figura 1 – Modo de ação do nematicida ao serem aplicados no solo e na planta



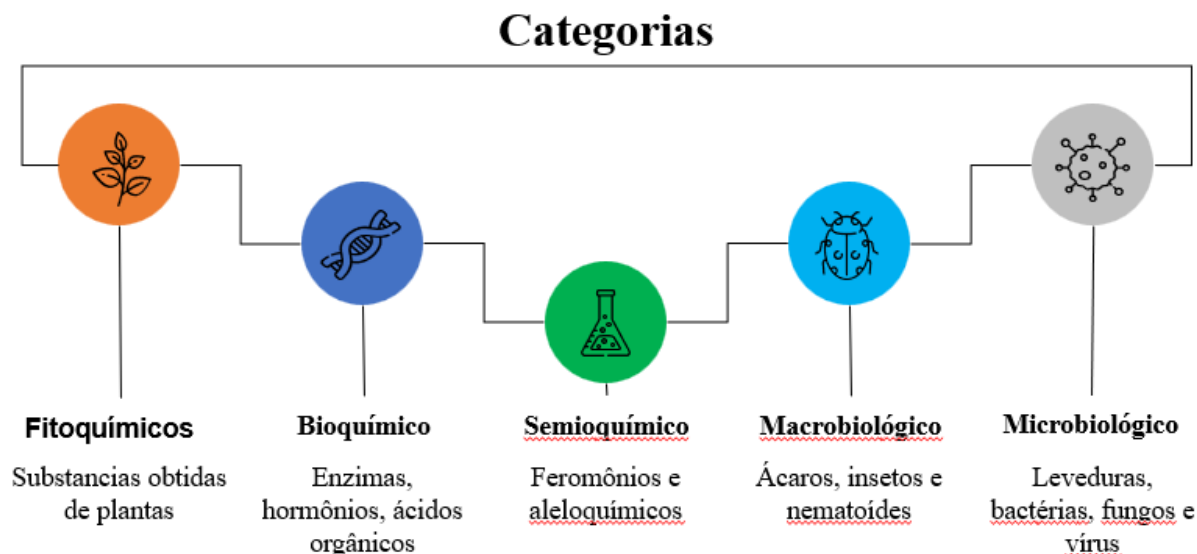
Os bioprodutos integram os bioinsumos, que são definidos segundo o Artigo 2 do Decreto nº 10.375/2020 como produtos, processos ou tecnologias de origem vegetal, animal ou microbiana que influenciam positivamente no crescimento, desenvolvimento e mecanismos de resposta de plantas, animais e microrganismos¹⁸.

Os produtos biológicos são agrupados em: (I) biofertilizantes, (II) bioestimulantes e (III) biodefensivos, com ação distintas sobre o crescimento vegetal¹⁹. Os biofertilizantes podem agir de forma direta, ou indireta, sobre as plantas, elevando a sua produtividade e melhorando a qualidade dos produtos obtidos, desde que manuseados adequadamente²⁰. Os bioestimulantes são comumente descritos na literatura como produtos que favorecem o crescimento e a produtividade da lavoura, além de controlar o estresse abiótico durante a safra²¹.

A figura 2 ilustra as cinco categorias dos biodefensivos: Fitoquímicos (substâncias extraídas das plantas), bioquímicos (ativos químicos naturais, produzidos via manejo de organismos vivos), semioquímicos (sinais químicos provenientes dos organismos vivos), além de macro e microrganismos. Nas formulações destes produtos é possível encontrar vários metabólitos naturais^{18,19}.

O Brasil é o país com a maior área de aplicação do controle biológico de fitodoença e pragas no mundo, com cerca de 30 milhões de hectares¹⁷. O uso de biocontrole cresceu 28% em 2021/2022, evidenciando um crescimento expressivo na adoção das técnicas, mas uma abertura dos produtores a esse novo tipo de controle. Segundo relatos dos produtores, os biodefensivos promoveram o controle de até 29% das pragas e doenças, isso refletiu na redução de 25 % das aplicações²².

Figura 2 – As cinco categorias dos produtos biológicos disponíveis atualmente no mercado¹⁹



Em 2022, a ANVISA (Agência Nacional de Vigilância Sanitária) registrou um aumento de 70% nos pedidos para liberação de registro de produtos biológicos em relação a 2021, superando a taxa de crescimento internacional de 38%²³. Esse aumento retrata uma crescente preocupação com a integridade dos ecossistemas agrícolas e os impactos negativos dos agroquímicos no meio ambiente²⁴. Os bioprodutos usados para o controle de pragas e doenças na agricultura são outras formas de agroquímicos, cuja base de elaboração é desenvolvida a partir de ativos biológicos naturais (plantas, hormônios, ácaros, insetos, nematoides, vírus, bactérias, fungos, entre outros). Esses produtos eliminam a praga-alvo com baixo risco à saúde do homem e ao meio ambiente, sem causar danos significativos ao ecossistema. Até o final de 2023, o Brasil tinha 552 produtos biológicos registrados, destes quase 70 são bionematicidas²³.

4 DISCUSSÃO

Cerca de 80% dos antagonistas dos nematoides encontram-se no solo, como bactérias e fungos¹¹. Estes possuem a habilidade de predação e parasitam os ovos e cistos, produzindo metabólitos tóxicos aos fitonematoides²⁵. Esses microrganismos são biocidas com ação nematicida e agem via competição, antibiose e parasitismo²⁶. As formulações podem estimular de forma direta o crescimento das plantas, acelerar o processo de mineralização, a produção de hormônios, a solubilização do fósforo, a fixação biológica de nitrogênio e a produção de sideróforos. Além disso, pode agir de forma indireta através da promoção de resistência sistêmica, produção de antibióticos e antagonismo em relação aos fitopatógenos²⁵.

O modo de ação envolvido no biocontrole inclui organismos contra nematoides parasitas de plantas, os chamados de OAPPN (Organisms Against Plant Parasitic

Nematodes) e agentes promotores do crescimento das plantas, chamados de PGPA (Plant Growth Promoting Agents). Os PGPA não se limitam aos microrganismos como agentes de controle biológicos, eles também incluem seus metabólitos²⁷. Na literatura, há relatos de outros agentes biocontroladores, como vírus, ácaros, colêmbolos, turbelários, oligoquetas, protozoários e algumas espécies desses parasitas do solo são predadores. No entanto, sua aptidão de biocontrole foi bem limitada, distintamente das bactérias e fungos que tiveram suas habilidades biocontroladoras comprovadas e eficientes, sendo os antagonistas mais proeminentes do biocontrole dos OAPPN⁹.

O modo de ação dos OAPPN age de forma direta nesses fitopatógenos, são chamados de antagonistas, que desencadeará uma ação de antibiose, competição por nutrientes, exclusão de nicho e supressão mediada por sideróforos. Em relação aos PGPA, ocasiona um efeito no hospedeiro, favorecendo a indução de resistência, gerando uma resistência sistêmica adquirida (SAR) ou resistência sistêmica induzida (ISR)⁹.

Os nematoides possuem um ciclo de vida com seis fases: uma de ovo, quatro estádios juvenis (J1 a J4) e a forma adulta (macho ou fêmea). As fases mais vulneráveis e adequadas para o manejo de biocontrole são nas fases de o ovo e os juvenis até o J2, antes de eclodirem dos ovos. Enquanto não saem dos ovos, sua cutícula é frágil e fina, tornando-o suscetível aos predadores e as condições do ambiente externo⁸. Neste cenário, no solo, microrganismos antagonistas possuem a oportunidade de entrar em contato, infectar e parasita-los. Ao interromper as fases iniciais de desenvolvimento dos fitonematoides, alterando seu ciclo de vida, é possível reduzir a densidade populacional deles no local⁹.

Os agentes biológicos da PGPA representam novas alternativas para substituir os agroquímicos na agricultura. Eles auxiliam as plantas usando mecanismos que facilitam diretamente a aquisição de recursos e produção de citocinina e giberelinas^{10,28}. Os hormônios (citocininas, auxinas e giberelinas) influenciam na resistência da planta aos fitopatógenos⁹.

As citocininas promovem o desenvolvimento de tecidos e células isoladas, acelerando o crescimento de embriões nas plantas. De forma conjunta com as auxinas, atuam na dominância apical, formação de brotos, senescência das folhas, crescimento das raízes, germinação das sementes e respostas ao estresse^{10, 29}. Na agricultura, elas auxiliam na sobrevivência das plantas por emitir vários perfilhos e brotações^{30, 31}.

As giberelinas são responsáveis pelo alongamento e a divisão celular, influenciando a germinação de sementes, a floração, a determinação do sexo e a antecipação da frutificação³². Além disso, auxiliam em diversos outros processos metabólicos nos vegetais, tais como: manejo de patógenos, indução de tolerância ou resistência à doença. Entretanto, para que esta ação seja perfeita, dependerá do período de aplicação, do híbrido e da variedade utilizada³³.

4.1 Microrganismos e o efeito dos nematicidas biológicos

Os organismos, macro e microrganismos, possuem entre si diversos tipos de interações, fundamentais para a manutenção do ecossistema. Essas relações podem ser diretas ou indiretas, envolvendo mecanismos de predação, parasitismo, mutualismo ou competição³⁴.

- *Bactérias bionematicidas*

Diversos gêneros de bactérias possuem capacidade de parasitar e preda os nematoides. Os principais gêneros relatados são: *Pasteuria*, *Pseudomonas*, *Burkholderia*, *Arthrobacter*, *Serratia*, *Achromobacter* e *Rhizobium*. Esses gêneros atuam na produção de antibióticos ou outros tipos de antagonismo, ocorrendo dentro ou não do mesmo gênero³⁰. A aplicação de *Bacillus cereus* colonizou os exsudatos das raízes das plantas de tomate favorecendo no controle do *M. incognita* ao repelir juvenis (J2) e reduzir os danos ocasionados pelos nematoides nas plantas. O gênero *Bacillus* possui ação enzimática para o controle dos fitonematoides do gênero *Meloidogyne*^{2,36}. Em outro experimento, plantas tratadas preventivamente com aplicações de *Agrobacterium tumefaciens* tiveram redução da incidência de galhas nas raízes causada por *M. ethiopica*³⁷.

- *Fungos com ação bionematicida*

Fungos e nematoides estão entre os organismos mais abundantes do ecossistema terrestre. Os fungos com ação de preda ou parasitar os fitonematoides são chamados de nematófagos, sendo os inimigos naturais no solo^{3, 38}. A utilização desses fungos com biocontroladores naturais é uma tática amplamente utilizada, aliada a outras práticas, favorecendo um manejo cultural mais sustentável³⁸. Esses fungos possuem grande diversidade morfológica. Geralmente são saprófitos no solo, ao encontrarem um hospedeiro, passam a parasitar ou preda nematoides, infectando e digerindo-os. Isso ocorre porque os fungos são notáveis decompositores de matéria orgânica morta, realizando a ciclagem de nutrientes no meio ambiente³⁹.

As interações entre fungos e nematoides podem ser antagônicas ou mutualísticas, diretas ou indiretas. A compreensão desses tipos de relações é fundamental para o entendimento das consequências ao meio ambiente e seu potencial de utilização na agricultura⁴⁰. Esse relacionamento tem despertado o interesse no meio acadêmico e nos produtores, que buscam novas estratégias de controle desses parasitas radicular. Além de, utilizarem fungos habitantes do solo para favorecer os produtos agrícolas. Essas relações são bastante variáveis e peculiares entre as espécies de fungos e nematoides, porém sofrem influências ambientais, as quais têm ação no tipo e importância⁴⁰.

Até 2018, cerca de 730 espécies de fungos com ação nematófaga foram descritos na literatura, classificadas como fungos predadores ou endoparasitas de nematoides³⁸. Estes últimos subdividem-se em: parasitas de ovos; de cistos e fêmeas; de juvenis; e de qualquer estágio de desenvolvimento⁴².

Cerca de 75% desses fungos predadores são hifomicetos pertencentes a ordem dos *Orbiliiales*, porém há relatos de alguns exemplares com essa característica dentro dos filos *Basidiomycota* e *Zygomycota*⁴. Entre 2000 e 2005, os fungos nematófagos sofreram diversas reclassificações, resultando no agrupamento de quatro gêneros: *Dactyllina*, *Gamsylella*, *Arthrobotrys* e *Drechslerella*⁴³.

Cada grupo possui estratégias distintas para aprisionar sua presa, seja aderindo à cutícula ou atacando os nematoides ou usando-os como fonte de nutrientes. No entanto, esses fungos são decompositores orgânicos, com uma menor taxa de desenvolvimento e competição de colonização no solo, quando comparados com outros indivíduos que possuem maior velocidade de crescimento⁴⁴.

4.2 Algumas aplicações em pesquisas

Na literatura, existem inúmeros trabalhos de manejo biológico dos fitonematoides. Em sua maioria, as abordagens aplicadas restringem-se a aplicação de apenas um antagonista para o controle do nematoide⁹. Todavia, para que o biocontrole tenha uma maior eficiência, recomenda-se a mixagem de microrganismos com características nematófagas. A utilização de diversos antagonistas tem maior sucesso no manejo biológico e aumenta seu efeito, devido a ampliação do espectro de atividades que reúnem vários mecanismos de ação contra o patógeno alvo. Em função disso, é sugerido o controle biológico como uma alternativa promissora para o controle de nematoides na agricultura. Esses agentes biológicos apresentam vantagens significativas em termos de segurança ambiental e ausência de resíduos tóxicos⁴⁵.

A utilização de bionematicidas é uma forma de reduzir os custos de produção, sendo uma prática ecologicamente mais adequada e acessível ao produtor⁵³. Até o momento, no Brasil, são registrados 69 nematicidas microbiológicos⁴⁷.

O controle biológico utilizando fungos produzem enzimas tóxicas capazes de inibir a ovo posição e a eclosão de juvenis. Outros microrganismos infectam o nematoide, usando-o como incubadora para a produção de esporos, reduzindo a capacidade reprodutiva. As rizobactérias são comumente utilizadas, pois liberam substâncias antibióticas e tóxicas aos fitonematóides, atuando diretamente no desenvolvimento dos ovos, interrompendo o crescimento do embrião, impedindo a sua penetração na raiz, assim como a eclosão dos ovos. O resultado é uma desorientação direcional na movimentação em busca das raízes¹¹. As bactérias do gênero *Bacillus*, ao serem inoculadas em sementes de soja, inibem a infecção por *Pratylenchus brachyurus* e interferem no desenvolvimento dos ovos no solo e nas raízes⁴⁸.

Alguns fungos exercem efeito sobre a eclosão, mobilidade e capacidade de penetração dos nematoides no hospedeiro, mediante a produção de metabólitos tóxicos, podendo ainda alterar a fisiologia da planta, tornando-a menos atrativa ou ainda parasitando ovos e suas fêmeas².

Com relação à aplicação dos extratos vegetais, destaca-se a eficiência do nim, especificamente o nim indiano (*Azadirachta indica*) e o fedegoso (*Senna obtusifolia*),

os quais têm demonstrado que seus extratos aquosos possuem grande ação nematocida. Combinado com seus metabólitos secundários, que auxiliam na fertilização deles ⁴⁹.

Algumas pesquisas com aplicação do extrato aquoso de nim nas raízes infestadas por *Meloidogyne javanica* em tomate, demonstrou uma redução na incidência dos nematoides, especificamente no seu fator de reprodução⁵⁰. Com o *M. incógnita*, os resultados foram de 100% de mortalidade, após a aplicação in vitro do extrato alcoólico a 15% e 20% sobre os juvenis⁵¹.

4.3 Histórico do uso de Bionematicidas no Brasil

A história evolutiva da utilização de bionematicidas no Brasil está atrelada ao desenvolvimento dos bioinsumos. O interesse pela exploração dessa área é um reflexo da crescente conscientização sobre a necessidade de práticas agrícolas mais sustentáveis e da busca por soluções.

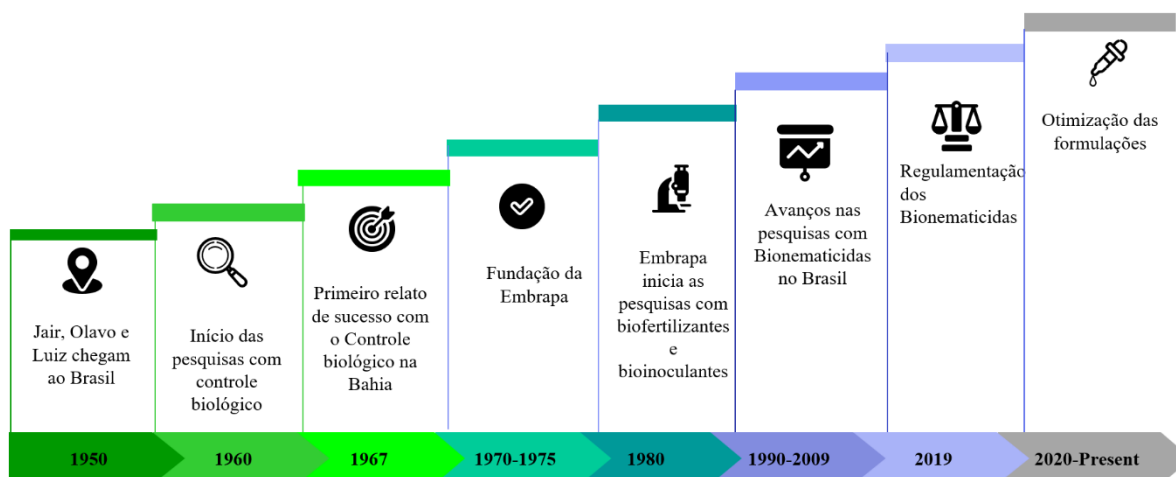
- 1950: Chegada ao Brasil, em São Paulo, de Jair Corrêa de Carvalho, Olavo José Boock e Luiz Gonzaga Engelberg Lordello, os pioneiros nas pesquisas em fitonematologia¹¹;
- 1960-1990: Busca mundial por práticas agrícolas sustentáveis, devido ao surgimento de resistência dos nematoides, fungos e bactérias aos produtos químicos, além do aumento de áreas degradadas e contaminadas. Na tentativa de reduzir o uso dos agroquímicos sintéticos, iniciaram-se pesquisas com o controle biológico, que começaram a ser explorados no Brasil ⁵²;
- 1967: A Bahia faz o primeiro registro de sucesso com biocontrole, utilizando a joaninha (*Neodusmetia sangwani*) para controlar a cochonilha (*Antonina graminis*). Anos depois, no biocontrole da broca-da-cana aplicando o fungo *Metarhizium anisopliae*, sem danos ao meio ambiente. Posteriormente, o biocontrole da fitovirose Tristeza dos citros foi realizado com um vetor de estirpes fracas do vírus aplicado nas plantas, manejo utilizado até os dias atuais ⁵³;
- 1970-1975: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) foi criada pelo governo, em 1973, para fornecer aporte ao desenvolvimento das pesquisas. Ligada ao Ministério da Agricultura Brasileiro, tem a função de coordenar o sistema de pesquisa e tecnologia agrícola⁵⁴;
- 1980: A Embrapa principiou as investigações com biofertilizantes e bioinoculantes, que posteriormente seriam inseridos dentro dos bioinsumos ⁵⁴;
- 1990-2009: Avanços na biotecnologia e na compreensão dos mecanismos de ação de microrganismos benéficos permitiram o desenvolvimento das pesquisas com bionematicidas no Brasil, com foco na identificação de espécies nativas que poderiam ser usadas no controle de nematoides. Universidades, institutos de pesquisa e empresas agrícolas investiram em estudos para avaliar a eficácia desses produtos em diferentes culturas e condições⁵³;
- 2010-2019: Com a crescente conscientização sobre a importância da agricultura sustentável, os governos iniciaram a regulamentação do uso de

nematicidas biológicos, certificações orgânicas e incentivos à adoção de práticas mais ecológicas. Início de ensaios em campo com resultados mais robustos e fidedignos na avaliação da eficácia dos bionematicidas. Estes se tornaram parte das estratégias de manejo integrado de nematoides, juntamente com as demais práticas como rotação de culturas, uso de variedades resistentes e monitoramento de pragas. Empresas nacionais e internacionais começaram a comercializar biocidas naturais contra nematoides no mercado brasileiro^{53, 54};

- 2020-Atualmente: Embora os bionematicidas tenham se mostrado eficazes, ainda existem desafios a serem enfrentados, como a otimização das formulações, a adaptação a diferentes espécies de nematoides e o aumento da conscientização dos agricultores. A pesquisa continua a ser fundamental para melhoria da eficiência dos nematicidas biológicos, além de, uma regulamentação padrão com o apoio governamental⁵³.

A história evolutiva dos bionematicidas no Brasil reflete a transição gradual de práticas agrícolas convencionais para abordagens mais sustentáveis (Figura 3). À medida que a agricultura busca equilibrar a produtividade com a conservação do meio ambiente, os produtos microbiológicos antinematoides desempenham um papel importante no manejo dos nematoides e na promoção da agricultura sustentável no país.

Figura 3 – Resumo do histórico de desenvolvimento dos Bionematicidas no Brasil



4.4 Bionematicidas no Nordeste brasileiro

A história da utilização de bionematicidas na região nordeste do Brasil segue em grande parte a evolução geral do uso desses produtos no país, mas também apresenta particularidades relacionadas às condições específicas do local. Na década de 1980, a introdução dos nematicidas biológicos na agricultura do Nordeste enfrentou desafios significativos, dada sua diversidade climática e a presença de nematoides prejudiciais em inúmeras culturas^{53, 54}.

Em meados da década de 1990, a pesquisa em bionematicidas concentrou-se em encontrar soluções específicas para as condições climáticas e os tipos de solo da região. A partir de 2010, os bioinsumos nematicidas tornaram-se parte importante das estratégias de manejo integrado de fitonematoides em toda a região Nordeste.

A crescente conscientização sobre a necessidade de práticas agrícolas sustentáveis e a preocupação com os impactos ambientais impulsionaram o uso comercial de nematicidas biológicos. A partir de 2019, o Centro de Tecnologias Estratégicas do Nordeste (CETENE) se tornou o pioneiro em pesquisas no desenvolvimento de bionematicidas com microrganismos nativos da região.

A região Nordeste continua enfrentando desafios específicos relacionados aos nematoides, devido às variações climáticas e de solo. A pesquisa e o desenvolvimento de bioinsumos com ação nematicidas adaptados a essas condições, desempenham um papel fundamental na promoção de uma agricultura sustentável na região. A parceria entre instituições de pesquisa, universidades, empresas e agricultores é essencial para identificar e implementar soluções eficazes.

4.5 Mercado Brasileiro de Bionematicidas

O Brasil tem grande potencial para ser um dos pioneiros na utilização de seus bioinsumos, considerando a busca por um desenvolvimento sustentável no setor agrícola. Atualmente, são registrados 69 bionematicidas, desses 62 estão disponíveis para comercialização. Há 14 tipos de agentes biocontroladores, sendo os fungos e as bactérias os principais agentes ⁵⁵.

Estima-se que, até 2030, o país mais que dobre o mercado de insumos biológicos, e os nematicidas biológicos correspondam a cerca de 35% desse crescimento, aproximadamente R\$ 1,2 bilhões. A busca por uma produção mais amistosa ao meio ambiente favorece o mercado de bionematicidas em todo o mundo. Entretanto, existem desafios a serem vencidos, especialmente em relação as formulações com informações mais detalhadas e específicas, o modo de ação, aplicação, tempo de prateleira, armazenamento e regulamentação efetiva¹.

5 CONCLUSÃO

Os avanços biotecnológicos para o biocontrole de fitonematoses são indispensáveis para uma agricultura mais sustentável. Para alcançar máxima eficiência dos bionematicidas, os microrganismos utilizados devem ser adaptados à região de aplicação ou possuir uma ampla adaptabilidade. Esses nematicidas biológicos, oferecem uma alternativa ao uso de produtos químicos, sendo mais seguros para o meio ambiente. Eles influenciam positivamente na produtividade agrícola e na sustentabilidade, especialmente em regiões vulneráveis, como o Nordeste. Investir em pesquisas e aprimorar esses bioprodutos é fundamental para garantir soluções acessíveis e adaptadas às condições locais.

REFERÊNCIAS

1. Machado ACZ. Bionematicides in Brazil: an emerging and challenging market. *Rev Bras Patol Plantas*. 2022 Jan 10;35–49. 10.31976/0104-038321v280002
2. Abd-Elgawad MMM, Askary TH. Fungal and bacterial nematicides in integrated nematode management strategies. *Egypt J Biol Pest Control*. 2018 Sep 24;28(1). 10.1186/s41938-018-0080-x
3. Nicol JM, Turner SJ, Coyne DL, den Nijs L, Hockland S, Maafi ZT. Current nematode threats to world agriculture. In: Jones J, Gheysen G, Fenoll C, editors. *Genomics and molecular genetics of plant-nematode interactions* [Internet]. Dordrecht: Springer; 2011. p. 21–43. Available from: https://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-94-007-0434-3_2
4. Syngenta. Syngenta expande ferramentas da Cropwise no Brasil e oferece solução para diagnóstico digital de nematoides [Internet]. 2023 [citado 2024 nov 13]. Disponível em: <https://www.syngenta.com.br/syngenta-expande-ferramentas-da-cropwise-no-brasil-e-oferece-solucao-para-diagnostico-digital-de>
5. Espinoza-Lozano L, Joseph S, Crow WT, Noling J, Mekete T. *Meloidogyne haplanaria*: an emerging threat to tomato production in Florida. *J Nematol*. 2022 Feb 1;54(1). doi:10.2478/jofnem-2022-0032
6. Soliman MS, El-Deriny MM, Ibrahim DSS, Zakaria H, Ahmed Y. Suppression of root-knot nematode *Meloidogyne incognita* on tomato plants using the nematode trapping fungus *Arthrobotrys oligospora* Fresenius. *J. Appl Microbiol*. 2021 Apr 29. doi: 10.1111/jam.15101
7. IRAC-BR. Comitê de Ação à Resistência a Inseticidas – Brasil. Classificação do modo de ação dos nematicidas. 1. ed. Mogi Mirim (SP): IRAC-BR; 2022 [Internet]. Disponível em: https://www.irac-BR.org/files/ugd/2bed6c_81cebb9a3eae4f7b964365bdb9b680ec.pdf
8. Dias-Arieira CR, Furlanetto C, Oliveira S, Oliveira A, Ribeiro C, Formentini HM. Fitonematoides associados a frutíferas na região Noroeste do Paraná, Brasil. *Rev Bras Frutic*. 2023 Nov 26;32(4):1064–71.
9. Xiang N, Lawrence KS, Donald PA. Biological control potential of plant growth-promoting rhizobacteria: suppression of *Meloidogyne incognita* on cotton and *Heterodera glycines* on soybean – a review. *J Phytopathol*. 2018 Apr 26;166(7-8):449-58. doi:10.1111/jph.12712.
10. Taiz L, Zeiger E. *Fisiologia vegetal*. 7th ed. Porto Alegre: Artmed; 2024. 864p.
11. Perry RN, Moens M, Jones JT. *Plant Nematology*. 3rd ed. Wallingford: CABI; 2024. 648 p.
12. Spadotto CA, Gomes MAF. Agrotóxicos no Brasil [Internet]. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente; 2021 [citado 2024 mar 30]. Disponível em:

<https://www.embrapa.br/en/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/agricultura-e-meio-ambiente/qualidade/dinamica/agrotoxicos-no-brasil>

13. Sikora RA, Coyne D, Quénéhervé P. Nematode parasites of bananas and plantains. In: Luc M, Sikora RA, Bridge J, editors. Plant parasitic nematodes in subtropical and tropical agriculture. 3rd ed. Wallingford: CABI; 2018. p. 617–57. Disponível em: <https://cgspace.cgiar.org/handle/10568/103607>.
14. Kohpat AN. Effect of bacterial bionematicides on the viability of larvae *Meloidogyne spp.* In: Theory and practice of parasitic disease control. 2020;29(21):142–6. doi:10.31016/978-5-9902341-5-4.2020.21.142-146
15. Jones JT, Haegeman A, Danchin EGJ, Gaur HS, Helder J, Jones MGK, et al. Top 10 plant-parasitic nematodes in molecular plant pathology. Mol Plant Pathol. 2013 Jul 1;14(9):946–61. doi:10.1111/mp.12057.
16. Bettiol W, Medeiros FHV de, Chiaramonte JB, Mendes R. Advances in screening approaches for the development of microbial bioprotectants to control plant diseases [Internet]. In: Microbial bioprotectants for plant disease management (Burleigh Dodds Series in Agricultural Science, 108). Cambridge, UK: Burleigh Dodds Science Publishing; 2022. [citado 2025 ago. 24]. doi: 10.19103/AS.2021.0093.02.
17. Bueno VHP, Parra JRP, Bettiol W, van Lenteren JC. Biological control in Brazil. In: van Lenteren JC, Bueno VHP, Luna MG, Colmenarez YC, editors. Biological control in Latin America and the Caribbean: its rich history and bright future. Wallingford: CABI; 2020. p. 1–20. doi:10.1079/9781789242430.0000
18. Brasil. Decreto nº 10.375, de 26 de maio de 2020 [Internet]. Brasília (DF): Presidência da República; 2020 [citado 2024 mar 30]. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/decreto/d10375.
19. Biological Products Markets Around the World [Internet]. Washington (DC): BPIA; 2018 [citado 2024 mar 30]. Disponível em: <https://www.bpia.org/wp-content/uploads/2018/03/Biological-Products-Markets-Around-The-World.pdf>
20. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Bioinsumos [Internet]. 2022 [citado 2024 mar 30]. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/inovacao/bioinsumos>.
21. Marrone PG. An effective biofungicide with novel modes of action. Pestic Outlook. 2002;13:193-4. doi: 10.1039/B209431M
22. Reuters. Mercado de bioinsumos no agro deve chegar a R\$ 5,6 bi no Brasil em 2022/23, prevê CropLife [Internet]. Novacana; 2022 [citado 2024 mai 04]. Disponível em: <https://www.novacana.com/noticias/maior-uso-bioinsumos-levar-mercado-r-5-6-bi-brasil-2022-23-croplife-040523>

23. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa). Anvisa divulga número de produtos de base biológica aprovados em 2022 para uso na agricultura [Internet]. 2023 [citado 2024 mar 30]. Disponível em: <https://www.gov.br/anvisa/pt-br/assuntos/noticias-anvisa/2023/anvisa-divulga-numero-de-produtos-de-base-biologica-aprovados-em-2022-para-uso-na-agricultura>
24. Fairbrother A, Purdy J, Anderson T, Fell R. Risks of neonicotinoid insecticides to honeybees. *Environ Toxicol Chem*. 2014 Apr;33(4):719–31. doi: 10.1002/etc.2527
25. Forghani F, Hajihassani A. Recent Advances in the Development of Environmentally Benign Treatments to Control Root-Knot Nematodes. *Front Plant Sci*. 2020 Jul 22; 11:1125. doi: [10.3389/fpls.2020.01125](https://doi.org/10.3389/fpls.2020.01125)
26. Demirci E, Dane E, Eken C. In vitro antagonistic activity of fungi isolated from sclerotia on potato tubers against *Rhizoctonia solani*. *Turk J Biol*. 2011;35:457-462.
27. Khan MR, Quintanilla M. Nematode diseases of crops and their sustainable management. 1st ed. San Diego: Academic Press;2023.746 p.
28. Boromelo AP, Taconi EB, Gonzaga DER, Constantin RP, Marchiosi R, Filho OF, et al. Efeitos da giberelina sobre o número de flores e frutos na cultura do morango em sistema semi-hidropônico. *Braz J Dev*. 2022 Apr 27;8(4):31133–41 Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/47144/pdf>
29. Barciszewski J, Massino F, Clark BFC. Kinetin—A multiactive molecule. *Int J Biol Macromol*. 2007 Feb;40(3):182–192. doi: [10.1016/j.ijbiomac.2006.06.024](https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2006.06.024)
30. Silva JP, Costa MKC, de Araújo MRS, Araújo KS, da Silva ACM, Costa TPD, et al. Efeito da citocinina 6-benzilaminopurina (BAP) sobre o estabelecimento *in vitro* de segmentos nodais de Rosa sp. *Rev Agroecossistemas*. 2018 Apr 10;9(2):370.
31. Cruvinel FF, Vasconcellos MADS, Martelleto LAP. Effects of cytokinin benzylaminopurine in pitaya cuttings. *Nativa*. 2019 Feb 1;7(1):43-49.
32. Vieira EL, Monteiro CA. Hormônios vegetais. In: *Introdução à fisiologia vegetal*. Maringá: Eduem; 2019. p.79-104.
33. Rodrigues FA, Carolina A, Diego D, Ribeiro MC. Indução de tolerância à murcha bacteriana em híbridos de tomates por aplicação de giberelina. *Rev Ciências Agroveterinárias*. 2015 Mar 16;17(1):54–60.
34. Topalović O, Heuer H. Plant-Nematode Interactions Assisted by Microbes in the Rhizosphere. *Curr Issues in Mol Biol*. 2019;75–88. doi: [10.21775/cimb.030.075](https://doi.org/10.21775/cimb.030.075)

35. Li X, Hu HJ, Li JY, Wang C, Chen SL, Yan SZ. Effects of the Endophytic Bacteria *Bacillus cereus* BCM2 on tomato root exudates and *Meloidogyne incognita* infection. *Plant Dis.* 2019 Jul;103(7):1551–8.
36. Ferreira RJ, Soares PLM, de B, Santos, Batista ESP, Barbosa JC. Espécies de *Bacillus* no controle dos nematoides das galhas e no desenvolvimento de cana-de-açúcar. *Nematopica.* 2017;47(2):106–113.
37. Lamovšek J, Stare BG, Pleško IM, Širca S, Urek G. Agrobacteria enhance plant defense against root-knot nematodes on tomato. *Phytopathology.* 2017 Jun;107(6):681–91. doi: [10.1094/PHYTO-07-16-0269-R](https://doi.org/10.1094/PHYTO-07-16-0269-R)
38. Devi G. Utilization of Nematode Destroying Fungi for Management of Plant-Parasitic Nematodes-A Review. *Biosci Biotechnol Res Asia.* 2018 Jun 28;15(2):377–96.
39. Danish M, Robab MI, Hatamleh AA, Al-Dosary MA, Datta R, Sheikh H. Reduction of root-knot nematode infection with compost and nematode-trapping fungus in greenhouse setting. *Rhizosphere.* 2022 Jun;22:100508. doi: [10.1016/j.rhisph.2022.100508](https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2022.100508)
40. Hassani MA, Durán P, Hacquard S. Microbial interactions within the plant holobiont. *Microbiome.* 2018 Mar 27;6(1). doi: [10.1186/s40168-018-0445-0](https://doi.org/10.1186/s40168-018-0445-0)
41. Zhang Y, Li S, Li H, Wang R, Zhang KQ, Xu J. Fungi–nematode interactions: diversity, ecology, and biocontrol prospects in agriculture. *J Fungi.* 2020 Dec 1;6(4):206. doi: [10.3390/jof6040206](https://doi.org/10.3390/jof6040206)
42. Yang J, Zhang KQ. Biological control of plant-parasitic nematodes by nematophagous fungi. In: *Nematode-Trapping Fungi* [Internet]. 2014 [citado 2019 dez 5]. p. 231–62. Disponível em: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-94-017-8730-7_5
43. Hagedorn G, Scholler M. A reevaluation of predatory oriboliceous fungi. I. Phylogenetic analysis using rDNA sequence data. *Sydowia.* 2000;51:27–48 [Internet]. Disponível em: https://www.zobodat.at/pdf/Sydowia_51_0027-0048.pdf
44. Peiris PUS, Li Y, Brown P, Xu C. Fungal biocontrol against *Meloidogyne* spp. in agricultural crops: a systematic review and meta-analysis. *Bio Control.* 2020 May;144:104235. doi: [10.1016/j.biocontrol.2020.104235](https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2020.104235)
45. Zhao C, Li Y, Zhang C, Miao Y, Liu M, Zhuang W, et al. Considerable impacts of litter inputs on soil nematode community composition in a young *Acacia crassicapa* plantation. *Soil Ecol Lett.* 2021 Mar 13;3(2):145–55. doi: [10.1007/s42832-021-0085-3](https://doi.org/10.1007/s42832-021-0085-3)
46. Lima IM, Ventura JA, Costa H, Arpini BS, Martins MVV. Bionemáticas contemporâneas: aplicabilidade e importância no manejo de fitonematoides em áreas agrícolas. In: *Sustentabilidade na agropecuária*. Incaper em Revista. Vitória; 2019. p. 90–104 [Internet]. Disponível em:

<https://biblioteca.incaper.es.gov.br/digital/bitstream/123456789/3962/1/Incaper-artigo6.pdf>.

47. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). MAPA registra defensivos biológicos inéditos para combater ácaros e nematoides. Defensivos agrícolas [Internet]. 2022 [citado 2024 mar 30]. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/mapa-registra-defensivos-biologicos-ineditos-para-combater-acaros-e-nematoides>
48. Machado AP, Costa MJN. Biocontrole do fitonematoide *Pratylenchus brachyurus* in vitro e na soja em casa de vegetação por *Bacillus subtilis*. Rev Biociências. 2017;23(1):83–94.
49. Lopes EA, Neves WS, Dallemole-Giaretta R, Ferreira PA. Controle biológico de nematoides parasitas de plantas. In: Venzon M, Neves WS, Paula Júnior TJ, Pallini A, editores. *Controle alternativo de pragas e doenças: opção ou necessidade*. 1ª ed. Belo Horizonte: EPAMIG; 2021. p. 108–16.
50. Javed N, Gowen SR, Inam-UI-Haq M, Abdullah K, Shahina F. Systemic and persistent effect of neem (*Azadirachta indica*) formulations against root-knot nematodes, *Meloidogyne javanica*, and their storage life. Crop Prot. 2007;26:911–6.
51. Olabiyi TI, Oyedunmade EEA, Ibikunle GJ, Ojo OA, Adesina GO, Adelasoye KA, Ogunniran TA. Chemical composition and bio-nematicidal potential of some weed extracts on *Meloidogyne incognita* under laboratory conditions. Plant Sci Res. 2008;1(2):30–5.
52. Azevedo JL, Pamphile JA, Quecine-Verdi MC, Lacava PT. O desenvolvimento da microbiologia e da biotecnologia de microrganismos no Brasil. In: *Biotecnologia microbiana ambiental*. Maringá: Eduem; 2018. p. 23–135.
53. Serviço Nacional de Aprendizagem Rural (Senar). Sustentabilidade ambiental: bioinsumos na agricultura e suas vantagens [Internet]. 2023 abr [citado 2024 dez 15]. Disponível em: <https://ead.senargo.org.br/blog/bioinsumos-na-agricultura-e-suas-vantagens>
54. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa). Memória Embrapa – História da Embrapa [Internet]. 2022 [citado 2023 fev 17]. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/memoria-embrapa/a-embrapa>. Acessado em: 17 fev 2023.
55. Boschiero BN. Controle biológico de nematoides: 5 microrganismos utilizados como bionematicidas no Brasil [Internet]. Agroadvance; 2022 [citado 2024 fev 5]. Disponível em: <https://agroadvance.com.br/blog-controle-biologico-de-nematoides/>
56. Vieira BC, Mascia R, Souza JC, Moreira JAA, Rosa TEA, Araújo FG, Alves GCS. Emprego de *Bacillus amyloliquefaciens* e *Trichoderma harzianum* no manejo de *Helicotylenchus* sp. na cultura da soja. Vitória (ES), Brasil; 2017.