



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**  
**FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONEGÓCIOS**

**LETÍCIA BANDEIRA ARAÚJO**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**NEMATICIDAS MICROBIOLÓGICOS: DIFERENCIAIS TECNOLÓGICOS**  
**DOS PRODUTOS INDUSTRIAIS**

**Brasília/ DF**  
**Setembro/2024**

**LETÍCIA BANDEIRA ARAÚJO**

**NEMATICIDAS MICROBIOLÓGICOS: DIFERENCIAIS TECNOLÓGICOS  
DOS PRODUTOS INDUSTRIAIS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós- Graduação em Agronegócios - PROPAGA, da Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília - UnB, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Agronegócios.

**Orientador Professor Dr.:** Gabriel da Silva Medina

**Brasília/DF  
Setembro/2024**

**ARAUJO, L.B., Nematicidas Microbiológicos: Diferenciais Tecnológicos dos Produtos Industriais.** 2024, f. 99 Dissertação – (Mestrado em Agronegócios) – Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, Brasília, 2024.

Documento formal, autorizando a reprodução desta dissertação de mestrado para empréstimo ou comercialização, exclusivamente para fins acadêmicos, foi passado pela autora à Universidade de Brasília e acha-se arquivado na Secretaria do Programa. A autora reserva para si os outros direitos autorais de publicação. Nenhuma parte desta dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem a autorização por escrito da autora. Citações são estimuladas, desde que citada à fonte.

**FICHA CATALOGRÁFICA**

**LETÍCIA BANDEIRA ARAÚJO**

**NEMATICIDAS MICROBIOLÓGICOS: DIFERENCIAIS TECNOLÓGICOS  
DOS PRODUTOS INDUSTRIAIS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronegócios - PROPAGA, da Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília - UnB, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Agronegócios.

**Aprovada pela seguinte banca examinadora:**

---

**Professor Dr. Gabriel da Silva Medina**  
Orientador  
PROPAGA/UNB

---

**Professor Dr. Armando Fornazier**  
Examinador interno  
PROPAGA/UNB

---

**Dr. Fernando Godinho de Araújo**  
Examinador externo  
Instituto Federal Goiano

**Brasília/DF, 27 de setembro de 2024**

## AGRADECIMENTOS

Agradeço à energia divina do grande criador por manter a luz interior que me conecta com tudo e todos, trazendo clareza aos meus caminhos. Sou grata a Exú Orixá por transformar o caos necessário em ordem para concretizar as ideias do projeto. Agradeço a Ogum Orixá, senhor da tecnologia e do trabalho, por abrir os caminhos e me dar força e determinação para enfrentar os desafios. Agradeço a Oxum Orixá pela estratégia e inteligência emocional, que tornaram férteis minhas ideias e palavras, e por me ajudar a abandonar o que não era necessário.

Agradeço aos meus ancestrais e os ancestrais que estiveram comigo que compartilharam histórias de resistência e coragem, mostrando que é possível concluir essa trajetória, mesmo de um lugar humilde. Esta conquista é de todos que vieram antes de mim, incluindo meus avós, Maria Cecília Bandeira Silva (*in memoriam*), João Gerônimo da Silva (*in memoriam*), Maria Vasconcelos Araújo e Abraão Lima Araújo, pelos exemplos de luta e resiliência.

Sou grata aos meus pais, Ivete Bandeira Silva e Ivonildo Vasconcelos Araújo, pelo zelo, carinho e valores transmitidos com sabedoria, especialmente à minha mãe, por me incentivar a acreditar que a educação transforma realidades. Agradeço também ao meu irmão, Leandro Bandeira Araújo (*in memoriam*), que transmitia esperança e brilho que uma criança carrega.

Agradeço à minha família de sangue, à família que construí ao longo da vida e aos amigos, pelos abraços, conforto e risadas que tornaram a caminhada mais leve. Agradeço a Renato Hudson Silva Alves e à sua família por todo o acolhimento desde o início, me encorajando a ocupar os espaços, não com a razão, mas com caráter e simplicidade no coração. Suas palavras de sabedoria foram fundamentais.

Agradeço a todos os professores do Propaga, ao meu orientador e à Universidade de Brasília pelo apoio e ensinamentos ao longo destes dois anos. Sou grata também aos membros da banca pelas sugestões valiosas e aos amigos que fiz durante o mestrado Ana Paula Santos, Artur Guerra e Paulo Victor Machado pelo suporte e auxílio para construção do projeto que foram essenciais. Finalizo com profunda gratidão a todos que contribuíram para esta jornada.

## RESUMO

Entre 2007 e 2024, foram registrados, 85 bionematicidas industriais no Brasil, dos quais 49 por empresas brasileiras e 36 por empresas estrangeiras. Neste estudo, foram selecionados 38 bionematicidas para análise, com base em entrevistas realizadas com 12 empresas, sendo seis brasileiras e seis estrangeiras. O objetivo da pesquisa foi investigar os diferenciais tecnológicos dos bionematicidas registrados durante esse período e os desafios enfrentados. A metodologia adotada foi de natureza exploratória e descritiva, com abordagem qualitativa e quantitativa. A análise dos dados foi feita por meio de estatística descritiva e do software Iramuteq, permitindo a identificação de 10 diferenciais tecnológicos que caracterizam os bionematicidas comercializados no Brasil.

Os diferenciais incluem o uso de cepas exclusivas e isoladas, várias cepas, *shelf life* prolongado, endósporos, diferentes formulações (secas e líquidas), tecnologias exclusivas e mecanismos de ação específicos para microrganismos como fungos e bactérias. Entre os pontos em comum observados entre ambas, destacam-se os mecanismos de ação para bactérias e fungos, o uso de cepas exclusivas e isoladas, além da aplicação de várias cepas nos bionematicidas.

Especificamente, as empresas estrangeiras se destacam no desenvolvimento de tecnologias como Bioshock e Statera, baseadas em fungos como *Purpureocillium lilacinus* e *Pochonia chlamydosporia*, além de terem um foco maior em formulações líquidas. Por outro lado, as empresas estrangeiras adotam mais formulações secas (WP-WG), *shelf life* e uso de endósporos, o que reforça a diversificação de estratégias tecnológicas entre os grupos analisados.

Outro destaque é a predominância de *Bacillus spp.* como ingrediente ativo, amplamente utilizado por ambos os grupos de empresas. Além disso, foi identificada uma diversificação no uso de fungos nematófagos, como *Purpureocillium lilacinus*, utilizado exclusivamente por empresas estrangeiras, e *Trichoderma harzianum*, que possui função dupla como bionematicida e biofungicida, sendo mais comum entre as brasileiras.

Os resultados apontam um mercado competitivo e equilibrado, no qual as empresas estrangeiras, apesar de competirem com as brasileiras — das quais quatro das seis entrevistadas são consolidadas no setor de nematicidas químicos. Entretanto, ainda existem desafios, como a integração dos bionematicidas com outros insumos no manejo integrado de pragas e doenças (MIP e MID).

Empresas brasileiras estão investindo em inovações, como tecnologias de microencapsulamento para prolongar a eficiência de campo de microrganismos como *Bacillus spp.*, além de desenvolver embalagens e moléculas mais resistentes às condições adversas do solo, especialmente no Cerrado. Por fim, todas as empresas brasileiras entrevistadas operam exclusivamente no mercado de biológicos. As parcerias B2B entre empresas brasileiras e estrangeiras se revelam estratégicas, possibilitando que inovações desenvolvidas por empresas brasileiras sejam inseridas no mercado.

**Palavras chaves:** Bionematicidas. Desenvolvimento Tecnológico. Agricultura Sustentável.

### ABSTRACT

Between 2007 and 2024, 85 industrial bionematicides were registered in Brazil according to the Agrofit platform, of which 49 were from Brazilian companies and 36 from foreign companies. In this study, 38 bionematicides were selected for analysis based on interviews conducted with 12 companies, six Brazilian and six foreign. The objective of the research was to investigate the technological differentials of the bionematicides registered during this period and the challenges faced. The methodology adopted was exploratory and descriptive in nature, with qualitative and quantitative approaches. Data analysis was performed using descriptive statistics and the Iramuteq software, allowing for the identification of 10 technological differentials that characterize the bionematicides marketed in Brazil.

The differentials include the use of exclusive and isolated strains, multiple strains, extended shelf life, endospores, different formulations (dry and liquid), exclusive technologies, and specific action mechanisms for microorganisms such as fungi and bacteria. These factors indicate a strong commitment from both Brazilian and foreign companies to innovation and adaptation to the bionematicide market in Brazil. Common points observed between both groups include action mechanisms for bacteria and fungi, the use of exclusive and isolated strains, as well as the application of multiple strains in bionematicides.

Specifically, foreign companies excel in the development of technologies like Bioshock and Statera, based on fungi such as *Purpureocillium lilacinus* and *Pochonia chlamydosporia*, and they also focus more on liquid formulations. In contrast, Brazilian

companies emphasize dry formulations (WP-WG), shelf life, and the use of endospores, reinforcing the diversification of technological strategies among the analyzed groups.

Another highlight is the predominance of *Bacillus* spp. as the active ingredient, widely used by both groups of companies. Additionally, there is diversification in the use of nematophagous fungi, such as *Purpureocillium lilacinus*, which is exclusively used by foreign companies, and *Trichoderma harzianum*, which has a dual function as both a bionematicide and biofungicide, being more common among Brazilian companies.

The results indicate a competitive and balanced market, in which foreign companies, despite competing with Brazilian ones—four of the six interviewed are well-established in the chemical nematicide sector—demonstrate remarkable innovation capabilities in the biological segment, especially in the development of exclusive technologies and liquid formulations.

However, challenges remain, such as the integration of bionematicides with other inputs in integrated pest and disease management (IPM and IDM). Although these difficulties persist, the use of bionematicides in Brazil continues to grow. Foreign companies are investing in innovations such as microencapsulation technologies to extend the field efficiency of microorganisms like *Bacillus* spp., in addition to developing packaging and molecules more resistant to adverse soil conditions, especially in the Cerrado region.

Finally, all Brazilian companies interviewed operate exclusively in the biological market. B2B partnerships between Brazilian and foreign companies prove to be strategic, enabling innovations developed by Brazilian companies to be introduced into the market.

**Keywords:** Bionematicides. Technological Development. Sustainable Agriculture.



## **LISTA DE ABREVEATURA E SIGLAS**

AGROFIT- Sistema de Agrotóxicos Fitossanitários

ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária

CHD – Classificação Hierárquica Descendente

ESALQ – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz

J1, J2, J3, e J4 – Estágios juvenis dos nematoides 1, 2, 3 ou 4

MAPA- Ministério da Agricultura e Pecuária

MID – Manejo Integrado de Doenças

MIP – Manejo Integrado de Pragas

PNB- Programa Nacional de Bioinsumos

IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais e Renováveis

SDA – Secretaria de Defesa Agropecuária

HLPE- High Level Panel of Experts

## LISTA DE QUADROS, FIGURAS E TABELAS

### QUADROS

Quadro 1. Metodologia Proposta para Identificação de Empresas e Produtos de Nematicidas Microbiológicos .....	22
Quadro 2. Metodologia Proposta para Inovações e Desafios em Nematicidas Microbiológicos .....	23
Quadro 3. Metodologia Proposta para Caracterização em Nematicidas Microbiológicos.....	24
Quadro 4. Relação da Caracterização de Empresas com os entrevistados .....	26

### FIGURAS

Figura 1. Número de Registros Anuais de Nematicidas Microbiológicos no período de 2007 a 2024 .....	35
Figura 2. Número de Nematicidas Microbiológicos Registrados de 2016 a 2024.....	36
Figura 3. Número de Diferenciais Tecnológicos por Empresas.....	43
Figura 4. Resumo da Classificação Hierárquica Descendente .....	50
Figura 5. Análise de Similitude .....	52
Figura 6. Nuvem de Palavras .....	54

### TABELAS

Tabela 1. Nematicidas Microbiológicos Registrados no Brasil por Empresas Brasileiras e Estrangeiras de 2007 a 2024.....	28
Tabela 2. Relação dos Nematicidas Microbiológicos com: Empresas, Comercialização, Ano, Operação B2B e Ingredientes Ativos.....	37

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 OBJETIVOS .....</b>	<b>3</b>
1.1.1 Objetivo Geral .....	3
1.1.2 Objetivos Específicos .....	3
<b>2.REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>4</b>
2.1 Sustentabilidade, Inovação e Desenvolvimento Tecnológico no Setor de Bioinsumos .....	4
2.2 Fitonematoides: Aspectos Gerais do Ciclo de Biologia .....	6
2.3 Controle Biológico: Bionematicidas .....	9
<b>3. METODOLOGIA.....</b>	<b>12</b>
3.1 Descrição Geral da Pesquisa.....	12
3.2 Contexto Pesquisa .....	13
3.3 Coleta de Dados.....	13
3.3.1 Instrumento de Coleta de Dados.....	14
3.3.2 Perfil das Empresas .....	14
3.3.3 Entrevistas .....	15
3.4 Participantes da Pesquisa.....	16
3.4.1 Perfil dos Entrevistados .....	16
3.5 Procedimentos e Análise de Dados.....	17
3.5.1 Aplicação da Estatística Descritiva.....	17
3.5.2 Base de dados: AGROFIT .....	18
3.5.3 Aplicação do Iramuteq na Análise das Entrevistas.....	18
3.5.4 Etapas da Metodologia do Iramuteq.....	19
<b>4. RESULTADOS.....</b>	<b>25</b>
4.1 Identificação de Empresas e Produtos de Nematicidas Microbiológicos e Químicos Comerciais (2007-2024) .....	26
4.1.1 Total de Nematicidas Microbiológicos Registrados .....	26
4.2. Caracterização dos Diferenciais Tecnológicos dos Nematicidas Microbiológicos no Mercado .....	35
4.2.1 Registro de Nematicidas Microbiológicos de (2016-2024) das Empresas Entrevistadas.....	35

4.2.2 Correlação entre Anos de Registro e Ingredientes Ativos (2016-2024) das Empresas Entrevistadas .....	37
4.2.3 Relação entre Produtos Comerciais e de Pesquisa em Nematicidas Microbiológicos (2016-2024) das Empresas Entrevistadas .....	40
4.2.4 Identificação e Distribuição dos Diferenciais Tecnológicos e Características dos Nematicidas Microbiológicos nas Empresas Entrevistadas (2016-2024).....	42
4.3 Identificação dos Principais Desafios e Avanços no Desenvolvimento dos Nematicidas Microbiológicos.....	49
4.3.1 Análise de Conteúdo.....	49
<b>5. DISCUSSÕES .....</b>	<b>56</b>
5.1 Inovações e Estratégias Tecnológicas na Fabricação de Nematicidas Microbiológicos.....	56
5.2 Dinâmicas de Mercado e Estratégias Tecnológicas no Crescimento dos Bionematicidas no Brasil.....	62
5.3 Desafios e Avanços na Implementação de Nematicidas Microbiológicos .....	66
<b>6. CONCLUSÕES.....</b>	<b>71</b>
<b>7. REFERÊNCIAS .....</b>	<b>73</b>
<b>APÊNDICE A – ROTEIRO DE ENTREVISTA.....</b>	<b>83</b>
<b>E MENSAGEM ENVIADA AOS COLABORADORES .....</b>	<b>83</b>
<b>APÊNDICE B – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO DOS ENTREVISTADOS .....</b>	<b>85</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A crescente preocupação com os impactos ambientais e na saúde pública decorrentes do uso de agroquímicos tem incentivado muitos países a buscarem alternativas mais sustentáveis. Além disso, a eficácia limitada do controle químico no manejo de nematoides, em função da complexidade dos ecossistemas do solo, tem impulsionado a busca por estratégias de manejo integrado (Stirling *et al.*, 2018; Marrone, 2019). Nesse contexto, o uso extensivo de defensivos químicos, embora essencial para a modernização da agricultura, tem gerado desafios significativos, como a resistência de pragas e os danos ao ecossistema agrícola. Esses efeitos adversos afetam os inimigos naturais e promovem desequilíbrios ecológicos (Jacquet *et al.*, 2022; Moraes, 2019).

Em resposta a esses desafios, o uso de bioinsumos tem surgido como uma solução viável, promovendo a substituição gradual de defensivos químicos por produtos biológicos, que oferecem menor toxicidade e menor impacto ambiental. Os bioinsumos são desenvolvidos a partir de organismos biológicos como microrganismos, extratos vegetais e enzimas, e são amplamente utilizados no controle biológico, nutrição de plantas e aumento da resistência a estresses bióticos e abióticos (Kaushik *et al.*, 2019).

Segundo o Ministério da Agricultura e Pecuária – Mapa (2020), os bioinsumos são classificados em biocontrole, bioestimulantes e biofertilizantes, cada um com funções específicas. Os biocontroles, que abrangem os bionematicidas, são definidos como agentes de controle biológico, também são designados como biopesticidas ou biodefensivos (Brasil, 2020a).

Além disso, a adoção crescente de bioinsumos tem impulsionado avanços tecnológicos no setor. Em 2022, o mercado global de biopesticidas alcançou US\$ 6,51 bilhões, com uma previsão de crescimento de 15,7% até 2029. No Brasil, o mercado é diversificado, sendo composto por 34% de inseticidas, 22% de fungicidas e 24% de nematicidas, com a soja, cana-de-açúcar e milho representando 75% do consumo total. Ademais, a safra de 2023/2024 já registrou um aumento de 15% na utilização desses insumos (Forbes, 2023; Croplife, 2024).

Nesse contexto o crescimento é reforçado por dados da McKinsey (2022), que mostram que cerca de 20% dos agricultores globalmente já adotaram produtos biológicos comerciais. Esse aumento na demanda tem pressionado as empresas a diversificarem seus portfólios, incorporando produtos biológicos aos defensivos químicos convencionais. Complementando essa tendência, a AgroBusiness Global (2020) revela que 58% das empresas já oferecem produtos biológicos e 21% estão desenvolvendo novas linhas, o que reflete a crescente inovação no setor.

Esse cenário é impulsionado por instituições públicas e privadas, centros de inovação, universidades e políticas, sendo o Programa Nacional de Bioinsumos (PNB), criado em 2020, um exemplo notável. O PNB promove o uso de recursos biológicos para fortalecer a agricultura, reduzir a dependência de insumos importados e ampliar a oferta de bioinsumos. O programa incentiva a adoção de bioprodutos, aproveitando a biodiversidade brasileira para otimizar a agricultura e expandir a oferta de matéria-prima no setor (Goulet & Hubert, 2020; Meyer *et al.*, 2022; Brasil, 2020b).

Simultaneamente, a legislação brasileira tem apoiado o registro de produtos biológicos. Inicialmente, a Lei nº 7.802/1989 (Lei dos Agrotóxicos) regulamentava a pesquisa e fiscalização de agrotóxicos e seus componentes (Brasil, 1989). Com o Decreto Nº 4.074/2002, houve uma priorização de produtos de baixa toxicidade, permitindo um processo de registro mais ágil para produtos biológicos, que leva cerca de 2 anos, em comparação com os 10 anos exigidos para produtos químicos (Brasil, 2002). No entanto, em 2023 foi criada a lei 14.785 que dispõe sobre a pesquisa, experimentação, fiscalização, destinação de resíduos dos agrotóxicos e insumos biológicos no Brasil (Brasil 2023a).

Embora a adoção de bioinsumos apresente benefícios promissores, ainda há desafios relacionados à sua eficácia em comparação aos defensivos químicos. Apesar de mais sustentáveis, os bionematicidas enfrentam limitações quanto ao custo, manuseio e consistência de resultados em diferentes condições de campo (Abd-Elgawad *et al.*, 2018; Marrone, 2019).

Nesse contexto, as inovações tecnológicas têm desempenhado um papel crucial para a competitividade das empresas. A busca por formulações mais estáveis, maior *shelf life* e eficácia em condições adversas tem orientado os investimentos em pesquisa e desenvolvimento (P&D) no setor de bionematicidas (Bettioli *et al.*, 2023). Empresas

estão ajustando suas tecnologias e desenvolvendo novos conhecimentos para competir com produtos químicos tradicionais (Goulet *et al.*, 2021; Bergek *et al.*, 2013).

Contudo, ainda há uma lacuna no entendimento sobre as inovações tecnológicas e os diferenciais apresentados pelos nematicidas. Falta clareza quanto aos benefícios e limitações dos produtos disponíveis no mercado, bem como sobre as inovações potenciais futuras (Keswani *et al.*, 2021). Investigar os diferenciais tecnológicos desenvolvidos por empresas brasileiras e estrangeiras nesse segmento é fundamental para identificar os avanços e os desafios enfrentados.

Diante desse cenário, esta pesquisa analisa os diferenciais tecnológicos dos nematicidas microbiológicos industriais registrados por empresas brasileiras e estrangeiras entre 2007 e 2024. O foco está nas inovações relacionadas a cepas exclusivas, formulações, mecanismos de ação de fungos e bactérias, *shelf life*, entre outros. Além disso, a pesquisa explora os desafios para o desenvolvimento desses produtos, destacando sua importância no mercado de bioinsumos e o papel das empresas nesse segmento.

## **1.1 OBJETIVOS**

### **1.1.1 Objetivo Geral**

Investigar os diferenciais tecnológicos dos nematicidas microbiológicos industriais desenvolvidos por empresas brasileiras e estrangeiras, destacando as inovações e o papel das empresas no mercado.

### **1.1.2 Objetivos Específicos**

Com o intuito de alcançar o objetivo geral, pretende-se atender aos objetivos específicos a seguir:

- a) Identificar as empresas e produtos de nematicidas microbiológicos comerciais lançados entre 2007 a 2024.
- b) Caracterizar os diferenciais tecnológicos dos nematicidas microbiológicos disponíveis no mercado.
- c) Investigar os avanços tecnológicos adotados pelas empresas no desenvolvimento de novos nematicidas microbiológicos, destacando os desafios enfrentados

## 1.2 Estrutura da Dissertação

Para alcançar os objetivos propostos, este estudo está organizado em seis seções. A primeira seção apresenta a introdução. A segunda seção aborda o referencial teórico, organizando a discussão sobre controle biológico, o desenvolvimento de inovações nessa área, aspectos gerais sobre fitonematoides, além de aspectos regulatórios e informações sobre as empresas do setor. Esta seção visa compreender o comportamento e a atuação desses organismos no manejo biológico, bem como a regulamentação dos bioinsumos e as questões relacionadas às empresas inseridas no setor de biológicos.

A terceira seção descreve os procedimentos metodológicos utilizados na pesquisa. Os resultados obtidos são apresentados e discutidos na quarta seção. A quinta seção é dedicada à análise e interpretação desses resultados, enquanto a sexta seção apresenta as conclusões do estudo.

## 2.REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Sustentabilidade, Inovação e Desenvolvimento Tecnológico no Setor de Bioinsumos

Diante das crescentes necessidades alimentares, a agricultura convencional demonstra ser insustentável devido à redução da fertilidade do solo, mudanças climáticas, altos custos e demanda por alimentos livres de aditivos químicos (Singh *et al.*, 2017). Esse cenário é agravado por regulamentações mais restritivas, como o marco regulatório adotado pela União Europeia (UE) em 2011, que limitou o uso intensivo de agroquímicos ao proibir ingredientes ativos prejudiciais ao meio ambiente. Essa medida impactou diretamente as exportações de commodities e trouxe implicações para a indústria de agroquímicos no Brasil (Pelaez *et al.*, 2015). Dos 497 ingredientes ativos permitidos no Brasil, 353 são também autorizados na UE (cerca de 55%), enquanto 44% são proibidos (Teixeira; Vizenti, 2019).

Nesse contexto, a inovação tecnológica na agricultura torna-se essencial para atender à crescente demanda, promovendo maior produtividade e sustentabilidade em seus aspectos ambiental, social e econômico. Segundo Schumpeter (1934), inovação pode ser entendida como:

A introdução de novas combinações de fatores produtivos abrangendo desde a criação de novos produtos e métodos de produção até a abertura de novos



mercados, novas fontes de matéria-prima e formas de organização industrial (Shumpeter, 1934).

Como mencionado por High Level Panel of Experts - Hlpe (2019), essas inovações tecnológicas têm sido cruciais para resolver desafios relacionados à produção, como a redução do uso de fertilizantes químicos. No entanto, Cruz *et al.* (2022) observam que, em países em desenvolvimento como o Brasil, há uma tendência de replicar tecnologias já existentes, muitas vezes oriundas de países como os Estados Unidos, em vez de focar no desenvolvimento de inovações próprias.

A inovação em bioinsumos representa uma oportunidade significativa para o desenvolvimento sustentável em países em desenvolvimento como o Brasil, que enfrenta uma alta demanda por insumos agrícolas e pode se beneficiar do crescente mercado de tecnologias nesse setor. No entanto, apesar do intenso investimento público e privado em pesquisa, ainda falta uma compreensão clara sobre as inovações disponíveis no mercado e as potencialidades futuras (Goulet; Hubert, 2020; Meyer *et al.*, 2022; Keswani *et al.*, 2021).

Portanto, é crucial que o desenvolvimento dessas inovações exija ações coordenadas de diversas partes interessadas, tanto institucionais quanto privadas. Isso envolve a formulação de políticas e programas específicos, investimentos no aprimoramento do capital humano, e na pesquisa e desenvolvimento (P&D), além da gestão eficiente dos recursos naturais (Adamseged; Grundmann, 2020).

A primeira geração de bioinsumos ganhou mercado em grande escala a partir de 1990 com o uso de inoculantes na soja. Em 2015, uma nova geração surgiu com a introdução de biofertilizantes para nutrição das plantas e biocontroles, especialmente biofungicidas, que resultaram no crescimento significativo do setor. Com a evolução da biotecnologia e a crescente demanda do mercado, espera-se que a próxima geração se concentre no desenvolvimento de bio-herbicidas (Elnahal *et al.*, 2020; Jacquet *et al.*, 2022; Poesmaeil *et al.*, 2022).

Os desenvolvimentos tecnológicos em bioinsumos variam desde o uso de tecnologias intermediárias para isolar microrganismos e reintroduzi-los em ambientes específicos para promover interações benéficas e controlar pragas e patógenos, até tecnologias avançadas baseadas em engenharia do fitomicrobioma e genômica. Esses avanços são continuamente financiados por centros de inovação pública e empresas

privadas, impulsionando a evolução e a eficácia dos bioinsumos (Garcia *et al.*, 2021; Toruño, 2021; Ke *et al.*, 2021).

Para enfrentar os desafios associados ao desenvolvimento e adoção de bioinsumos, são necessárias capacidades técnicas relacionadas à funcionalidade das culturas e ao microbioma central, bem como uma compreensão das redes de interação entre plantas e microbioma. Essas interações impactam a produtividade e a influência dos microrganismos no genótipo do hospedeiro, tanto nas plantas quanto nas pragas (Singh *et al.*, 2017). No entanto, apesar de ser uma alternativa promissora, a adoção em larga escala dos bioinsumos enfrenta obstáculos significativos, como a inconsistência na eficácia desses produtos em diversas condições ambientais (Qiu *et al.*, 2019).

Nesse sentido, destaca-se a relevância de explorar o mercado dos nematicidas microbiológicos, que está em crescimento, especialmente com as tecnologias empregadas na sua fabricação. O desenvolvimento dos biocontroles no Brasil ganhou impulso a partir dos anos 2000, quando as empresas de produtos biológicos começaram a registrar seus produtos. Com a introdução de um novo método de registro para a agricultura orgânica, esse processo foi acelerado, permitindo que as cepas registradas fossem adotadas por diversas empresas e facilitando o registro dos produtos (Bettiol *et al.*, 2023; Meyer *et al.*, 2022; Morceiro *et al.*, 2022).

Além disso, a legislação brasileira tem priorizado o registro de biológicos, o que impulsionou ainda mais o crescimento desse mercado. Como resultado, o setor de biológicos no Brasil experimentou um aumento significativo, com o controle de nematoides se destacando como o maior segmento de biocontrole, representando 44% das vendas em 2022 (Bettiol *et al.*, 2023; Marrone, 2019).

## **2.2 Fitonematoides: Aspectos Gerais do Ciclo de Biologia**

Mais de 4.100 espécies de nematoides parasitas de plantas foram descritas, representando cerca de 15% das espécies pertencentes ao filo Nematoda (Decraemer; Hunt, 2006; Singh *et al.*, 2015). Dentre esses grupos, destacam-se gêneros considerados os principais patógenos em culturas agrícolas de importância econômica, resultando em perdas estimáveis (Singh *et al.*, 2015; Jones *et al.*, 2013). De acordo com a consultoria Agrobusiness Global (2022), em parceria com a Sociedade Brasileira de Nematologia, essas perdas são significativas, prevendo prejuízos de R\$ 870 bilhões em menos de 10 anos. Especificamente, para culturas como a soja, a perda estimada é de R\$ 65 bilhões.

Além disso, Decraemer e Hunt (2006) apresentaram uma classificação dos principais grupos de fitonematoides e espécies que causam danos consideráveis à agricultura. Nesse contexto, esses fitonematoides pertencem à classe Chromadorea, com as principais famílias sendo: Hoplolaimidae, Meloidogynidae e Pratylenchidae. Particularmente, entre os gêneros que provocam danos econômicos às culturas agrícolas, destacam-se os nematoides das galhas (gênero *Meloidogyne* spp.), de cistos (principalmente o gênero *Heterodera*), nematoides das lesões radiculares (gênero *Pratylenchus*) e reniformes (gênero *Rotylenchulus*), amplamente reconhecidos como grupos de nematoides espiralados (Decraemer; Hunt, 2006; Noling, 2014).

Vale ressaltar que, embora algumas espécies, como *Meloidogyne incognita* e *Meloidogyne javanica*, sejam altamente prejudiciais ao agronegócio brasileiro, atacando diversas culturas de potencial econômico, outras, como *Meloidogyne exigua* e *Meloidogyne fallax*, também causam danos significativos. Nesse sentido, o nematoide das lesões radiculares *Heterodera glycines*, que parasita apenas a soja, e o nematoide reniforme *Rotylenchulus reniformis* (Machado, 2014) afetam diversas culturas. Adicionalmente, nas lavouras de café, os principais agentes de perda são *M. exigua*, *M. incognita* e *M. paranaensis* (Oliveira; Rosa, 2018). Por outro lado, a cana-de-açúcar é afetada por *M. incognita*, *M. javanica*, *Pratylenchus brachyurus* e *Pratylenchus zae* (Dinardo-Miranda, 2014).

Assim, a dificuldade em identificar a causa dos problemas nas lavouras se deve ao fato de que os fitonematoides não provocam sintomas específicos, levando à confusão com ataques de outras pragas ou fatores abióticos. Portanto, torna-se complexo atribuir as perdas na colheita aos danos causados por esses organismos (Siddique *et al.*, 2018).

Quanto à alimentação, os nematoides utilizam estiletos ou lanças bucais para penetrar nas células vegetais e extrair nutrientes. Nesse contexto, esses estiletos estão associados a glândulas faríngeas que produzem moléculas facilitadoras do parasitismo. Em relação à migração, eles podem ser classificados em ectoparasitas migratórios, endoparasitas e semiendoparasitas (Jones *et al.*, 2013).

O ciclo de vida dos fitonematoides, por sua vez, é composto por ovo, quatro estádios juvenis e a fase adulta, tanto para machos quanto para fêmeas. Para a maioria das espécies, são produzidos cerca de 50 a 100 ovos por fêmea; além disso, a eclosão

dos juvenis ocorre em temperaturas normais, com a temperatura ideal do solo variando de 21,1 a 26,7 °C (Noling, 2014). Entretanto, o desenvolvimento do nematoide é acelerado em temperaturas mais elevadas, e, diante disso, o cenário de mudanças climáticas pode alterar esse processo, possivelmente acelerando o desenvolvimento desses organismos (Van Den Hoogen *et al.*, 2019).

Além disso, os estágios biológicos são diferenciados por ecdises, ou seja, uma nova cutícula é produzida e substitui a cutícula anterior. Nesse contexto, dentro do ovo, após a embriogênese, o estágio juvenil 1 (J1) transforma-se no estágio juvenil 2 (J2), que é o responsável por infectar os tecidos radiculares. Assim, o estágio juvenil é uma cópia do estágio adulto, apresentando-se como filiformes e esguios (Pulavarty *et al.*, 2021).

Nos estágios 3 e 4 (J3, J4), a identificação é feita pelo número de cutículas e pela presença do estilete não funcional. Por fim, na última fase (J4), ocorre o dimorfismo sexual, com a determinação do sexo feminino e masculino. É relevante destacar que, em muitos gêneros, os machos têm um ciclo biológico mais curto e não parasitam as plantas na maioria das vezes. Em contrapartida, as fêmeas se alimentam das plantas hospedeiras até atingirem a maturidade sexual, após o período de ovoposição (Khan *et al.*, 2023).

No estágio J1 do gênero *Meloidogyne* spp., a fase do ovo inicia com as fêmeas depositando aproximadamente 500 ovos, embora algumas espécies do gênero possam gerar até 2.000 ovos, parcialmente embrionados e não embrionados, em uma matriz gelatinosa produzida por seis glândulas anais. Essa matriz, composta principalmente por glicoproteínas, tem a função de proteger os ovos, atuando como uma espécie de sensor de temperatura (Tapia *et al.*, 2022; Noling, 2014).

Por fim, no estágio seguinte (J2), inicia-se a fase de infecção, marcando o começo do parasitismo. Durante esse período, os organismos realizam migrações no solo, penetrando a raiz e se estabelecendo na vasculatura do hospedeiro para se alimentarem. Geralmente, a alimentação ocorre nas células da endoderme ou parênquima, com a nutrição direcionada a um grupo de cinco a seis células (Tapia *et al.*, 2022; Ravindra *et al.*, 2017; Ferraz; Brown, 2016).

### 2.3 Controle Biológico: Bionematicidas

Diante do contexto do *habitat* e do ciclo de vida dos fitonematoides, esses organismos apresentam ampla distribuição, o que dificulta a implementação de métodos de manejo eficientes, como rotação de culturas, resistência varietal e manejo integrado. Embora os produtos químicos possam ser eficazes no controle de nematoides, seu uso isolado não oferece um controle duradouro. Além disso, esses produtos acarretam altos custos de produção e efeitos a curto prazo. Ademais, tratamentos com nematicidas químicos podem eliminar organismos úteis no solo, ameaçando o equilíbrio ecológico (Chen *et al.*, 2020; Bettiol *et al.*, 2016).

Nesse contexto, o manejo integrado de pragas e doenças (MIP e MID) emerge como uma estratégia promissora. Essa abordagem envolve a escolha e o uso inteligente de táticas de controle que favorecem os agricultores, considerando a otimização das estratégias econômicas, ecológicas e sociais. O objetivo é tornar as plantas hospedeiras menos vulneráveis a infecções por patógenos e infestações de pragas. Vale ressaltar que a escolha das medidas mais adequadas deve levar em conta aspectos sociais, ambientais e econômicos, bem como o nível de capacitação do produtor (Kogan, 1988; Luckmann; Metcalf, 1994; Bettiol *et al.*, 2016).

Esses agentes de biocontrole apresentam relações de antagonismo com os fitonematoides, utilizando diferentes mecanismos de ação, como antibiose, predação, parasitismo e indução de resistência nas plantas hospedeiras (Baker; Cook, 1974; Stirling, 2014). Além de atuarem diretamente no controle dos nematoides, esses organismos também competem por fontes de nutrientes, principalmente na rizosfera, onde a disponibilidade é maior. Consequentemente, essa competição estratégica, juntamente com a ação dos metabólitos liberados, reduz a gravidade dos danos causados às plantas hospedeiras (Abd - Elgawad *et al.*, 2018).

Além disso, a atividade desses microrganismos pode ocorrer de forma direta, por antibiose ou competição, quando colonizam a rizosfera e produzem compostos tóxicos, ou, indiretamente, através da indução de resistência sistêmica nas plantas, tornando-as menos suscetíveis ao ataque dos nematoides (Stirling, 2018; Xiang *et al.*, 2018).

Por outro lado, a aplicação de bionematicidas ocorre em sistemas que já utilizam métodos de controle, como defensivos químicos, agentes molhantes e fertilizantes, atuando de forma complementar. Sugere-se que não sejam considerados concorrentes

diretos dos nematicidas químicos, pois características valorizadas pelos produtores, como preço e manuseio, ainda estão em desenvolvimento nos bionematicidas, que são relativamente novos no mercado (Abd-Elgawad *et al.*, 2018; Marrone, 2019; Machado, 2022).

Para compreender melhor, a produção comercial dessas tecnologias de controle biológico começa com pesquisas fundamentais, envolvendo a seleção de cepas de microrganismos benéficos e a realização de testes laboratoriais para avaliar sua eficácia. As etapas subsequentes de validação do produto incluem testes em estufas sob condições controladas, seguidos por testes de campo em fazendas, que são essenciais para o registro do produto para uso comercial (Abd-Elgawad *et al.*, 2018; Marrone, 2019; Bettioli *et al.*, 2016).

Após esse processo de registro, o produto será disponibilizado no mercado, permitindo que os agricultores o adquiram. Vale ressaltar que todo esse procedimento tem uma duração aproximada de três anos e envolve testes de campo com diversas culturas em diferentes regiões. Esse processo se aplica a qualquer tipo de bioinsumo, incluindo biofertilizantes, inoculantes e biopesticidas, como os bionematicidas (Starobinsky *et al.*, 2021).

#### **2.4 Crescimento e Inovação no Setor de Bioinsumos no Brasil: Desafios e Oportunidades**

O crescimento do setor de bioinsumos no Brasil é notável há vários anos, impulsionado pela expansão da área total cultivada, especialmente de grandes *commodities* como grãos e cana-de-açúcar, nas quais o uso de biodefensivos tem aumentado significativamente (Goulet, 2021). Embora os insumos biológicos ainda representem uma minoria quando comparados aos insumos químicos, estima-se que as vendas de biocontroles, incluindo bionematicidas, aumentem 33% até 2025, movimentando bilhões de reais (Goulet, 2021, Croplife, 2024).

Desde 2016, o registro de novos produtos tem crescido, e, em 2023, o portfólio de bioinsumos no Brasil contava com 616 produtos. Nos últimos cinco anos, o mercado de biopesticidas registrou um aumento de 45%, enquanto o de defensivos químicos cresceu apenas 6%, sendo esse crescimento intensificado pelo aumento de P&D no Brasil (Goulet, 2021; Agrofit, 2024; Silva, 2019; Agência Governo Federal, 2024).

O setor brasileiro de insumos biológicos surgiu a partir de pequenas e médias empresas no estado de São Paulo, na década de 1980, especialmente voltadas à cultura da cana-de-açúcar. As primeiras formulações comerciais dessas empresas exploravam campos de microbiologia e biotecnologia na região. O controle biológico passou por uma mudança no final dos anos 1990, com inovações baseadas na seleção e melhoramento de bactérias e fungos (Bettioli *et al.*, 2016; Parra, 2024; Goulet, 2021).

A partir de 2010, com o crescimento do setor de biológicos, empresas agroquímicas estrangeiras começaram a investir nesse mercado, adquirindo empresas locais. Apesar dos desafios relacionados ao alto custo e à escalabilidade da produção, diversas empresas buscam formas de reduzir os custos de produção, dada a atratividade do mercado e as baixas barreiras de entrada (Shoham *et al.*, 2020; Jaiswal *et al.*, 2022).

Devido ao fluxo de capital de risco para o setor, há um grande número de *startups* e pequenas empresas, que enfrentam desafios para registrar, desenvolver produtos e obter acesso ao mercado. No entanto, produtos biológicos provavelmente continuarão como nichos importantes, complementando os defensivos químicos, ao invés de substituí-los completamente. Esse cenário só mudará se os produtos biológicos conseguirem fazer mais incursões em culturas de grandes áreas (Shoham *et al.*, 2020; Jaiswal *et al.*, 2022).

As estratégias adotadas pelas empresas seguem um processo de acumulação criativa, em que os processos de inovação tecnológica são cada vez mais dinâmicos. As empresas precisam ajustar suas tecnologias existentes rapidamente, desenvolver novas tecnologias e adquirir conhecimentos para competir com os produtos tradicionais (Goulet *et al.*, 2021; Bergek *et al.*, 2013).

As inovações em tecnologias de formulação têm possibilitado o desenvolvimento de produtos biológicos mais confiáveis e com maior vida de prateleira. Os agentes de controle biológico, sendo organismos vivos, são afetados por condições ambientais e fatores como armazenamento e aplicação, que podem impactar sua eficácia. Melhorias na formulação, avanços em biotecnologia e uma melhor compreensão da fisiologia dos microrganismos ajudam a minimizar essas limitações (Bettioli *et al.*, 2023; Goulet, 2021; Shoham *et al.*, 2020).

Em suma, o setor de bioinsumos no Brasil tem mostrado um crescimento promissor, impulsionado pela demanda crescente e pelas inovações tecnológicas que visam atender às necessidades do agronegócio. O futuro do setor dependerá da capacidade das empresas de se adaptarem e inovarem, garantindo que os produtos biológicos possam se integrar de forma mais efetiva nas grandes culturas agrícolas (Marrone, 2019; Da Silva Medina *et al.*, 2024).

## 3. METODOLOGIA

### 3.1 Descrição Geral da Pesquisa

Conforme Silva e Moura (2004), as investigações das pesquisas científicas podem ser classificadas em três categorias: objetivo, natureza e procedimentos metodológicos adotados ao longo da pesquisa. O objetivo geral deste estudo se enquadra na classificação de natureza aplicada, utilizando as abordagens qualitativa e quantitativa, enquanto os procedimentos metodológicos são classificados como exploratório e descritivo, com o propósito de alcançar os objetivos estabelecidos, por meio da classificação de dados secundários obtidos em bibliografias relacionadas à temática, além da seleção de instrumentos para a coleta de dados primários (Ahmand *et al.*, 2019).

Bogdan e Biklen (1994) definem a pesquisa qualitativa como uma abordagem que se fundamenta na coleta de informações descritivas, obtidas por meio da interação direta entre o pesquisador e a situação investigada, envolvendo diversos atores sociais. Este estudo é considerado de natureza aplicada, pois visa à produção de conhecimentos direcionado à solução de problemas específicos (Córdova; Silveira, 2009). Além disso, a abordagem qualitativa permite a coleta de informações detalhadas, proporcionando uma análise detalhada de narrativas e observações abertas (Bogdan; Biklen 1994).

Em relação à abordagem quantitativa, Gattí (2014) descreve como uma forma de analisar fenômenos propostos pelo estudo através métodos estatísticos descritivos, incluindo a análise de medidas centrais, como a moda, o que permite identificar as tendências centrais de grandes populações.



Quanto aos procedimentos metodológicos, caracterizados como exploratório e descritivo, conforme os pesquisadores Córdova e Silveira (2009), a característica exploratória busca proporcionar uma compreensão mais profunda do problema, tornando-o mais evidente. Enquanto a pesquisa descritiva tem como objetivo identificar as particularidades do objeto de estudo, utilizando técnicas padronizadas na coleta de dados, conforme Prodanov e Freitas (2013). Por fim, a combinação dessas abordagens metodológicas permite uma análise abrangente e detalhada do objeto de estudo, integrando diferentes técnicas para alcançar uma compreensão completa de suas implicações práticas (Ahmad *et al.*, 2019).

### **3.2 Contexto Pesquisa**

O desenvolvimento de nematicidas microbiológicos tem avançado significativamente, impulsionado por tecnologias em biotecnologia e microbiologia. Esses avanços incluem a identificação de novas cepas microbianas e melhorias nas formulações dos produtos, visando aumentar sua eficácia e durabilidade. Tais inovações são essenciais para enfrentar desafios como a eficácia variável em diferentes ambientes e a necessidade de métodos de controle que sejam eficazes e ambientalmente seguros.

Esta pesquisa busca explorar os diferenciais tecnológicos dos nematicidas microbiológicos comerciais, destacando as inovações adotadas por empresas no mercado. O objetivo é identificar as inovações mais recentes utilizadas no desenvolvimento desses produtos e entender como elas influenciam a competitividade e a sustentabilidade na agricultura.

### **3.3 Coleta de Dados**

A coleta de dados é uma etapa essencial em qualquer pesquisa científica, pois permite a obtenção de informações necessárias para responder às perguntas de pesquisa (Bauer; Gaskell, 2017). Neste estudo, a coleta de dados primários foi realizada em duas etapas principais: identificação dos nematicidas registrados no período de 2007 a 2024 e condução de entrevistas com especialistas no setor.

Na primeira etapa, foram coletados dados secundários por meio da análise dos produtos registrados no Sistema Fitossanitário de Agrotóxicos (AGROFIT) do Mapa. Essa análise incluiu a revisão de bulas, relatórios técnicos e publicações científicas relacionadas ao desenvolvimento e à comercialização de nematicidas microbiológicos. Essa abordagem permitiu um mapeamento das empresas que fabricam esses insumos, assim como, os organismos utilizados na fabricação e tecnológicas adotadas no mercado de nematicidas microbiológicos.

Na segunda etapa, consistiu na realização de entrevistas abertas com os colaboradores das empresas produtoras de nematicidas microbiológicos. Essas entrevistas, estruturadas com base em um questionário semiestruturado, abordaram diversos aspectos relacionados aos diferenciais tecnológicos na fabricação desses insumos biológicos, além dos desafios enfrentados no desenvolvimento e na comercialização dos produtos. A escolha das entrevistas como método de coleta de dados qualitativos é amplamente reconhecida na literatura acadêmica, sendo uma das principais fontes de evidências em estudos de caso, uma vez que permitem a obtenção de informações detalhadas e enriquecedoras (Mozzato; Grzybovski, 2011).

### **3.3.1 Instrumento de Coleta de Dados**

Nesta pesquisa, a coleta de dados baseia-se em duas técnicas: a pesquisa por meio da utilização da plataforma AGROFIT e questionário semiestruturado/ roteiro de entrevista (Apêndice A). O termo livre esclarecido encontra-se no Apêndice B.

### **3.3.2 Perfil das Empresas**

Foram selecionadas 27 empresas para a análise de seus produtos e identificação das tecnologias utilizadas para produção de bionematicidas. Treze empresas são brasileiras de médio a grande porte, incluindo a dentre elas: Agrivalle Brasil; Agrobiológica Sustentabilidade; Ballagro Tecnologia; Nooa Ciência e Tecnologia; Cooperativa Mista do Desenvolvimento do Agronegócio; Biota Innovations; Bioma Indústria; Propphyto Comércio; Simbiose; Total Biotecnologia; Vittia Fertilizantes; TZ Biotec e Improcrop do Brasil.

Foram selecionadas também catorze empresas estrangeiras como: Basf. S.A; Koppert Holding; Syngenta, Lallemand Soluções; Andermat Brasil; Indigo Brasil; FMC Química do Brasil; CHR Hansen; Stoller do Brasil; Sumitomo Chemical Brasil; Superbac Biotechnology Solutions; Vital Brasil Chemical e Mitsu & Co Brasil. A maioria das empresas brasileiras encontram-se na região sul e sudeste (São Paulo, Minas Gerais Paraná e Rio grande do Sul), como também as sedes das *holdings* estrangeiras.

Algumas empresas brasileiras integram grandes conglomerados de capital privado de investimento, como a GoExper que investe na Simbiose e Bioma. A Vittia Fertilizantes e Biológicos está registrada na bolsa de valores brasileira B3. Outros grupos de investimento, como a Tarpon (Agrivalle Brasil) e Agrobiológica Sustentabilidade vinculada ao grupo Crop Care Holding também detêm esses investimentos externos. Não foram encontrados dados sobre o capital de investimento ou participação em algum grupo para as empresas não mencionadas.

Embora a maioria das empresas estabeleça parcerias com setores públicos quanto privados, tanto para investimentos quanto para o desenvolvimento de tecnologia, é possível destacar, por exemplo, que algumas cepas dos ingredientes ativos utilizados na fabricação dos produtos foram adquiridas de instituições de pesquisa brasileira, como a ESALQ (Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz – SP), responsável pelo desenvolvimento da Cepa 1306 de *Trichoderma harzianum* (Meyer *et al.*, 2019).

### **3.3.3 Entrevistas**

Foram realizadas um total de 12 entrevistas com colaboradores das empresas brasileiras e estrangeiras que fabricam os nematicidas microbiológicos. Os participantes foram selecionados a partir dos dados coletados pelo AGROFIT, onde foi identificada a quantidade de empresas que produzem bionematicidas no Brasil. O país possui 27 empresas que fabricam esses insumos, entramos em contato com todas, mas recebemos retorno apenas de 12.

As entrevistas foram conduzidas de forma aberta, com base em três perguntas, realizadas tanto de forma digital, pela plataforma Microsoft Teams, quanto presencialmente na feira agrônômica Agro Brasília. Ao todo, foram realizadas cinco entrevistas presenciais e sete virtuais. Cada uma teve duração média de trinta minutos, sendo todas gravadas com o consentimento prévio dos participantes, em conformidade

com os princípios éticos de pesquisa. As entrevistas ocorreram no período de abril a junho de 2024.

Posteriormente, essas entrevistas foram transcritas integralmente, o que proporcionou um material detalhado para análise qualitativa. Para preservar a confidencialidade dos participantes, os dados das entrevistas são apresentados de forma agregada e anônima, sem mencionar os nomes das empresas ou dos produtos específicos. Esse processo de transcrição, como apontado por Bauer e Gaskell (2017), é essencial para permitir a codificação e categorização dos dados, facilitando a identificação de padrões e temas recorrentes.

Por motivos éticos e a pedido dos entrevistados, os nomes das empresas e dos produtos avaliados não foram revelados. Assim, as empresas foram designadas com letras de A a L, enquanto os 38 produtos foram nomeados com números de 1 a 38. A confidencialidade foi uma preocupação constante, reforçando a transparência e ética da pesquisa.

Enquanto as entrevistas foram tratadas de forma anônima, os dados coletados no AGROFIT, sendo de acesso público, são apresentados de maneira detalhada para dar suporte às análises realizadas nesta pesquisa, assegurando uma base sólida e confiável para os resultados encontrados.

### **3.4 Participantes da Pesquisa**

#### **3.4.1 Perfil dos Entrevistados**

Para a coleta de dados dos colaboradores, foram solicitadas informações sobre idade, região de atuação e área da empresa. A seleção dos entrevistados foi estratégica, visando incluir profissionais com experiência significativa no manejo de nematocidas microbiológicos comerciais. A amostra consistiu predominantemente de homens, com oito participantes do gênero masculino e quatro do feminino, ambos com uma faixa etária média de 30 a 40 anos, e incluindo um participante de 60 anos.

As regiões de atuação dos participantes abrangem as principais fronteiras agrícolas do Brasil — Sul, Sudeste, Centro-Oeste e Nordeste — com destaque para as áreas do Maranhão, Piauí e Bahia. Esses profissionais estão envolvidos diretamente na

área de desenvolvimento de mercado e inovação em nematicidas, exceto por dois participantes que atuam em pesquisa e desenvolvimento de produtos. Os entrevistados ocupam cargos estratégicos na empresa, como gerentes de desenvolvimento de mercado, pesquisadores e representantes comerciais, todos com profundo domínio técnico e experiência na área de nematicidas microbiológicos.

### **3.5 Procedimentos e Análise de Dados**

#### **3.5.1 Aplicação da Estatística Descritiva**

A fim do cumprimento dos objetivos dispostos na pesquisa, a análise de dados realizada nos três objetivos foi utilizada a estatística descritiva como base. Segundo os autores Magalhães e Lima (2002) a estatística descritiva é a etapa inicial do conjunto de dados, permitindo tirar conclusões de forma direta a partir da observação dos dados coletados. A análise de dados foi orientada por essa abordagem descritiva, onde os dados foram organizados e resumidos por meio de tabelas e gráficos, assim como, obtidas medidas de tendência central (Creswell, 2017).

Para a análise dos dados extraídos do AGROFIT e de parte das entrevistas, utilizou-se a estatística descritiva, com os dados sendo resumidos por meio de tabelas e gráficos (Chambers, 2008), o que permitiu observar o agrupamento das informações. As informações coletadas no AGROFIT referem-se aos nematicidas microbiológicos disponíveis no mercado entre 2007 e 2024, período selecionado para o estudo. O primeiro registro de nematicida microbiológica data de 2007, e os dados abrangem até 2024, ano vigente à publicação desta dissertação.

Foram considerados apenas produtos envasados, excluindo-se os produtos *on farm*. As informações foram extraídas da seção "Produtos Formulados", incluindo dados sobre a marca comercial, titular do registro, agente biológico utilizado como base para o produto (nematicida microbiológico), e a finalidade do produto, relacionada à doença que se busca prevenir e ao agente biológico utilizado para evitar danos.

Em relação às entrevistas, foi criada base de dados no Microsoft Excel, identificando, o diferencial tecnológico dos produtos registrados, coletados anteriormente na etapa do AGROFIT, mencionado por cada entrevistado na primeira pergunta. Vale destacar que as respostas da primeira pergunta foram categorizadas de forma objetiva, com "sim" ou "não" para cada diferencial apontado por cada

colaborador. Essa estatística foi utilizada para descrever as características básicas nos dados coletados (South *et al.* 2022).

As principais técnicas utilizadas foram a distribuição de frequência, que analisa a contagem das respostas, proporcionando uma visão da distribuição da amostra (Chambers, 2008). Também foram utilizadas medidas de tendência central, calculando a frequência das respostas para fornecer uma visão geral das tendências (Sincichi, 2017).

### **3.5.2 Base de dados: AGROFIT**

O AGROFIT foi utilizado para obtenção de dados secundários na identificação no sistema oficial de cadastro dos agrotóxicos, produtos técnicos e afins, sob a responsabilidade do Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA). O AGROFIT é gerenciado pela Secretaria de Defesa Agropecuária (SDA), que supervisiona sua operação e manutenção técnica, assim como a qualidade das informações (Brasil 2023).

O sistema também é integrado com dados da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) e do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), facilitando a consulta pública e abrangente sobre os produtos registrados para o controle de pragas, doenças e ervas daninhas (Rangel, 2016; Brasil 2023).

O AGROFIT permite diferentes combinações de pesquisa, incluindo marca comercial, cultura, ingrediente ativo, e classificação toxicológica e ambiental. Essas informações são fundamentais para garantir o uso correto desses produtos, assim como, evitar o uso indevido desses produtos, podendo levar ao desenvolvimento de resistência em pragas ou presença de resíduos acima dos limites permitidos (Brasil, 2023).

### **3.5.3 Aplicação do Iramuteq na Análise das Entrevistas**

Essa etapa foi realizada após a conclusão das 12 entrevistas com os colaboradores das empresas. Consistiu na análise do conteúdo coletado nas entrevistas. Para isso, foi elaborado o corpus textual de cada entrevista utilizando o *software* Iramuteq (*Interface de R pour les Analyses Multidimensionnelles de Textes et de Questionnaires*). Esse *software* é baseado no *software* R com uma linguagem de Python, sendo gratuito e de código aberto, permitindo análises lexicais e estatísticas detalhadas no corpus textual. O Iramuteq é bastante utilizado em pesquisas qualitativas, facilitando

a interpretação dos dados textuais, identificando padrões e relações entre os dados (Marchand; Ratinaud, 2012; Mozzato; Grzybovski, 2011).

As análises realizadas com o Iramuteq incluíram a Classificação Hierárquica Descendente (CDH), que agrupa as unidades de contextos elementares (UCEs) em cada classe temática com base nas similaridades do corpus textual. Essas classes representam conjuntos de segmentos textuais que compartilham um vocabulário comum e estão associadas com alguma temática específica (Marchand; Ratinaud, 2012). Também foi realizada a análise de similitude, que é a representação gráfica das relações de proximidade das palavras contidas no conjunto de texto, revelando padrões de coocorrência (Marchand; Ratinaud, 2012).

Por fim, foi elaborada a nuvem de palavras, que tem a função de visualizar e agrupar as palavras graficamente em função da sua função da frequência. Sendo uma análise lexical mais simples, porém visualmente interessante, identifica as palavras-chave do corpus textual (Marchand; Ratinaud, 2012).

#### **3.5.4 Etapas da Metodologia do Iramuteq**

##### **1. Coleta de Dados:**

- a) Foram realizados o levantamento de dados na base de dados AGROFIT coletando os registros dos nematocidas biológicos e químicos registrados do período de 2007 a 2024.
- b) Foram realizadas 12 entrevistas com os colaboradores das empresas brasileiras e estrangeiras sendo 7 pela plataforma Microsoft Teams e 5 presencialmente na feira Agro Brasília.
- c) O software divide os textos em segmentos de texto (ST), que geralmente são de três linhas. Todas as perguntas foram suprimidas do texto e as transcrições das entrevistas foram salvas no *formato Unicode Transformation Format 8 bit codeunits – UTF 8*, conforme orienta Camargo e Justo (2013).

##### **2. Preparação dos Dados:**

- a) As transcrições das entrevistas foram revisadas para garantir a integridade das respostas. O texto foi preparado em um formato adequado para análise, segmentado em unidades de contexto elementares (UCEs), que são os segmentos básicos de texto

analisados pelo Iramuteq (Mozzato; Gryzybovski, 2011; Sousa *et al.*, 2020).

- b) Cada segmento de atores teve os dados textuais de suas respostas agrupados em um *corpus*, os quais foram posteriormente agrupados para uma análise geral do conjunto das verbalizações, de acordo com as categorias propostas para levantamento das percepções de cada grupo (Camargo; Justo, 2013). De acordo com Camargo e Justo (2013), *corpus* é o conjunto de textos que o pesquisador vai analisar, nesse caso, as entrevistas transcritas. Cada entrevista será um texto e, cada texto será separado por linhas de comando usando asteriscos, que vão informar a identificação do entrevistado e outras características importantes para a pesquisa em questão.

### 3. Análise com Iramuteq:

- a) **Classificação Hierárquica Descendente (CHD):** Agrupamento das UCEs em classes temáticas com base nas suas similaridades lexicais, por meio de testes de Qui-Quadrado ( $\chi^2$ ) fórmula estatística (Camargo; Justo, 2013). Cada classe representa um conjunto de segmentos textuais que compartilham um vocabulário comum e estão associados a um tema específico (Ratinaud; Marchand, 2012; Souza *et al.*, 2018).
- b) **Análise de Similitude:** Representação gráfica das relações de proximidade entre palavras de um corpus textual, revelando padrões de coocorrência (Ratinaud; Marchand, 2012).
- c) **Análise de Conteúdo:** A análise de conteúdo foca na identificação da frequência e significância das palavras e temas dentro do texto, permitindo uma avaliação detalhada das narrativas e discursos presentes (Bardin, 2011). Esta técnica envolve a codificação manual e automática dos dados textuais, garantindo que todos os aspectos relevantes sejam capturados e analisados, proporcionando uma compreensão profunda dos significados implícitos e explícitos nos textos (Souza *et al.*, 2018).
- d) **Nuvem de Palavras:** A nuvem de palavras é uma das análises mais simples realizadas pelo Iramuteq, sendo uma representação gráfica baseada na frequência de palavras presente no conjunto de texto analisado (Camargo *et al.*, 2013).



Com relação aos quadros 1, 2 e 3 metodológicos nas páginas posteriores, apresentamos um resumo das metodologias utilizadas para alcançar os três objetivos específicos da pesquisa proposta. Cada quadro está diretamente conectado a uma metodologia específica aplicada para atingir esses objetivos, evidenciando a relação entre as abordagens metodológicas e os resultados.

Quadro 1- Metodologia Proposta para Identificação de Empresas e Produtos de Nematicidas Microbiológicos

Título			
NEMATICIDAS MICROBIOLÓGICOS: DIFERENCIAIS TECNOLÓGICOS DOS PRODUTOS INDUSTRIAIS			
Objetivo Geral	Objetivo específico	Metodologia	
Investigar os diferenciais tecnológicos dos nematicidas microbiológicos industriais desenvolvidos por empresas brasileiras e estrangeiras, destacando as inovações e o papel das empresas no mercado.	a) Identificar as empresas e produtos de nematicidas microbiológicos industriais lançados entre 2007 a 2024.	<b>Locus</b>	Fitonematoides, Controle Biológico, Inovação e Agrofit
		<b>Abordagem</b>	Qualitativa e Quantitativa
		<b>Procedimento técnico</b>	Levantamento de dados documentais através da plataforma Agrofit complementada por uma revisão narrativa de literatura
		<b>Natureza</b>	Exploratória e Descritiva
		<b>Instrumentos</b>	Plataforma Agrofit, Bulas técnicas dos produtos e revisão narrativa de literatura
		<b>Levantamento e coleta de dados</b>	Levantamento de dados na plataforma Agrofit: Identificação e registro de empresas e produtos. Análise documental: Investigação de dados nas bulas técnicas dos produtos para buscar informações sobre formulação, ingrediente ativo, espécie de nematóide o produto controla entre outras características atreladas ao produto. Revisão narrativa de literatura: Foram utilizadas as bases de dados Web of Science, Scopus, CAPES, Springer open e Pub Med. Período de buscas 2010-2024.
		<b>Tipo de material</b>	Dados levantados pela plataforma Agrofit
		<b>Análise</b>	Análise de Estatística Descritiva
		<b>Fonte</b>	Secundária
<b>Ferramenta</b>	Base de dados Agrofit e Microsoft Excel		

Quadro 2 - Metodologia Proposta para Inovações e Desafios em Nematicidas Microbiológicos

Título			
NEMATICIDAS MICROBIOLÓGICOS: DIFERENCIAIS TECNOLÓGICOS DOS PRODUTOS INDUSTRIAIS			
Objetivo Geral	Objetivo específico	Metodologia	
Investigar os diferenciais tecnológicos dos nematicidas microbiológicos industriais desenvolvidos por empresas brasileiras e estrangeiras, destacando as inovações e o papel das empresas no mercado.	b) Investigar os avanços tecnológicos adotados pelas empresas no desenvolvimento de novos nematicidas microbiológicos, destacando os desafios enfrentados.	<b>Locus</b>	Fitonematoides, Inovação, Iramuteq
		<b>Abordagem</b>	Qualitativa
		<b>Procedimento técnico</b>	Entrevistas abertas pela plataforma <i>Teams</i> e feira agrônômica Agro Brasília.
		<b>Natureza</b>	Exploratória e Descritiva
		<b>Instrumentos</b>	Roteiro de entrevista aberto através de um questionário estruturado e termo de consentimento livre esclarecido.
		<b>Levantamento e coleta de dados</b>	Entrevistas: entrevista com os colaboradores das empresas privadas produtoras de bionematicidas no Brasil.
		<b>Tipo de material</b>	<i>Corpus</i> textual das entrevistas abertas e dados extraídos do questionário estruturado
		<b>Análise</b>	Análise de Conteúdo
		<b>Fonte</b>	Primária
		<b>Ferramenta</b>	<i>Software</i> IRAMUTEQ e Microsoft Excel

Quadro 3- Metodologia Proposta para Caracterização em Nematicidas Microbiológicos

Título			
NEMATICIDAS MICROBIOLÓGICOS: DIFERENCIAIS TECNOLÓGICOS DOS PRODUTOS INDUSTRIAIS			
Objetivo Geral	Objetivo específico	Metodologia	
Investigar os diferenciais tecnológicos dos nematicidas microbiológicos industriais desenvolvidos por empresas brasileiras e estrangeiras, destacando as inovações e o papel das empresas no mercado.	c) Caracterizar os diferenciais tecnológicos dos nematicidas microbiológicos disponíveis no mercado.	<b>Locus</b>	Fitonematoides, Inovação, Diferencial Tecnológico
		<b>Abordagem</b>	Qualitativa e Quantitativa
		<b>Procedimento técnico</b>	Entrevistas abertas pela plataforma <i>Teams</i> e feira agrônômica Agro Brasília.
		<b>Natureza</b>	Exploratória e Descritiva
		<b>Instrumentos</b>	Roteiro de entrevista aberto através de um questionário estruturado e termo de consentimento livre esclarecido.
		<b>Levantamento e coleta de dados</b>	Entrevistas: entrevista com os colaboradores das empresas privadas produtoras de bionematicidas no Brasil.
		<b>Tipo de material</b>	<i>Corpus</i> textual das entrevistas abertas e dados extraídos do questionário estruturado
		<b>Análise</b>	Análise de Estatística Descritiva
		<b>Fonte</b>	Primária
		<b>Ferramenta</b>	Microsoft Excel

## 4. RESULTADOS

Nesta seção, serão analisados os resultados organizados em três subseções, cada uma correspondente a um dos objetivos específicos propostos. A análise segue a ordem estabelecida: 4.1 Identificação de Empresas e Produtos de Nematicidas Microbiológicos Comerciais (2007-2024): Esta subseção aborda a identificação das empresas e dos produtos de nematicidas microbiológicos registrados entre 2007 e 2024, com o auxílio dos dados da plataforma AGROFIT. Serão destacados tanto os nematicidas microbiológicos quanto os químicos registrados durante o período;

4.2 Caracterização dos Diferenciais Tecnológicos dos Nematicidas Microbiológicos no Mercado: A última subseção concentra-se na caracterização dos diferenciais tecnológicos dos nematicidas microbiológicos disponíveis no mercado. A análise foi realizada com o uso de estatística descritiva para investigar os diferenciais tecnológicos dos produtos registrados pelas empresas entrevistadas.

4.3 Identificação dos Principais Desafios e Avanços no Desenvolvimento dos Nematicidas Microbiológicos: Nesta subseção, foram analisados os principais desafios enfrentados no desenvolvimento de nematicidas microbiológicos, bem como os avanços associados. Utilizando o *software* Iramuteq, identificamos esses desafios com base nas entrevistas realizadas;

Além das análises mencionadas, o Quadro 4. apresenta a caracterização detalhada do perfil dos entrevistados, vinculando-os aos seus respectivos cargos e às empresas analisadas. Essa informação complementa as subseções anteriores, fornecendo uma visão mais ampla sobre as perspectivas de quem participou das entrevistas e contribuindo para uma melhor compreensão, conforme discutido nas subseções 4.1, 4.2 e 4.3

Quadro 4. Relação da Caracterização das Empresas com os Entrevistados

<b>Empresas</b>	<b>Caracterização</b>	<b>Cargos</b>
Empresa B	Brasileira	Gerente da Unidade de Negócios
Empresa C	Brasileira	Executivo de Inovação
Empresa D	Brasileira	Representante Comercial
Empresa E	Brasileira	Analista de Desenvolvimento de Mercado
Empresa H	Brasileira	Analista de Desenvolvimento de Mercado
Empresa J	Brasileira	Analista de Desenvolvimento de Mercado
Empresa A	Estrangeira	Representante Comercial
Empresa F	Estrangeira	Representante Comercial
Empresa G	Estrangeira	Representante Comercial
Empresa I	Estrangeira	Gerente de Pesquisa e Desenvolvimento
Empresa K	Estrangeira	Representante Comercial
Empresa L	Estrangeira	Analista de Desenvolvimento de Mercado

#### **4.1 Identificação de Empresas e Produtos de Nematicidas Microbiológicos e Químicos Comerciais (2007-2024)**

##### **4.1.1 Total de Nematicidas Microbiológicos Registrados**

Entre 2007 e 2024, foram registrados 88 nematicidas microbiológicos comerciais, excluindo aqueles produzidos *on farm*. Em 2023, a empresa brasileira Solubio, especializada na venda de produtos *on farm*, registrou três novos produtos nessa categoria. No entanto, para a análise proposta pelo objetivo 1 da pesquisa, com base nos dados oficiais da plataforma AGROFIT, optou-se por examinar detalhadamente apenas os bionematicidas envasados, ou seja, industriais. Assim, foram considerados 85 nematicidas microbiológicos, dos quais 36 são de empresas estrangeiras e 49 de empresas brasileiras.

Conforme evidenciado na Tabela 01, existem 13 empresas brasileiras (Agrivalle Brasil; Agrobiológica Sustentabilidade; Ballagro Tecnologia; Nooa Ciência e Tecnologia; Cooperativa Mista do Desenvolvimento do Agronegócio; Biota Innovations; Bioma Indústria; Propphyto Comércio; Simbiose; Total Biotecnologia; Vittia Fertilizantes; TZ Biotec e Improcrop do Brasil) e 14 empresas estrangeiras (BASF S.A; Koppert Holding; Syngenta, Lallemand Soluções; Andermat Brasil; Indigo Brasil; FMC Química do Brasil; CHR Hansen; Stoller do Brasil; Sumitomo Chemical Brasil; Superbac Biotecnology Solutions; Vital Brasil Chemical e Mitsu & Co Brasil), totalizando 27 empresas que possuem bionemáticas registradas no período analisado.

De acordo com a Tabela 1, é possível notar que houve apenas dois registros no período de 2007 e 2013: 1 produto registrado em 2007 por uma empresa estrangeira e 1 produto registrado em 2013 por uma brasileira. No período de 2014 a 2015 não foram realizados novos registros. No entanto, a partir de 2016, o número de registro começou a crescer de forma mais substancial.

A análise da Tabela 01 também revela a distribuição dos registros ao longo dos anos, evidenciando a participação de empresas brasileiras e estrangeiras de 2007 a 2024, com destaque para anos específicos em que os registros foram mais expressivos.

Tabela 1. Nematicidas Microbiológicos Registrados no Brasil por Empresas Brasileiras e Estrangeiras de 2007 a 2024.

Empresa	Produto	Ano	Caracterização	Ingrediente ativo	Classe Microbiológica	Nº de espécies de nematoides
Koppert	Trichodermil SC 1306	2007	Estrangeira	<i>Trichoderma harzianum</i>	Nematicida e Fungicida	1
Ballagro	Nemat	2013	Brasileira	<i>Purpureocillium lilacinum</i>	Nematicida	2
Lallemand	Rizos OG	2016	Estrangeira	<i>B.subtilis</i>	Nematicida	2
Lallemand	Onix OG	2016	Estrangeira	<i>B.methylotrophicus</i>	Nematicida	2
Simbiose	Nemacontrol	2016	Brasileira	<i>B.amyloliquefaciens</i>	Nematicida	4
Stoller do Brasil	Rizotec	2016	Estrangeira	<i>Pochonia chlamydosporia</i>	Nematicida	1
Basf	Andril Prime	2017	Estrangeira	<i>B.firmus</i>	Nematicida	5
Basf	Oleaje Prime	2017	Estrangeira	<i>B.firmus</i>	Nematicida	5
Koppert	Trianum WG	2018	Estrangeira	<i>Trichoderma harzianum</i>	Nematicida e Fungicida	1
Syngenta	Clariva PN	2017	Estrangeira	<i>Pasteuria nishizawae</i>	Nematicida	1
Fmc Química	Quartzo	2017	Estrangeira	<i>B.subtilis</i> <i>B.licheniformis</i>	Nematicida	8
Fmc Química	Presence	2017	Estrangeira	<i>B.subtilis</i>	Nematicida	8

Fonte: Elaborado pela autora, AGROFIT, 2024. (Continua na próxima página)



Tabela 2. Nematicidas Microbiológicos Registrados no Brasil por Empresas Brasileiras e Estrangeiras de 2007 a 2024. (Continuação)

Empresa	Produto	Ano	Caracterização	Ingrediente ativo	Classe Microbiológica	Nº de espécies de nematoides
Lallemand	Rizos	2018	Estrangeira	<i>B.subtillis</i>	Nematicida	2
Lallemand	Lalnix Over Sc	2018	Estrangeira	<i>Trichoderma endophyticum</i>	Nematicida	2
Koppert	Daytona	2018	Estrangeira	<i>B.methylotrophicus</i>	Nematicida e Fungicida	1
Koppert	Trianum DS	2018	Estrangeira	<i>Trichoderma harzianum</i>	Nematicida e Fungicida	1
Syngenta	Clariva PN BR	2018	Estrangeira	<i>Pasteuria nishizawae</i>	Nematicida	1
Ballagro	Hope	2018	Estrangeira	<i>Purpureocillium lilacinum</i>	Nematicida	1
Vittia	BV0518	2018	Brasileira	<i>Purpureocillium lilacinum</i>	Nematicida	2
Vittia	No-Nema	2018	Brasileira	<i>B.amyloliquefacies</i>	Nematicida e Fungicida	4
Vittia	Tricho-Turbo	2018	Brasileira	<i>Trichoderma asperellum</i>	Nematicida e Fungicida	1
Agrobiológica	Atialy	2019	Brasileira	<i>Purpureocillium lilacinum</i>	Nematicida	1
Ballagro Agro	BN40.001/19	2019	Brasileira	<i>Purpureocillium lilacinum</i>	Nematicida	2
Agrivalle	Profix	2019	Brasileira	<i>B.licheniformis, B.subtilis e Purpureocillium lilacinum</i>	Nematicida	2

Fonte: Elaborado pela autora, AGROFIT, 2024. (Continua na próxima página)

Tabela 3. Nematicidas Microbiológicos Registrados no Brasil por Empresas Brasileiras e Estrangeiras de 2007 a 2024. (Continuação)

Empresa	Produto	Ano	Caracterização	Ingrediente ativo	Classe Microbiológica	Nº de espécies de nematoides
Prophyto	Loyalty Bio	2019	Brasileira	<i>B.amyloliquefaciens</i>	Nematicida	4
Basf	Oleaje Prime	2019	Estrangeira	<i>B.firmus</i>	Nematicida	5
TZ Biotec	Purpleonyd FR25	2019	Brasileira	<i>Purpureocillium lilacinum</i>	Nematicida	1
Simbiose	Nemacontrol Super	2019	Brasileira	<i>B.amyloliquefaciens</i>	Nematicida	2
Vittia	Rizo-Turbo	2020	Brasileira	<i>Pochonia chlamydosporia</i>	Nematicida	2
Total Biotecnologia	Paladyo	2020	Brasileira	<i>B. subtilis</i>	Nematicida e Fungicida	4
Total Biotecnologia	Nematrop	2020	Brasileira	<i>B.subtilis</i>	Nematicida e Fungicida	4
Total Biotecnologia	Nemaster	2020	Brasileira	<i>B.subtilis</i>	Nematicida e Fungicida	4
Agrivalle	Messenger	2020	Brasileira	<i>B.licheniformis; B. subtilis e Purpureocillium lilacinum</i>	Nematicida	2
Agrivalle	Bio Tramo	2020	Brasileira	<i>B.licheniformis; B. subtilis e Purpureocillium lilacinum</i>	Nematicida	2

Fonte: Elaborado pela autora, AGROFIT, 2024. (Continua na próxima página)

Tabela 4. Nematicidas Microbiológicos Registrados no Brasil por Empresas Brasileiras e Estrangeiras de 2007 a 2024. (Continuação)

Empresa	Produto	Ano	Caracterização	Ingrediente ativo	Classe Microbiológica	Nº de espécies de nematoides
Agrivalle	AgDommon	2020	Brasileira	<i>B.licheniformis; B. subtilis e Purpureocillium lilacinum</i>	Nematicida	1
Koppert	Chevelle	2020	Estrangeira	<i>B. amyloliquefaciens</i>	Nematicida	3
Koppert	Boneville	2020	Estrangeira	<i>B. amyloliquefaciens</i>	Nematicida	3
Total Biotecnologia	Bioessence Drive	2020	Brasileira	<i>B.subtilis</i>	Nematicida e Fungicida	4
Sumitomo Chemical Brasil	Aveo EZ	2020	Estrangeira	<i>B.amyloliquefaciens</i>	Nematicida	6
Sumitomo Chemical Brasil	Lumialza	2020	Estrangeira	<i>B.amyloliquefaciens</i>	Nematicida	3
Koppert	Veraneio	2021	Estrangeira	<i>Trichoderma harzianum</i>	Nematicida	2
Simbiose	Inlayon Eco	2021	Brasileira	<i>B.amyloliquefaciens</i>	Nematicida	3
Syngenta	Arvatico	2021	Estrangeira	<i>B.velezensis</i>	Nematicida e Fungicida	3
Syngenta	Certano	2021	Estrangeira	<i>B.velezensis</i>	Nematicida e Fungicida	3
Mitsu & Co	Biostat WP	2021	Estrangeira	<i>Purpureocillum lilacinum</i>	Nematicida	2
Total Biotecnologia	Biomagno	2022	Brasileira	<i>B.amyloliquefaciens B.thurigiensis e B.velezensis</i>	Nematicida e Fungicida	6

**Fonte:** Elaborado pela autora, AGROFIT, 2024 (Continua na próxima página)

Tabela 5. Nematicidas Microbiológicos Registrados no Brasil por Empresas Brasileiras e Estrangeiras de 2007 a 2024. (Continuação)

Empresa	Produto	Ano	Caracterização	Ingrediente ativo	Classe Microbiológica	Nº de espécies de nematoídes
Total Biotecnologia	BTP 007-19	2022	Brasileira	<i>B. velezensis</i>	Nematicida e Fungicida	1
Cooperativa Mista de Desenvolvimento do Agronegócio	AmyloTrop	2022	Brasileira	<i>B. amyloliquefaciens</i>	Nematicida	2
Cooperativa Mista de Desenvolvimento do Agronegócio	Nemazak	2022	Brasileira	<i>B. amyloliquefaciens</i> <i>B. subtilis</i> e <i>B. thuringiensis</i>	Nematicida	1
Koppert	KBR PD07	2022	Estrangeira	<i>Trichoderma harzianum</i>	Nematicida e Fungicida	3
Koppert	KBR PD08	2022	Estrangeira	<i>Trichoderma harzianum</i>	Nematicida e Fungicida	3
Bioma	B.Bv-10	2022	Brasileira	<i>B. velezensis</i>	Nematicida	2
Bioma	Bioagrorraiz	2022	Brasileira	<i>B. velezensis</i>	Nematicida	2
Bioma	Nemax	2022	Brasileira	<i>B. amyloliquefaciens</i>	Nematicida	1
Bioma	Nema Protection	2022	Brasileira	<i>B. amyloliquefaciens</i>	Nematicida	1
CHR Hansen	Nimaxxa	2022	Estrangeira	<i>B. paralicheniformis</i> e <i>B. subtilis</i>	Nematicida	4
Vittia	Biobaci	2022	Brasileira	<i>B. subtilis</i>	Nematicida e Fungicida	4

Fonte: Elaborado pela autora, AGROFIT, 2024 (Continua na próxima página)

Tabela 6. Nematicidas Microbiológicos Registrados no Brasil por Empresas Brasileiras e Estrangeiras de 2007 a 2024. (Continuação)

Empresa	Produto	Ano	Caracterização	Ingrediente ativo	Classe Microbiológica	Nº de espécies de nematoides
Biota Innovations	Bamytis	2022	Brasileira	<i>B.amyloliquefaciens</i> <i>B.subtilis</i> e <i>B.thurigiensis</i>	Nematicida	1
Ballagro	Nemat	2013	Brasileira	<i>Purpureocillium lilacinum</i>	Nematicida	2
Andermatt	Nembac 42	2022	Estrangeira	<i>B.velezensis</i>	Nematicida	2
Adama Brasil	Protege	2022	Estrangeira	<i>B.amyloliquefaciens</i> <i>B.Thurigiensis</i> e <i>B.velezensis</i>	Nematicida e Fungicida	5
Indigo Brazil	Biotrinsic	2023	Estrangeira	<i>Pseudomonas oryzihabitans</i>	Nematicida	3
Nooa Ciência e Tecnologia	Auba	2023	Brasileira	<i>B.amyloliquefaciens</i>	Nematicida	3
Ballagro	BN45.001/19	2023	Brasileira	<i>Purpureocillium lilacinum</i> e <i>Pochonia Chlamydosporia</i>	Nematicida	1
Total Biotecnologia	BTP 167-21	2023	Brasileira	<i>B.circulans</i> <i>B.licheniformis</i> <i>B.subtilis</i> e <i>Paenibacillus azotofixans</i>	Nematicida e Fungicida	2
Fmc Química	Presence Full	2023	Estrangeira	<i>B.licheniformis</i> e <i>B.subtilis</i>	Nematicida	3
CHR Hansen	Unnat	2023	Estrangeira	<i>B.paralicheniformis</i> e <i>B.subtilis</i>	Nematicida	5

**Fonte:** Elaborado pela autora, AGROFIT, 2024 (Continua na próxima página)

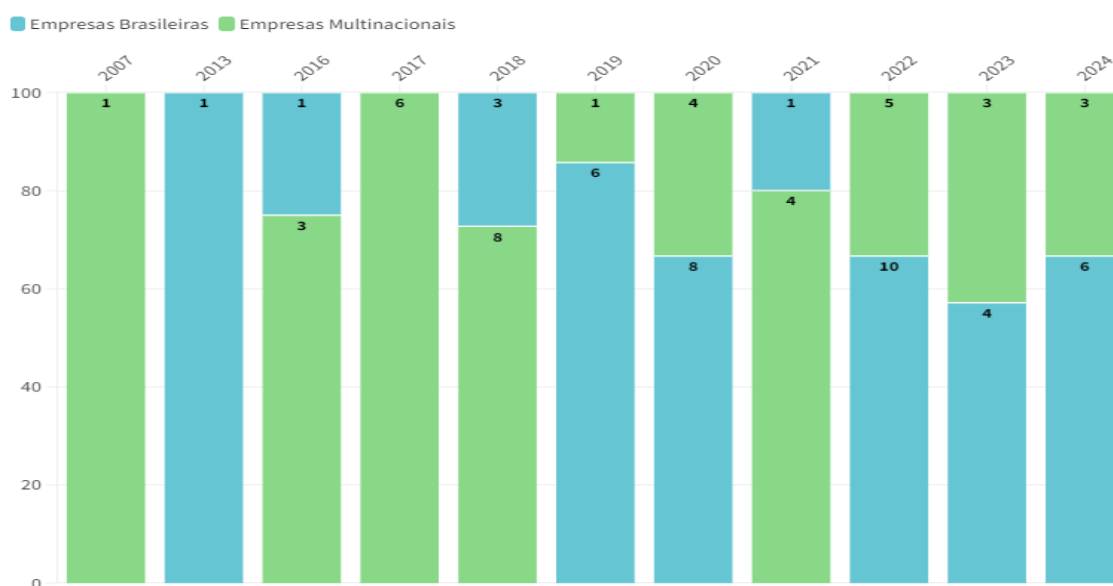
Tabela 7. Nematicidas Microbiológicos Registrados no Brasil por Empresas Brasileiras e Estrangeiras de 2007 a 2024. (Continuação)

Empresa	Produto	Ano	Caracterização	Ingrediente ativo	Classe Microbiológica	Nº de espécies de nematoides
Vital Brasil	Bionmt	2024	Estrangeira	<i>B.subtilis e Trichoderma harzianum</i>	Nematicida	1
Total Biotecnologia	BTP 002-18	2024	Brasileira	<i>B.subtilis</i>	Nematicida	2
Total Biotecnologia	BTP 177-21	2024	Brasileira	<i>B.firmus</i>	Nematicida	1
Total Biotecnologia	BTP 500-21	2024	Brasileira	<i>B.subtilis</i>	Nematicida	1
Bionat Soluções	Peregrino	2024	Brasileira	<i>B.subtilis e B.velezensis</i>	Nematicida	3
Improcrop do Brasil	RELI3VER	2024	Brasileira	<i>B.subtilis</i>	Nematicida	1
Andermatt	T-Protec	2024	Estrangeira	<i>Trichoderma asperellum</i>	Nematicida	1
Ballagro	Voluto	2024	Brasileira	<i>Purpureocillium lilacinum e Pochonia chlamydosporia</i>	Nematicida	1
Superbac Biotecnology	Supershield	2024	Estrangeira	<i>B.subtilis B.velezensis B.amyloliquefaciens e B.licheniformis</i>	Nematicida	5

**Fonte:** Elaborado pela autora, AGROFIT, 2024

Segundo a análise dos registros apresentados na Figura 1., que destaca a participação das empresas estrangeiras e brasileiras no desenvolvimento de bionematicidas, observa-se que entre 2016 e 2020 houve um número expressivo de registros por empresas estrangeiras. Em 2017, todos os registros foram realizados exclusivamente por estrangeiras. No entanto, a partir de 2019, as empresas brasileiras começaram a registrar mais produtos, e esse crescimento foi contínuo até 2024, marcando uma maior presença dessas empresas no mercado. O ano de 2022 destacou-se como o período com o maior número de registros, principalmente devido à forte atuação das empresas brasileiras.

Figura 1. Número de Registros Anuais de Nematicidas Microbiológicos no período de 2007 a 2024



Fonte: Elaborada pela autora, com auxílio do Agrofitt e Flourish (2024).

## 4.2. Caracterização dos Diferenciais Tecnológicos dos Nematicidas Microbiológicos no Mercado

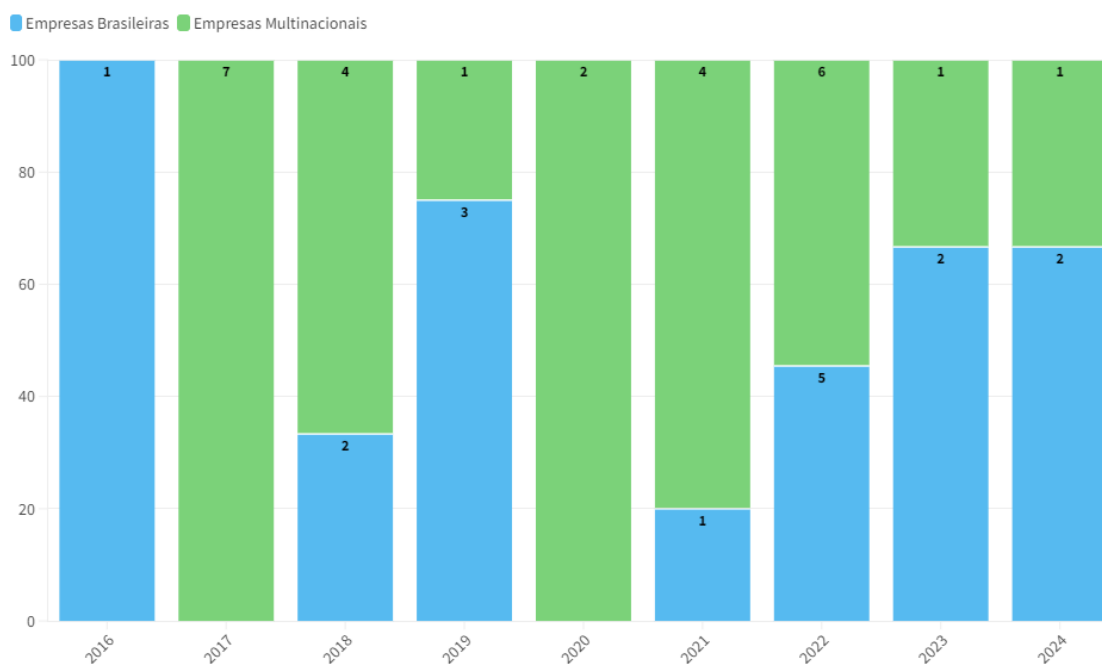
### 4.2.1 Registro de Nematicidas Microbiológicos de (2016-2024) das Empresas Entrevistadas

Ao longo do período de 2016 a 2024, foram registrados 38 nematicidas microbiológicos das 12 empresas entrevistadas. É importante ressaltar que, apesar da pesquisa analisar os períodos de 2007 a 2024, as empresas entrevistadas, possuíam somente registros a partir de 2016. Os dados dos registros dos produtos foram retirados do sistema AGROFIT, conforme os objetivos específicos da pesquisa. Dessas empresas

entrevistas, seis são estrangeiras e seis empresas brasileiras, indicando uma participação equitativa.

Conforme a Figura 2., a distribuição dos registros dos nematicidas microbiológicos comerciais é detalhada da seguinte forma:

Figura 2. Número de Nematicidas Microbiológicos Registrados de 2016 – 2024



**Fonte:** elaborado pela autora, com a utilização do Excel e Flourish, 2024

A análise cronológica desses nove anos desde o primeiro registro de bionematicida, demonstra uma evolução dinâmica ao longo desse período, com variações anuais significativas na participação das empresas brasileiras e estrangeiras. A trajetória dos registros indica um aumento gradual na introdução de produtos brasileiros até 2019, seguido por um período de predominância de empresas estrangeiras e, em 2022, destaca-se como o ano de maior número de registros por empresas brasileiras. Foram registrados 16 produtos brasileiros e 22 por empresas estrangeiras ao longo do período analisado.

No mercado de nematicidas microbiológicos, é comum a relação B2B (business-to-business) entre empresas, envolvendo o desenvolvimento conjunto de produtos, conforme identificado nas entrevistas. Conforme a Tabela 2. (disponível no apêndice E), nota-se que todas as seis empresas estrangeiras têm uma participação B2B em alguma



etapa de desenvolvimento do produto. Apenas duas empresas brasileiras estabelecem parcerias relação B2B.

#### 4.2.2 Correlação entre Anos de Registro e Ingredientes Ativos (2016-2024) das Empresas Entrevistadas

A relação dos ingredientes ativos e os anos dos produtos registrados é evidenciada na Tabela 2., demonstrando que alguns organismos são frequentemente utilizados na fabricação dos nematicidas microbiológicos.

Tabela 2. Relação dos Nematicidas Microbiológicos com: Empresas, Caracterização, Ano, Operação B2B e Ingrediente Ativo.

<b>Empresa</b>	<b>Produto</b>	<b>Ano</b>	<b>Caracterização</b>	<b>B2B</b>	<b>Ingrediente Ativo</b>
Empresa B	P3	2019	Brasileira	Não	<i>Purpureocillium lilacinum</i>
Empresa B	P22	2018	Brasileira	Não	<i>Purpureocillium lilacinum</i>
Empresa C	P4	2023	Brasileira	Não	<i>Bacillus amyloliquefaciens</i>
Empresa D	P5	2022	Brasileira	Sim	<i>Bacillus velezensis</i>
Empresa D	P6	2022	Brasileira	Sim	<i>Bacillus velezensis</i>
Empresa D	P19	2022	Brasileira	Sim	<i>Bacillus amyloliquefaciens</i>
Empresa D	P24	2022	Brasileira	Sim	<i>Bacillus amyloliquefaciens</i>
Empresa E	P7	2019	Brasileira	Não	<i>Purpureocillium lilacinum</i>
Empresa E	P8	2023	Brasileira	Não	<i>Purpureocillium lilacinum</i>
Empresa E	P8	2023	Brasileira	Não	<i>Pochonia chlamydosporia</i>
Empresa E	P15	2018	Brasileira	Não	<i>Purpureocillium lilacinum</i>
Empresa E	P23	2022	Brasileira	Não	<i>Purpureocillium lilacinum</i>
Empresa E	P25	2024	Brasileira	Não	<i>Purpureocillium lilacinum</i>
Empresa E	P25	2024	Brasileira	Não	<i>Pochonia chlamydosporia</i>
Empresa H	P16	2021	Brasileira	Sim	<i>Bacillus amyloliquefaciens</i>
Empresa H	P20	2016	Brasileira	Não	<i>Bacillus amyloliquefaciens</i>
Empresa H	P21	2019	Brasileira	Não	<i>Bacillus amyloliquefaciens</i>
Empresa J	P29	2024	Brasileira	Não	<i>Bacillus subtilis</i>
Empresa J	P29	2024	Brasileira	Não	<i>Bacillus velezensis</i>
Empresa A	P1	2017	Estrangeira	Sim	<i>Bacillus firmus</i>

**Fonte:** elaborado pela autora, com a utilização do Excel, 2024 (Continua na próxima página).

Tabela 2. Relação dos Nematicidas Microbiológicos com: Empresas, Caracterização, Ano, Operação B2B e Ingrediente Ativo.

<b>Empresa</b>	<b>Produto</b>	<b>Ano</b>	<b>Caracterização</b>	<b>B2B</b>	<b>Ingrediente Ativo</b>
Empresa A	P28	2019	Estrangeira	Sim	<i>Bacillus firmus</i>
Empresa A	P39	2017	Estrangeira	Sim	<i>Bacillus firmus</i>
Empresa F	P9	2020	Estrangeira	Sim	<i>Bacillus amyloliquefaciens</i>
Empresa F	P11	2020	Estrangeira	Sim	<i>Bacillus amyloliquefaciens</i>
Empresa F	P14	2018	Estrangeira	Sim	<i>Trichoderma harzianum</i>
Empresa F	P17	2022	Estrangeira	Sim	<i>Trichoderma harzianum</i>
Empresa F	P18	2022	Estrangeira	Sim	<i>Trichoderma harzianum</i>
Empresa F	P35	2018	Estrangeira	Sim	<i>Trichoderma harzianum</i>
Empresa F	P36	2018	Estrangeira	Sim	<i>Trichoderma harzianum</i>
Empresa F	P37	2021	Estrangeira	Sim	<i>Trichoderma harzianum</i>
Empresa F	P38	2021	Estrangeira	Sim	<i>Bacillus amyloliquefaciens</i>
Empresa G	P10	2021	Estrangeira	Sim	<i>Bacillus velezensis</i>
Empresa G	P2	2021	Estrangeira	Sim	<i>Bacillus velezensis</i>
Empresa G	P12	2017	Estrangeira	Sim	<i>Pasteuria nishizawae</i>
Empresa G	P13	2018	Estrangeira	Sim	<i>Pasteuria nishizawae</i>
Empresa I	P27	2022	Estrangeira	Não	<i>Bacillus velezensis</i>
Empresa I	P34	2024	Estrangeira	Não	<i>Trichoderma asperellum</i>
Empresa K	P30	2017	Estrangeira	Sim	<i>Bacillus licheniformis</i>
Empresa K	P30	2017	Estrangeira	Sim	<i>Bacillus subtilis</i>
Empresa K	P31	2023	Estrangeira	Sim	<i>Bacillus licheniformis</i>
Empresa K	P31	2023	Estrangeira	Sim	<i>Bacillus subtilis</i>
Empresa K	P33	2017	Estrangeira	Sim	<i>Bacillus subtilis</i>
Empresa K	P33	2017	Estrangeira	Sim	<i>Bacillus licheniformis</i>
Empresa L	P32	2022	Estrangeira	Sim	<i>Bacillus amyloliquefaciens</i>
Empresa L	P32	2022	Estrangeira	Sim	<i>Bacillus thuringiensis</i>
Empresa L	P32	2022	Estrangeira	Sim	<i>Bacillus velezensis</i>

Fonte: elaborado pela autora, com a utilização do Excel, 2024

Para maior clareza, abaixo destaca-se a relação dos organismos com o período de anos.

- **2016:** Apenas um produto registrado com *Bacillus amyloliquefaciens*.
- **2017:** Maior diversidade de ingredientes ativos utilizado, incluindo *Bacillus firmus*, *Bacillus licheniformis*, *Bacillus subtilis* e *Pasteuria nishizawae*. Além disso, o primeiro produto registrado com a presença de dois ingredientes ativos.
- **2018:** Predomínio de *Trichoderma harzianum* com quatro registros, além de *Purpureocillium lilacinum*.
- **2019:** Repetição de *Bacillus firmus* e *Purpureocillium lilacinum*.

- **2020:** Presença apenas do organismo *Bacillus amyloliquefaciens* com dois registros.
- **2022:** Ano com maior diversidade de ingredientes ativos e quantidade de registros de produtos, incluindo *Bacillus amyloliquefaciens*, *Bacillus thurigiensis*, *Bacillus velezensis*, *Purpureocillium lilacinum* e *Trichoderma harzianum*. O primeiro produto registrado com três ingredientes ativos por produto.
- **2023:** Novos registros de *Bacillus amyloliquefaciens*, *Bacillus licheniformis*, *Bacillus subtilis*, *Purpureocillium lilacinum* e *Pochonia chlamydosporia*. Dois produtos registrados com dois ingredientes ativos por produto.
- **2024:** Presença de *Bacillus subtilis*, *Bacillus velezensis*, *Purpureocillium lilacinum*, *Pochonia chlamydosporia* e *Trichoderma asperellum*. Um produto registrado com dois ingredientes ativo

As bactérias do gênero *Bacillus*, especialmente *Bacillus amyloliquefaciens* e *Bacillus Velezensis*, são as mais utilizadas, refletindo sua eficácia, estabilidade e aceitação desses organismos no mercado. Observa-se que *Bacillus subtilis* e *Bacillus licheniformes*, são frequentemente utilizadas juntas em um mesmo produto, demonstrando uma combinação eficaz. *Purpureocillium lilacinum*, por sua vez, é comum entre empresas brasileiras, com sete registros ao longo dos anos analisados, utilizado principalmente para controle do nematoide das galhas (*M. incógnita*) (Agrofit, 2024).

*Trichoderma harzianum* é frequentemente utilizado por empresas estrangeiras microrganismo é utilizado no controle de nematoide e fungos, incluindo a Rizoctoniose (*Rhizoctonia solani*), o Mofo Branco (*Sclerotinia sclerotiorum*), Fusariose (*Fusarium solani*) e Nematoide das lesões (*Pratyenchus brachyurus*) (Agrofit, 2024).

O ano de 2017 marca o início dos registros com dois ingredientes ativos por produto, como *Bacillus subtilis* e *Bacillus licheniformis*, representados no produto P33, registrado pela empresa K, uma empresa estrangeira. Em 2018, *Trichoderma harzianum*, se destaca com quatro registros, mantendo sua presença nos anos subsequentes (Agrofit, 2024).

O ano de 2022 teve o maior número de registros e diversidade de organismos, destacando-se o primeiro produto registrado com três ingredientes ativos. Um exemplo é o produto P32, da empresa estrangeira L, que utilizou *Bacillus amyloliquefaciens*, *Bacillus thuringiensis* e *Bacillus velezensis*.

Em 2023, destaca-se novamente a combinação sinérgica dos organismos de *Bacillus licheniformis* e *Bacillus subtilis* no produto P31, registrado pela empresa K, uma empresa estrangeira, semelhante ao padrão observado em 2017, evidenciando mais uma vez a eficácia dessa combinação.

O produto P8, registrado em 2023 pela empresa E, uma empresa brasileira, apresentou uma combinação inédita ao utilizar *Purpureocillium lilacinum* e *Pochonia chlamydosporia*. Esse produto foi lançado com a finalidade de pesquisa, tema que será abordado na próxima seção da pesquisa, e posteriormente se tornou comercial em 2024 com o produto P25.

#### **4.2.3 Relação entre Produtos Comerciais e de Pesquisa em Nematicidas Microbiológicos (2016-2024) das Empresas Entrevistadas**

Ao longo das entrevistas percebeu-se que os produtos apresentam duas finalidades de registros: comerciais e de pesquisa. Isso significa que, nem todos os produtos registrados estão no portfólio comercial de vendas, conforme apontado na primeira parte da pesquisa. No entanto, nem todas as empresas identificadas e analisadas no objetivo específico 1 foram entrevistadas. Nota-se que é uma prática comum registrar produtos que, eventualmente não se tornam comerciais. Como mencionado pelo entrevistado E3:

Então com relação aos produtos P1 e P28 eles foram registrados com a finalidade de pesquisa. Não se tornando comerciais, o que essa prática é muito comum no ramo dos biológicos (E3,2024).

Os produtos classificados como comerciais referem-se aos nematicidas microbiológicos disponíveis no portfólio de vendas, enquanto, os produtos denominados como pesquisa são bionematicidas registrados, mas que ainda não estão no portfólio de vendas.

- **Empresa B (Brasileira):** 2 produtos registrados para uso comercial.
- **Empresa C (Brasileira):** 1 produto registrado para uso comercial.

- **Empresa D (Brasileira):** 4 produtos registrados, sendo 1 para pesquisa e 3 para uso comercial.
- **Empresa E (Brasileira):** 6 produtos registrados, sendo 3 destinados à pesquisa e 3 para uso comercial.
- **Empresa H (Brasileira):** 3 produtos registrados exclusivamente para uso comercial.
- **Empresa J (Brasileira):** 1 produto exclusivamente registrado para uso comercial.
- **Empresa A (Estrangeira):** 3 produtos registrados, sendo 2 destinados à pesquisa.
- **Empresa F (Estrangeira):** 9 produtos registrados, dos quais 5 são para uso comercial e 4 para pesquisa.
- **Empresa G (Estrangeira):** 4 produtos registrados, sendo 2 para uso comercial e 1 para pesquisa.
- **Empresa I (Estrangeira):** 2 produtos registrados apenas para uso comercial.
- **Empresa K (Estrangeira):** 3 produtos registrados, dos quais 2 são destinados ao uso comercial e 1 para pesquisa.
- **Empresa L (Estrangeira):** 1 produto registrado exclusivamente para uso comercial.

A partir da análise desses dados, observa-se que as empresas brasileiras possuem doze produtos comerciais e quatro produtos registrados para pesquisa. Enquanto as empresas estrangeiras têm quatorze produtos comerciais e nove produtos registrados para pesquisa.

Por outro lado, as empresas brasileiras, como empresas E e H, apresentam uma presença equilibrada entre produtos de pesquisa e comercial. A maioria das empresas estrangeiras analisadas atuam no mercado há muitos anos, principalmente no setor de produção de insumos químicos, agora estão diversificando os portfólios para incluir produtos biológicos.

A dinâmica competitiva revela que as estrangeiras investem mais em pesquisa, enquanto as nacionais focam na comercialização dos produtos já estabelecidos

exemplificado pela fala do entrevistado E4, (2024), representando a empresa C, que afirma:

Muitas empresas registram os produtos e colocam o mesmo ingrediente ativo antes de ser lançado comercialmente e muitas vezes nem se tornam comerciais. Quando se tornam comerciais, às vezes mudam o nome, o tipo de formulação, o ingrediente ativo ou a concentração, mas, em grande maioria das vezes, as características permanecem as mesmas (E4,2024).

Um exemplo é o caso da empresa F, uma empresa estrangeira, onde os produtos P17 e P18 foram registrados no mesmo ano, em 2022. No entanto, todas as características tecnológicas são iguais, exceto pelo tipo de formulação: o produto P17 possui formulação seca, enquanto P18 formulação é líquido. Outros produtos da empresa foram registrados em 2021 e possuem formulação seca.

#### **4.2.4 Identificação e Distribuição dos Diferenciais Tecnológicos e Características dos Nematicidas Microbiológicos nas Empresas Entrevistadas (2016-2024)**

Os diferenciais tecnológicos utilizados na fabricação dos bionematicidas influenciam diretamente as características e o desempenho dos produtos no mercado. Durante as entrevistas com colaboradores, apesar de certa relutância em compartilhar informações detalhadas, foi possível identificar os principais elementos considerados como diferenciais tecnológicos, que tornavam os produtos mais competitivos.

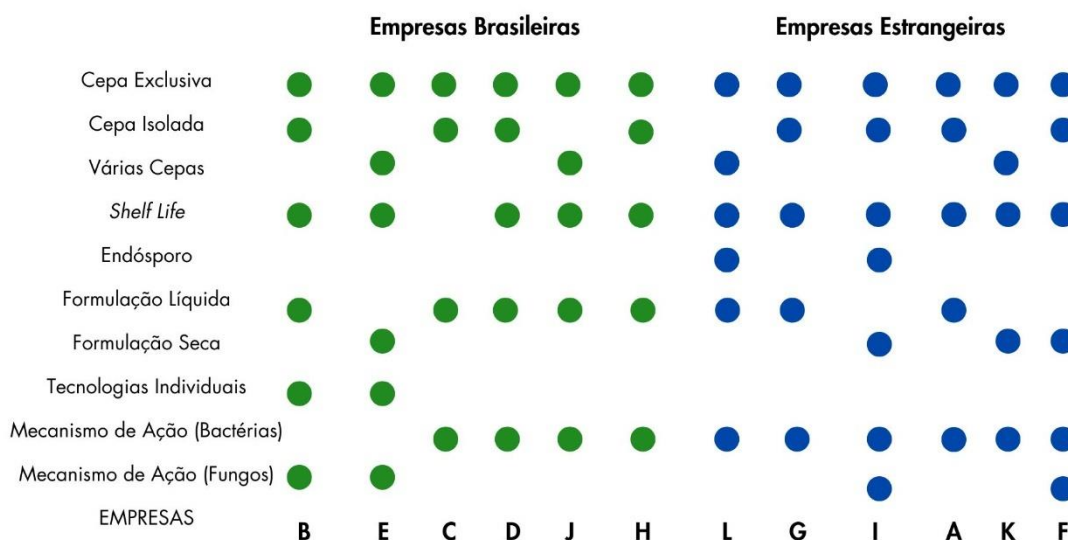
Entre os 12 colaboradores entrevistados, representando empresas brasileiras e estrangeiras, foram analisados 38 produtos registrados entre 2016 e 2024, sendo 16 de empresas brasileiras e 22 de estrangeiras (Agrofit, 2024). No portfólio comercial, as empresas brasileiras possuíam 10 produtos, enquanto as estrangeiras tinham 17. Além disso, foi observado que as empresas brasileiras contavam com 6 produtos em fase de pesquisa, e as estrangeiras com 5.

A análise dos diferenciais tecnológicos apontou para 10 aspectos principais: cepas exclusivas, cepas isoladas, múltiplas cepas, mecanismo de ação de fungos e bactérias, formulações líquidas e secas (WG e WP), endósporos, *shelf life* e tecnologias exclusivas. Esses parâmetros foram destacados pelos colaboradores como os fatores que faziam os produtos se sobressaírem no mercado. A estatística descritiva foi utilizada para contabilizar a moda das variáveis, ou seja, a frequência dos diferenciais mencionados pelos entrevistados.

Importante destacar que os fatores de concentração e dose não foram incluídos na análise, uma vez que os colaboradores os mencionaram de maneira subjetiva, referindo-se a eles como "maior" ou "menor", sem dados concretos que permitissem uma comparação direta.

A Figura 3. apresenta os principais resultados do levantamento. A análise é realizada na horizontal, detalhando os diferenciais tecnológicos dos bionematicidas comerciais registrados no Brasil, enquanto a vertical exhibe as empresas e produtos que se destacam em termos de inovações, verificando o papel das empresas brasileiras e estrangeiras nesse contexto.

Figura 3. Número de Diferenciais Tecnológicos por Empresa



Fonte: elaborado pela autora, com a utilização das Entrevistas, Excel e Canva, 2024

#### 4.2.4.1 Diferenciais Tecnológicos (horizontal)

- Cepas Exclusivas: As cepas exclusivas são linhagens de microrganismos com características únicas, que podem ser genéticas, metabólicas ou fisiológicas (Wipper, 2001; Cook; Baker, 1983).

De acordo com a Figura 3., todos os colaboradores consideram a cepa exclusiva como um diferencial tecnológico fundamental na produção de nematicidas, tanto para as empresas brasileiras quanto para as estrangeiras.

- **Cepas Isoladas:** As cepas isoladas referem-se a microrganismos identificados, selecionados e separados a partir de uma amostra ambiental ou clínica, sendo posteriormente cultivados e analisados em condições controladas. O objetivo do isolamento é o estudo específico de suas características biológicas, sendo essas cepas utilizadas como ingrediente ativo, ou seja, com apenas um organismo na composição do produto (Raaijmakers *et al.*, 2009).

Conforme os dados apresentados na Figura 3., tanto as empresas brasileiras quanto as estrangeiras compartilham esse diferencial em comum, com o mesmo número de empresas entrevistadas empregando exclusivamente um organismo na composição de seus bionemáticos.

- **Shelf Life:** O *shelf life* (tempo de prateleira) dos produtos biológicos é um aspecto crucial a ser considerado, uma vez que, por serem baseados em organismos vivos, esses produtos frequentemente demandam condições específicas de armazenamento. Essas condições incluem baixa temperatura e embalagens que protejam contra a radiação solar, fatores que podem limitar a adesão dos produtores (Sharma *et al.*, 2020; Nawaz *et al.*, 2016).

De acordo com a Figura 3., tanto as empresas brasileiras quanto as estrangeiras apresentaram esse diferencial. Apenas uma empresa brasileira não mencionou o *shelf life* como um diferencial, sendo este considerado pouco relevante e basicamente presente em todas as empresas analisadas.

- **Endósporo:** Conforme os resultados observados, o uso de endósporos, especificamente no caso de bactérias do gênero *Bacillus spp.*, mostrou-se um diferencial relevante, destacada exclusivamente por empresas estrangeiras. Segundo Antil *et al.* (2023), essas bactérias, além de apresentarem rápida replicação, possuem a capacidade de formar endósporos, o que lhes confere uma tolerância elevada a ambientes severos. Essa característica foi abordada por várias empresas estrangeiras, conforme apontado na Figura 3.

A utilização de endósporos no desenvolvimento de bionemáticos tem como principal vantagem a manutenção das características biológicas do produto durante o transporte logístico e o armazenamento, conforme destacado pelo entrevistado E6 (2024):



Então o produto na forma de endósporo, quando a bactéria tiver contato com a biota do solo, será ativado. E quando associado a algum químico, não perderá suas características. É como se a bactéria ficasse dormente até o contato com a biota do solo (E6, 2024).

- **Formulações Líquidas:** As formulações líquidas são amplamente utilizadas devido à facilidade de aplicação e à rápida ação. Alguns exemplos incluem:
  - **Concentrados de Suspensão (SC):** Compreendem suspensões de microrganismos em meio aquoso, prontas para aplicação após diluição mínima (Mishra *et al.*, 2020; Keswani *et al.*, 2019).
  - **Suspensão Aquosa (AS):** São soluções onde o microrganismo já está diluído em um meio líquido, facilitando a aplicação e a dispersão homogênea nos campos (Mishra *et al.*, 2020; Keswani *et al.*, 2019).

De acordo com a Figura 3., as empresas brasileiras apresentaram um maior número de produtos com formulação líquida. Cinco empresas brasileiras possuem esse diferencial, em comparação com as estrangeiras, onde apenas três empresas apresentaram produtos com essa formulação.

- **Formulações Secas:** As formulações secas desempenham um papel crucial na preservação e eficiência dos bionematicidas. Entre as principais formulações destacam-se:
  - **Grânulos Dispersíveis em Água (WG):** Essa formulação permite que os grânulos sejam diluídos em água antes da aplicação, o que é fundamental para a praticidade no campo, pois garante uma distribuição homogênea do produto após a dissolução (Mishra *et al.*, 2020; Keswani *et al.*, 2019).
  - **Pó Molhável (WP):** De maneira similar aos grânulos, o pó molhável necessita ser diluído em água antes da aplicação. O WP é composto por partículas secas de microrganismos que, ao entrarem em contato com a água, são ativadas para combater os nematoides (Mishra *et al.*, 2020; Keswani *et al.*, 2019).

Conforme a Figura 3. apresenta a distribuição dessas formulações entre as empresas entrevistadas. Observa-se que três empresas estrangeiras apresentaram esses diferenciais tecnológicos, registrando produtos em formulação seca (WG

ou WP). Apenas uma empresa brasileira apresentou produtos nessa categoria, conforme identificado nas entrevistas realizadas.

- **Tecnologias Exclusivas:** Durante as entrevistas, observou-se que duas empresas brasileiras apresentaram tecnologias individuais que diferenciam seus produtos dos demais. Embora não haja uma definição na literatura sobre "tecnologias individuais", essas inovações foram destacadas como desenvolvimentos patenteados e únicos.

Conforme a Figura 3., a primeira tecnologia, denominada Bioshock, foi recentemente implementada pela empresa C e é baseada no fungo *Purpureocillium lilacinum*. Produtos à base desse fungo geralmente requerem climatização devido à presença de esporos. No entanto, a tecnologia Bioshock elimina essa necessidade, apresentando uma formulação líquida. Embora o colaborador não tenha detalhado o funcionamento específico, ressaltou que a principal inovação é a eliminação da necessidade de climatização.

A segunda tecnologia, chamada Statera, foi implementada pela empresa E e se baseia nos fungos *Purpureocillium lilacinum* e *Pochonia chlamydosporia*. A formulação deste produto é seca (em pó - WG e WP), mas a tecnologia permite sua aplicação via pivô central, facilitando a operação do produtor. Além de proteger as linhas e a área total do plantio, a tecnologia Statera possibilita a adição de outros produtos, como inoculantes para o tratamento de sementes.

- **Mecanismo de Ação – Bactérias e Fungos:** O mecanismo de ação abrange as estratégias empregadas por microrganismos, como fungos e bactérias, no controle de patógenos, incluindo nematoides. Essas estratégias incluem repulsão, parasitismo, predação, produção de compostos tóxicos ou enzimas (antibiose), além da ativação das defesas das plantas (indução de resistência), resultando em compostos bioativos direcionados ao controle de nematoides (Schouten, 2016; De Cal Larena *et al.*, 2012).
- **Mecanismo de ação de Bactérias-** Entre os organismos utilizados como ingredientes ativos, destacam-se as bactérias do gênero *Bacillus*, como *B. amyloliquefaciens*, *B. velezensis* e *B. subtilis*, tanto nas empresas brasileiras quanto nas es-

trangeiras. Conforme a Figura 3., seis empresas estrangeiras apresentaram esse diferencial, enquanto quatro empresas brasileiras destacaram-se pelo mecanismo de ação das bactérias. Este mecanismo inclui a formação de biofilmes e a proteção das raízes, características inerentes às bactérias do gênero *Bacillus spp.* (Askary; Martinelli, 2015).

Os biofilmes são comunidades de microrganismos aderidos a superfícies, envolvidos por uma matriz extracelular autoproduzida, desempenhando um papel fundamental na proteção das raízes contra estresses abióticos, como seca e salinidade. Além disso, os biofilmes produzem compostos antifúngicos, fitohormônios e enzimas hidrolíticas que auxiliam no crescimento radicular e na adaptação das plantas (Salazar *et al.*, 2023; Saxena *et al.*, 2020; Vlamakis *et al.*, 2013).

Produtos contendo bactérias do gênero *Bacillus spp.* foram identificados como um diferencial tanto por empresas brasileiras quanto estrangeiras. Embora a formação de biofilmes e a proteção das raízes sejam características comuns às bactérias, esses aspectos se destacam como diferenciais dos produtos. Outras espécies, como *B. methylophicus*, *B. licheniformis* e *B. firmus*, foram menos recorrentes.

- Mecanismo de Ação de Fungos - O mecanismo de ação dos fungos envolve antibiose, produção de enzimas e outros processos que resultam no parasitismo de nematoides (Askary; Martinelli, 2015). No contexto da pesquisa, foram identificadas duas empresas brasileiras que apresentaram esse diferencial, além de duas estrangeiras. O fungo *Purpureocillium lilacinum* foi utilizado exclusivamente por empresas brasileiras, enquanto *Trichoderma harzianum*, com ação nematocida e fungicida, foi adotado por empresas estrangeiras.

Conforme observado na Figura 3., duas empresas estrangeiras também demonstraram esse diferencial. Notou-se que essas empresas apresentaram tanto o mecanismo de ação de fungos quanto de bactérias, sendo que em duas delas estavam disponíveis produtos que incorporavam mecanismos de ação para ambos os grupos de microrganismos.

#### 4.2.4.2 Rancking de Empresas e Produtos (Comparativo Vertical)

De acordo com a Figura 3, a análise comparativa dos produtos e empresas revela que o número de diferenciais por produto variou entre 4 e 7, tanto em empresas brasileiras quanto em estrangeiras. Entre as brasileiras, conforme destacado na Figura 2, as empresas B, E, D e H, que atuam há mais de dez anos no segmento de biológicos e produzem exclusivamente esse tipo de produto, apresentaram 6 diferenciais.

No caso das empresas estrangeiras, algumas também atuam no setor de insumos químicos. As empresas L, F e I se destacaram, apresentando entre 6 e 7 diferenciais. A empresa L, que iniciou no segmento de insumos químicos, ingressou recentemente no mercado de biológicos.

Já a empresa I, consolidada e reconhecida mundialmente, produz exclusivamente biológicos e alcançou 7 diferenciais, com destaque para o mecanismo de ação de bactérias em um produto e o mecanismo de ação de fungos em outro. A empresa F, que está no segmento de biológicos há muitos anos, também apresentou 6 diferenciais, com destaque semelhante ao da empresa I, exibindo mecanismos de ação tanto para bactérias quanto para fungos em diferentes produtos.

#### 4.3.4.3 Performance de Empresas Brasileiras e Estrangeiras (Comparativo Lateral)

Entre os diferenciais tecnológicos comuns identificados, estavam cepas exclusivas, cepas isoladas, várias cepas e mecanismos de ação de bactérias (incluindo biofilme e proteção de raízes) e fungos, considerados relevantes por todos os entrevistados. O biofilme e a proteção de raízes foram associados ao mecanismo de ação do ingrediente ativo da bactéria do gênero *Bacillus spp.* No caso de produtos com ingredientes ativos à base de fungos, o mecanismo de ação foi vinculado ao parasitismo e à antibiose, características desses organismos.

Entre as empresas brasileiras, os diferenciais mais notáveis incluíram as tecnologias individuais Bioshock e Statera, ambas desenvolvidas por empresas nacionais e destacadas por dois entrevistados, além de formulações líquidas. Esses produtos, baseados nas tecnologias mencionadas, utilizam os fungos *Purpureocillium lilacinum* e *Pochonia chlamydosporia*.

No caso das estrangeiras, destacaram-se cepas isoladas, formulações secas (WG e WP), múltiplos ingredientes ativos no produto (várias cepas), *shelf life* e endósporos. As diferenças entre os grupos foram mínimas, com ambos destacando características similares. O *shelf life*, por exemplo, foi um diferencial destacado por quase todas as empresas, com exceção de apenas uma empresa brasileira que não considerou essa característica como relevante.

### **4.3 Identificação dos Principais Desafios e Avanços no Desenvolvimento dos Nematicidas Microbiológicos**

#### **4.3.1 Análise de Conteúdo**

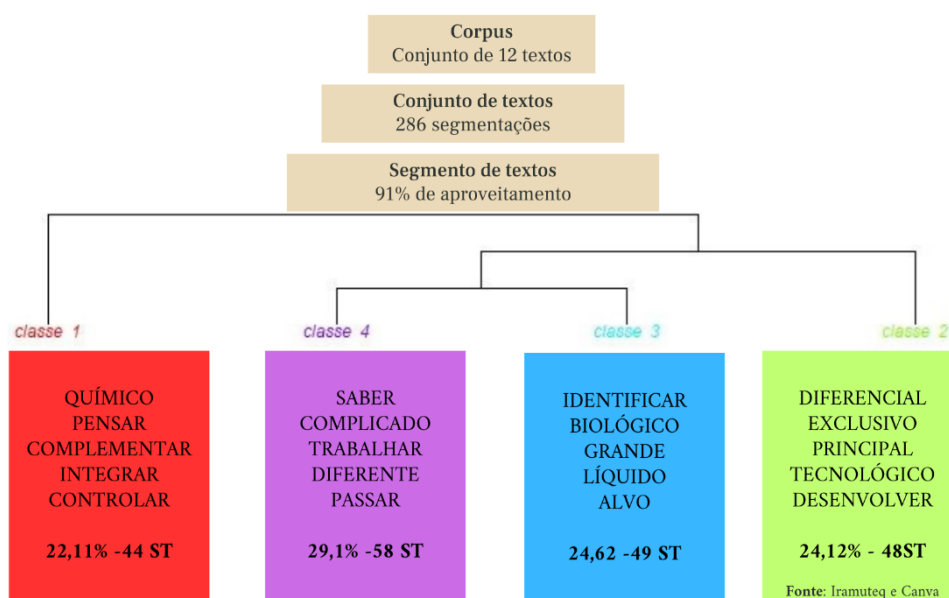
Segundo as análises realizadas pelo Iramuteq, foram observadas as descrições de cada categoria apresentadas resumidamente na figura 3. Essas descrições foram geradas em um tempo de 20 segundos, e o corpus utilizado na CHD foi classificado em 286 Segmentos de Textos (ST). O conjunto geral de textos foi constituído por 12 textos, com aproveitamento de 916 STs (91%). Apresentando cerca de 10.164 ocorrências (palavras, formas ou vocábulos), das quais 1.754 tiveram uma única ocorrência e foram incluídas na análise proposta.

A Classe 1, representada na cor vermelha apresentou 22,11% - 44 ST do corpus total analisado e foi a menor classe do corpus textual geral analisado, embora essa classe foi a originária para as classes 2, 3 e 4. Enquanto a Classe 2, identificada pela cor verde possui 24,12% - 48 ST, e está em um nível intermediário, o seu percentual se difere muito pouco com a Classe 3, apesar de ela ter se ramificado da classe 1 e ter se posicionado no último local das classes, apresentado pela figura 2. Pois, na Classe 3, representado pela cor azul claro, observamos cerca de 24,62% -49 ST e essa classe foi originada pela ramificação da Classe 1 e está interligada com a classe 4. E por fim a Classe 4 representada pela cor roxa, foi a classe que possui maior porcentagem 29,1% - 58 ST que ela ramifica do nó inicial da Classe 1.

Vale ressaltar que para realizar análise de CHD, é necessário ter um percentual de aproveitamento de no mínimo 70% de ST pelo Iramuteq, tendo em vista que se a retenção for menor que esta, o corpus não é representativo para este tipo de análise (Bauer; Gaskell., 2017). A essa análise teve um aproveitamento de 91,1% do corpus textual.

Conforme a Figura 4., podemos observar como as classes foram organizadas, destacando as palavras de maior ocorrência em cada uma, agrupadas conforme a temática abordada (Bauer; Gaskell, 2012). Os valores de  $X^2$  apresentados correspondem ao teste do qui-quadrado, que indica a associação entre as palavras e as classes temáticas. O qui-quadrado ( $\chi^2$ ) é uma fórmula estatística utilizada para verificar a relevância das palavras agrupadas em Unidades de Contexto Elementar (UCEs), com base nas suas similaridades lexicais (Camargo; Justo, 2013), o que permite um agrupamento consistente dos dados analisados.

Figura 4. Resumo da Classificação Hierárquica Descendente (CHD)



Fonte: elaborado pela autora, com auxílio do Canva (2024).

**Classe 1 (22.11% - Vermelho): Integração e complementariedade dos nematocidas microbiológicos no controle de nematoides.**

**Descrição:** Esta classe representa a menor parcela do total, na análise, pois essa classe é a originária das classes 3 e 4, indicando uma importância considerável na análise. As palavras como “químico” ( $X^2 > 39,8$ ); “pensar” ( $X^2 > 28,18$ ); “complementar” ( $X^2 > 25,56$ ); “integrar” ( $X^2 > 18,07$ ); “controlar” ( $X^2 > 14,38$ );

**Foco:** A análise revela que a classe enfatiza a complementariedade dos insumos biológicos no controle de nematoides. Termos como 'químico', 'pensar', 'complementar'

e 'integrar' evidenciam a adoção de estratégias inovadoras, que incluem o uso de nematicidas microbiológicos.

**Classe 2 (24,12% - Verde): Diferenciais tecnológicos e exclusividade dos nematicidas microbiológicos**

**Descrição:** Essa classe representa uma segmentação indicando uma importância relevante sendo composta por palavras como "diferencial" ( $X^2 > 56,49$ ); "exclusivo" ( $X^2 > 29,17\%$ ); "principal" ( $X^2 > 29,65$ ); "tecnológico" ( $X^2 > 29,65\%$ ); "desenvolver" ( $X^2 > 24,97$ ); "lançar" ( $X^2 > 10,14\%$ ).

**Foco:** Esta classe apresenta sobre os diferenciais tecnológicos como está em entender e explorar os diferenciais tecnológicos dos nematicidas microbiológicos, destacando a exclusividade e as principais inovações tecnológicas que os diferenciam no mercado.

**Classe 3 (24,62% - Azul Claro): Aplicações operacionais e biológicas dos nematicidas microbiológicos**

**Descrição:** Esta classe é uma das segmentações da Classe originária 1 em que palavras como: "grande" ( $X^2 > 30,93$ ); "identificar" ( $X^2 > 16,1\%$ ); "biológico" ( $X^2 > 12,5\%$ ); trazer ( $X^2 > 23,09\%$ ); "líquido" ( $X^2 > 15,7\%$ ); dizer ( $X^2 > 23,09\%$ ); "alvo" ( $X^2 > 10,11\%$ ); "achar" ( $X^2 > 20,52\%$ ).

**Foco:** Esta classe foca nas aplicações operacionais e biológicas dos nematicidas microbiológicos, abordando como esses produtos podem ser rapidamente identificados e utilizados em diversos contextos operacionais e biológicos. As palavras principais indicam um foco em aspectos práticos e eficientes do uso desses nematicidas, enfatizando a rapidez de identificação e a adaptação a diferentes alvos biológicos.

**Classe 4 (29,15% - Roxo): Desafios e conhecimentos na implementação de nematicidas microbiológicos**

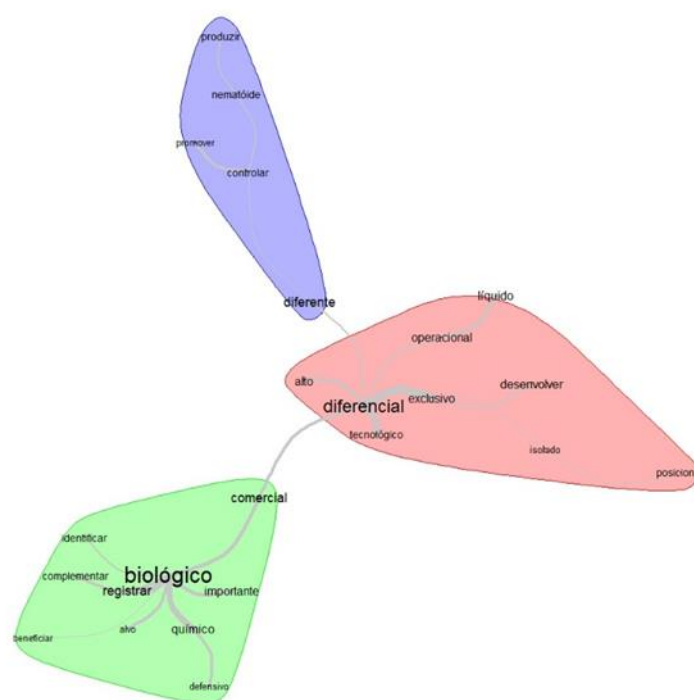
**Descrição:** Essa classe é composta por palavras como saber ( $X^2 > 20,18\%$ ); complicado ( $X^2 > 19,9\%$ ); trabalhar ( $X^2 > 15,64\%$ ); diferente ( $X^2 > 12,47\%$ ); passar ( $X^2 > 10,52$ ); entre outros.

**Foco:** Esta classe parece focar-se nas diferentes atividades, conhecimentos e desafios relacionados ao uso e desenvolvimento de nematicidas microbiológicos. Inclui termos relacionados ao saber, ao trabalho conjunto, às dificuldades e diferenças encontradas no campo.

### 4.3.2 Análise de Similitude

A análise de similitude de palavras tem o objetivo de demonstrar as ligações existentes entre as formas de um corpus textual, possibilitando inferir a construção e estrutura dos temas centrais do corpus textual (Marchand; Ratinaud, 2012).

Figura 5. Análise de Similitude



**Fonte:** elaborado pela autora, com a utilização do Iramuteq, 2024.

A nuvem de similitude de palavras na Figura 5., ilustra as principais temáticas gerais relacionadas ao diferencial tecnológico dos nematicidas microbiológicos e suas implicações nesse desenvolvimento. Os clusters de palavras são identificados por cores específicas e apresenta diferentes aspectos dessa análise (Souza *et al.*, 2018). Nos tópicos a seguir, foram atribuídos títulos a cada cluster explicando o contexto das palavras e indicando a palavra central que dialoga com os demais clusters.



### **Cluster 1 (Azul): Produção e Controle de Nematoides**

O cluster 1 destaca a produção desses nematicidas microbiológicos, bem como, a promoção desse segmento. A palavra “diferente” foi que iniciou a segmentação palavras-chave desse cluster como: “controlar”, “promover”, “nematóide” e “produzir”. O cluster 1 (azul claro) dialoga com o cluster 2 (vermelho) que traz como tema central a palavra “Diferencial” e o cluster 3 (verde) “Biológico” em que demonstra que a produção desses insumos a partir de organismos é um diferencial, bem como, outros aspectos ligados a promoção dessa tecnologia.

### **Cluster 2 (Vermelho): Diferenciais Tecnológicos e Estratégias Operacionais**

O cluster 2 está identificado como central interligando o Cluster 1 (azul) e o Cluster 3 (verde). Este cluster traz a palavra “diferencial” como central para outras palavras-chaves como: “exclusivo”, “tecnológico”, “operacional”, “desenvolver”, “líquido”, “isolado” e “posicionar”. Essas palavras-chaves indicam algumas características que compõem esses produtos, que são diferenciais, que partem de inovação tecnológica palavras como “líquido”, “isolado” e “exclusivo”.

As palavras “desenvolver”, “operacional” e “operacional” indica estratégias de desenvolvimento tanto para posicionar esse produto no mercado como adequar ao operacional do produtor, visto que, é importante que esses produtos mantenham características que facilitem esse operacional. Portanto, a ligação da palavra “líquido” com “operacional” em que a característica do produto líquido é um diferencial e não mudaria operacional do produtor que já está acostumado com o controle químico.

### **Cluster 3 (Verde): Aspectos Comerciais e Regulatórios de Nematicidas Biológicos**

O cluster 3 tem a palavra “comercial” como palavra que segmenta as outras palavras-chaves e a palavra “biológico” sendo central para as outras ramificações de palavras-chaves como: “registrar”, “identificar”, “complementar”, “importante”, “alvo”, “químico” e “defensivo”. Esse cluster relaciona os aspectos comerciais e regulatórios desses bionematicidas. A palavra “biológico” destaca a origem desses produtos. “Registrar” e “identificar” referem-se aos processos burocráticos de registro desses produtos e aprovação pelos órgãos regulatórios. As palavras “importante” e “alvo” indicam a relevância e os objetivos específicos desses produtos no mercado.



**Biológico:** Refere-se aos produtos à base de uma origem biológica, que utilizam organismos vivos ou derivados para o controle de nematoides, em oposição ao método químico convencional.

**Novo:** A palavra “novo” sugere o desenvolvimento produtos ou tecnologias inovadoras que apresentam avanços tecnológicos significativos, bem como o desafio de adaptar essas tecnologias ao mercado.

**Diferencial:** Destaca as características que diferencial os produtos, tanto em relação aos produtos químicos quanto em termos tecnológicos entre diferentes empresas.

**Químico:** Refere-se ao método convencional e à compatibilidade dos produtos biológicos com os químicos utilizados pelos produtores. Os produtos biológicos não têm a intenção de substituir os produtos químicos, mas de serem compatíveis com o manejo já utilizado pelos produtores.

**Comercial:** Destaca o desafio da comercialização e aceitação desses produtos pelos produtores, bem como a disponibilidade desses produtos a nível comercial e a competitividade econômica.

**Tempo e Operacional:** Estas palavras estão associadas ao tempo de prateleira e às tecnologias que facilitam a operação da produção.

## 5. DISCUSSÕES

### 5.1 Inovações e Estratégias Tecnológicas na Fabricação de Nematicidas Microbiológicos

A utilização das cepas específicas de microrganismos, como bactérias e fungos, é uma das bases essenciais fabricação de nematicidas microbiológicos. Esses microrganismos são selecionados com base na sua eficácia no controle de nematoide e na sua capacidade de promover o crescimento saudável das plantas (Saxena *et al.*, 2020; Wipps 2001). De acordo com o levantamento de dados do AGROFIT entre 2007 a 2024 mostram que os ingredientes ativos mais utilizados pelas empresas produtoras se destacam as bactérias do gênero *Bacillus spp.* e os fungos dos gêneros *Purpureocillium spp.* e *Trichoderma spp.*

As cepas isoladas e exclusivas são diferenciais representam diferenciais significativos atribuindo as empresas uma vantagem competitiva em seus produtos. As cepas exclusivas são obtidas através de processos rigorosos, muitas vezes, patenteadas conferindo aos produtos uma inovação tecnológica (Saxena *et al.*, 2020). Entre elas, as cepas exclusivas do gênero *Bacillus spp.*, *Purpureocillium spp.* e *Trichoderma spp.* são amplamente utilizadas para controle de nematoides.

No caso do gênero *Purpureocillium lilacinum*, é reconhecido por sua eficácia no controle de nematoides, devido aos mecanismos que envolvem a produção de enzimas líticas como lipases, amilases e proteases que atuam nas cascas dos ovos dos nematoides e nos componentes estruturais dos estágios juvenis e adultos, resultando em um efeito nematicida (Morton *et al.*, 2004; Gotari *et al.*, 2008; Askari; Martinelli 2015).

Dados do AGROFIT mostram que o *Paecylomyces lilacinus spp.* foi utilizado exclusivamente por empresas brasileiras como ingrediente ativo no desenvolvimento dos nematicidas microbiológicos. Evidenciado nos produtos, como o Voluta (registrado em 2024), Nemat (registrado em 2022) e NemaKill (registrado em 2018), entre outros.

Esse microrganismo é muito utilizado para controle das espécies de nematoides dos gêneros *Meloidogyne spp.*, *Rotylenchulus*, *Heterodera* e *Pratylenchus* (Moreno – Gavira *et al.*, 2020). No entanto, a maioria dos produtos analisados pelo AGROFIT que contém

*Paecilomyces lilacinus* focam basicamente no controle do gênero *Meloidogyne spp.* que é um gênero amplo de nematoides que atacam diversas culturas agrícolas brasileiras.

Outro gênero amplamente utilizado nos produtos comerciais avaliados é *Bacillus spp.*, devido à sua capacidade de produzir compostos bioativos que induzem resistência sistêmica em plantas e promovendo o crescimento radicular. Essas cepas produzem peptídeos antimicrobianos, enzimas líticas e compostos voláteis que inibem o crescimento dos fitonematoides e promovem o crescimento das raízes por meio da formação de biofilmes (Chen, *et al.*, 2013; Elshakh, *et al.*, 2016; Hiharejos, *et al.*, 2016; Saxena *et.al*, 2020).

A análise de dados do AGROFIT e das entrevistas observa-se que as bactérias mais utilizadas na fabricação desses produtos pertencem ao gênero *Bacillus spp.*, com destaque para *B. amyloliquefaciens*, *B. velezensis*, *B.licheniformis* e *B.subtilis*. Embora tenham sido identificadas, em menor predominância, as espécies *B. methylophicus* *B. licheniformis* e *B.firmus*. As espécies de *Bacillus spp.* desempenham um papel importante no controle biológico das plantas, incluindo, controle de nematoides, fungos e insetos (Dunlap *et al.*, 2016; Saxena *et al.*, 2020).

Em síntese, a análise de dados mostra que a utilização de diferentes espécies de *Bacillus spp.* é predominante tanto em empresas brasileiras quanto estrangeiras. As empresas brasileiras tendem a utilizar uma variedade mais ampla de espécies de *Bacillus spp.* Exemplos disso incluem: Profix (registrado em 2019) que contém *B.licheniformis* *B.subtilis* e *Purpureocillium lilacinum* , Biotramo (registrado em 2022) que contém *B. amyloliquefaciens*, *B. thurigiensis* e *B. velezensis*. Em contrapartida, as estrangeiras frequentemente utilizam *B.velezensis*, *B.licheniformis* e *B.amyloliquefaciens* (Agrofit, 2024).

Além das cepas bacterianas, fungos como o *Trichoderma harzianum* amplamente utilizados no controle biológico de nematoides quanto de fungos. Esses microrganismos atuam por meio da secreção de enzimas líticas como quitinases, glucanases e proteases, que destroem as estruturas dos ovos de nematoides e produzem metabólitos tóxicos que inibem o desenvolvimento dos juvenis, além de controlar algumas espécies de fungos, como Rizoctoniose (*Rhizoctonia solani*), o Mofo Branco (*Sclerotinia sclerotiorum*), Fusariose (*Fusarium solani*) e também é eficaz para o

controle do Nematóide das lesões (*Pratylenchus brachyurus*) (Askary; Martinelli, 2015; Martinez *et al.*, 2023).

Este fungo é um dos ingredientes ativos mais comuns observados na pesquisa, sendo amplamente utilizado em empresas estrangeiras, devido seu efeito duplo, nematicida quanto fungicida. Produtos como Triatum WG (registrado em 2018), Daytona (registrado em 2018) e Trichodermil SC 1306 (registrado em 2021) exemplificam essa versatilidade, oferecendo uma proteção contra nematoides e fungos (Askary; Martinelli, 2015; Agrofitec, 2024).

Outro diferencial tecnológico destacado nas entrevistas, associado ao mecanismo de ação das bactérias, foi a formação de biofilmes, especialmente nos produtos à base de *Bacillus spp.* Os biofilmes, uma característica fundamental no mecanismo de ação das bactérias, são comunidades de microrganismos aderidos a superfícies, envoltas por uma matriz extracelular autoproduzida. Eles desempenham um papel crucial na proteção das raízes, tanto de forma direta quanto indireta, ajudando as plantas a enfrentarem estresses abióticos, como seca e salinidade. Além disso, os biofilmes produzem compostos antifúngicos, fitohormônios e enzimas hidrolíticas que promovem o crescimento radicular e favorecem a adaptação das plantas (Salazar *et al.*, 2023; Saxena *et al.*, 2020; Vlamakis *et al.*, 2013).

Produtos contendo bactérias do gênero *Bacillus spp.* foram identificados como um diferencial tanto por empresas brasileiras quanto estrangeiras. Embora a formação de biofilme e proteção as raízes seja uma característica inerente às bactérias, esses aspectos se destacam como diferenciais dos produtos. Por exemplo, o produto P32, que contém *B.amyloliquefaciens*, *B.thuringiensis* e *B.velezensis*, ilustra a dinâmica dessas bactérias. Conforme destacado pelo entrevistado E8 (2024):

Então cada cepa vai ter a sua dinâmica, a *Bacillus amyloliquefaciens* atua na propagação de raízes e na formação de biofilme, enquanto *Bacillus thuringiensis* e *Bacillus velezensis* atuam na biota do solo e no controle de nematoides, promovendo uma biota saudável e o controle dos nematoides (E8,2024).

A formulação, seja líquida ou em seca, é um diferencial importante na composição dos bionematicidas. Se trata de um processo de combinação de estratégias para ter o produto. As formulações líquidas, como concentrados de suspensão (SC), suspensão aquosa (AS), e as formulações secas, como grânulos dispersíveis em água (WG) e pó molhável (WP). Essas formulações são as principais formas de

comercialização desses produtos, cada uma com sua eficácia comprovada. Na formulação seca (WP e WG) o microrganismo é produzido sem água ou desidratado ao final do processo, resultando um propágulo desidratado. O pó molhável e grânulos dispersíveis em água requerem uma pré diluição em água antes da aplicação (Mishra *et al.*, 2020; Keswani *et al.* 2019; Agrofit 2024).

Segundo Mishra *et al.* (2020) a formulação é um desafio, especialmente na eficácia dos microrganismos, com uma preferência crescente por formulações líquidas devido à facilidade de manuseio e aplicação. Tanto empresas brasileiras quanto estrangeiras têm optado por formulações líquidas, motivadas pela facilidade operacional que podem proporcionar ao produtor, evitando mudanças nas rotinas já estabelecidas dos produtores, o que facilita a adesão ao produto como observado pelo entrevistado E12 (2024):

Muitas vezes produtos, formulação em pó, o produtor tem uma certa restrição a trabalhar e tudo mais, então a busca por uma formulação líquida que traz facilidade operacional, mistura de calda, homogeneidade e assim por diante. Pois, as formulações em pó o produtor reclama por entupimento de bico das máquinas e entre outras questões (E12, 2024).

Apesar da preferência por formulações líquidas, as formulações em secas têm mostrado eficácia significativa no tratamento de sementes, protegendo as culturas contra os patógenos do solo, como os nematoides, melhorando as atividades metabólicas de pré germinação (Vidhyasekaran *et al.*, 1997; Tewari; Arora, 2016). No entanto, essas formulações requerem maior prática e treinamento para aplicação eficiente, além de apresentarem problemas como entupimento de bicos nas máquinas (Mishra *et al.*, 2020; Keswani *et al.* 2019).

Conforme Keswani *et al.*, 2019 a embalagem adequada é fundamental para o sucesso comercial dos biopesticidas, especialmente em formulações granulares, que são preferidas por sua facilidade logística quando comparada a formulação líquida e menor susceptibilidade a variações ambientais.

Em síntese, os dados mostram que as estrangeiras utilizam mais formulações secas em comparação com as brasileiras, embora ambas prefiram formulações líquidas por razões operacionais. Das 12 empresas entrevistadas, apenas três empresas estrangeiras têm produtos com formulações secas, enquanto apenas uma empresa brasileira adota essa formulação, evidenciando uma vantagem competitiva das estrangeiras nesse diferencial tecnológico.

Outro diferencial tecnológico relevante, identificado tanto por empresas brasileiras quanto estrangeiras, é o *shelf life* (tempo de prateleira) dos produtos biológicos. Por serem baseados em organismos vivos, esses produtos frequentemente demandam condições específicas de armazenamento, como baixa temperatura e embalagens que protejam contra a radiação solar, fatores que podem limitar a adesão dos produtores (Nawaz *et al.*, 2016).

As empresas brasileiras e estrangeiras têm investido em tecnologias que aumentem a durabilidade dos produtos sem a necessidade de um armazenamento especial garantindo um *shelf life* prolongado. Como evidenciado na fala do entrevistado E9 (2024):

Talvez o produtor adquira um produto nessa safra, ele não vai é usar totalmente aquele volume. E é algo que ele pode ter a confiança. E se não for aberto o galão? E ele realmente permanecer com essas características. Ele pode usar na safra seguinte, então nenhum produto que vai se perder ou as características. O grande diferencial é o quê? Poder fazer esse tratamento e ter a garantia até de noventa dias de armazenado, após aberto, com permanência dessas garantias (E9, 2024).

Esse diferencial foi amplamente mencionado pelos entrevistados, sendo considerado quase unânime entre as empresas. Dos 11 entrevistados, apenas um colaborador de uma empresa brasileira ainda não possuía um *shelf life* prolongado.

Outro ponto relevante observado em relação às tecnologias identificadas que não se assemelhava às outras características apontadas pelos entrevistados. Duas empresas se destacaram nesse aspecto e ambas brasileiras, sendo elas Bioshock, e Statera. As tecnologias produzidas pelas empresas brasileiras, Bioshock e Statera são tecnologias utilizam fungos como base. A tecnologia Bioshock utiliza *Purpureocillium lilacinum.*, um organismo que necessita de um acondicionamento específico, conforme explicado pelo entrevistado E9 (2024) explica:

A tecnologia bioshock, todos os fungos, todos os produtos de mercados em exceção nenhum são a base de esporos, né? E o esporo para ter uma eficiência Agronômica, ele tem que ser condicionado climatizado e tudo mais. Então ele precisa de uma condição ideal que é umidade alta, temperatura marca para ter uma eficiência Agronômica, o os produtos à base de fungo. Essa tecnologia ativa esse fungo, na formulação dele em laboratório. Quais são os benefícios em relação aos produtos à base de esporo? Primeiro produto se torna líquido uma aceitabilidade de mistura muito maior. Ele não precisa ser condicionado climatizado, então onde é não



onerar muito operacional da fazenda e ele ganha um aspecto de controle muito mais rápido, mais ágil, porque o fungo já era uma fase posterior ao esporo (E9, 2024).

No caso da tecnologia Statera, os fungos utilizados são *Purpureocillium lilacinum* e *Pochonia chlamydosporia*. Essa tecnologia foi desenvolvida para melhorar a aplicação do produto, permitindo que ele seja aplicado via pivô central, o que facilita operacional do produtor, conforme exemplificado pelo entrevistado E1 (2024):

O que seria isso? É uma tecnologia patenteada, tá. Que vai permitir que o produto seja adicionado ao pivô central, isso faz com que mais área produtiva seja protegida, linhas e área total. Além, de permitir um tratamento de semente mais fácil para o operacional. Acredito que seguindo essa lógica facilitaria para o tratamento TSI o que é o tratamento de semente industrial. Essa tecnologia permite com que a adição dos produtos inoculantes e outros produtos adicionados ao tratamento das sementes seja mais fácil, por ser via pivô central, assim facilitando o operacional do produtor (E1, 2024).

Em síntese, essas tecnologias, baseadas em fungos, têm como objetivo tanto a manutenção das características biológicas dos produtos quanto a facilitação do trabalho operacional, sejam pela aplicação via pivô central, pela eliminação da necessidade de acondicionamento diferenciado ou pelo tratamento industrial das sementes.

Por fim, outra tecnologia identificada foi a endósporo em que foram identificados só em duas empresas estrangeiras, em que o ingrediente ativo utilizado era *Bacillus spp.* As bactérias do gênero *Bacillus spp.* além da sua rápida replicação possuem a capacidade de formar endósporos, um mecanismo de ação comum pertencente a essas bactérias e com isso podem tolerar ambientes mais severos e tolerantes (Antil *et al.*, 2023).

No caso das empresas que mencionaram esse diferencial, elas utilizaram esse mecanismo de ação da produção de endósporos para manutenção das características biológicas do produto, devido ao transporte logístico e entre outros, sua atuação é exemplificado na fala do entrevistado E6 (2024):

Então o produto na forma de endósporo, quando a bactéria tiver contato a biota do solo o produto será ativado e quando ele for associado com algum

químico, ele não vai perder suas características. É como se a bactéria ficasse dormente até o contato com a biota do solo (E6, 2024).

No processo endósporo, o organismo é colocado no produto de forma adormecida, o que permite que ele mantenha suas características biológicas durante o transporte logístico até o destino do produtor, minimizando as alterações e sendo ativo somente em contato com a biota do solo, não necessitando de climatização durante o percurso.

Em síntese, a análise de dados da pesquisa demonstra que as empresas brasileiras se destacam pela inovação na escolha de ingredientes ativos, como *Purpureocillium lilacinum* e no desenvolvimento de tecnologias exclusivas como Bioshock e Statera, que focam na manutenção das características biológicas dos produtos e na facilitação operacional do produtor.

As empresas estrangeiras, por sua vez, preferem o uso de *Trichoderma harzianum* pela sua versatilidade no controle de fungos e nematoides. Elas investem em formulações secas, além das líquidas e na utilização de mais um ingrediente ativo por produto e cepas isoladas. Também utilizam endósporos para preservar as características biológicas das bactérias durante o transporte, evidenciando um foco em estabilidade e eficiência.

Ambas as empresas compartilham inovações como o uso de cepas exclusivas, mecanismo de ação, biofilmes, e proteção de raízes. Esses diferenciais tecnológicos refletem a competitividade e a convergência tecnológica no desenvolvimento de nematicidas microbiológicos, mostrando que, apesar das diferentes abordagens, ambas buscam resolver problemas semelhantes que atendam às necessidades do mercado.

## **5.2 Dinâmicas de Mercado e Estratégias Tecnológicas no Crescimento dos Bionematicidas no Brasil**

Na análise dos 38 bionematicidas registrados no Brasil entre 2016 e 2024, foram identificadas dez inovações tecnológicas com base nas 12 entrevistas realizadas com colaboradores de seis empresas brasileiras e seis empresas estrangeiras, evidenciando a diversidade de abordagens entre as empresas.

As cepas exclusivas destacaram-se como um ponto comum em ambas as categorias de empresas. Cook e Baker (1983) e Wipper (2001) ressaltam que essas cepas

são linhagens únicas de microrganismos, com características genéticas, metabólicas ou fisiológicas específicas. A adoção dessa inovação como diferencial básico no mercado foi observada em todas as empresas. Além disso, a utilização de cepas isoladas, conforme descrito por Raaijmakers *et al.* (2009), é uma prática comum, reforçando seu valor competitivo no setor.

No que tange ao *shelf life*, um aspecto crucial para a comercialização de bioinsumos, a maioria das empresas reconheceu sua importância. Sharma *et al.* (2020) e Nawaz *et al.* (2016) destacam que a longevidade dos produtos biológicos é um fator decisivo para seu sucesso no mercado. As empresas estrangeiras se sobressaíram nesse quesito. Em contraste, as empresas brasileiras se concentraram mais em formulações líquidas, conforme observado por Mishra *et al.* (2020) e Keswani *et al.* (2019), que defendem a praticidade dessas formulações no campo, especialmente em condições locais de aplicação.

Por outro lado, as empresas estrangeiras se destacaram em formulações secas, como Grânulos Dispersíveis em Água (WG) e Pó Molhável (WP), mencionadas também por Mishra *et al.* (2020), o que demonstra um diferencial em termos de armazenamento e facilidade de aplicação. As inovações tecnológicas exclusivas, como as tecnologias Bioshock e Statera, desenvolvidas por empresas brasileiras, reforçam seu papel inovador no mercado, conforme descrito por Cruz *et al.* (2020) e Silva *et al.* (2019). Essas tecnologias facilitam o uso no campo, sendo a primeira voltada para a eliminação da necessidade de climatização, e a segunda permitindo a aplicação via pivô central, o que demonstra uma adaptação às necessidades operacionais dos produtores.

A predominância de *Bacillus spp.* nas empresas brasileiras e estrangeiras reflete a eficácia desses microrganismos no controle de nematoides, especialmente na formação de biofilmes e proteção de raízes (Salazar *et al.*, 2023; Vlamakis *et al.*, 2013). O uso de endósporos, um mecanismo de resistência típico dessas bactérias, foi destacado apenas por empresas estrangeiras. Antil *et al.* (2023) afirmam que essa característica permite que os produtos resistam a ambientes severos.

As empresas brasileiras têm demonstrado uma capacidade notável de inovação, mantendo-se competitivas com relação as empresas estrangeiras. De acordo com o Agrofit (2024), existem 49 bionematicidas registrados por empresas brasileiras e 36 por

estrangeiras, totalizando 85 produtos registrados entre 2007 e 2024. Esses dados evidenciam uma participação substancial das empresas domésticas nesse mercado.

Além disso, com o controle químico mostrando eficácia limitada no manejo de nematoides, devido à complexidade dos ecossistemas do solo, a busca por estratégias de manejo integrado tem crescido e soluções mais eficazes, conforme destacado por Stirling *et al.* (2018), e Marrone (2019).

A diversificação das estrangeiras líderes na produção de defensivos químicos, como Syngenta, Bayer e Basf, para o segmento de bio defensivos, também é um marco importante. *Pelaez et al.* (2016) destacam que, a partir dos anos 90, essas estrangeiras expandiram suas operações no mercado de biológicos por meio de aquisições e desenvolvimento de novas variedades.

O cenário de produção de biocontroles no Brasil é caracterizado por barreiras de entrada flexíveis, o que estimula a participação de empresas locais. Isso ocorre porque os organismos biológicos utilizados na produção de bio defensivos não são passíveis de patenteamento, e as técnicas de produção são relativamente simples, tornando-se acessíveis para as empresas que desejam entrar nesse segmento. Além disso, o investimento necessário para participar do mercado de controle biológico é relativamente baixo em comparação ao segmento de defensivos químicos (Marrone, 2019; *Pelaez et al.*, 2016; *Chandler et al.*, 2011).

Os investimentos privados no Brasil têm sido direcionados principalmente para as fases finais do processo de inovação. Por outro lado, atividades que requerem maior qualificação tendem a ser realizadas por estrangeiras em suas sedes e laboratórios nos países desenvolvidos (*Silva et al.*, 2019; *Cruz et al.*, 2020).

As empresas brasileiras não diferem significativamente das estrangeiras em termos de inovações tecnológicas, conforme análise de *Silva et al.* (2019) e *Cruz et al.* (2020), que destacam a capacidade inovadora das brasileiras. Ambas as categorias apresentam uma ampla gama de inovações, como cepas exclusivas, cepas isoladas e mecanismos de ação de bactérias e fungos.

Além disso, como apontado por *Sharma et al.* (2020) e *Nawaz et al.*, 2016, a formulação de produtos biológicos é um desafio, especialmente no que tange à eficácia

dos microrganismos. Existe uma preferência crescente por formulações líquidas, devido à facilidade de manuseio e aplicação.

Apesar das vantagens operacionais das formulações líquidas, as secas também são eficazes, especialmente no tratamento de sementes, protegendo culturas contra patógenos do solo (Vidhyasekaran *et al.*, 1997; Tewari; Arora, 2016). No entanto, estas exigem maior prática para uma aplicação eficiente e apresentam problemas técnicos, como o entupimento de bicos (Mishra *et al.*, 2020; Keswani *et al.*, 2019).

O aspecto comercial, conforme destacado por Keswani *et al.* (2019), mostra que a embalagem adequada é crucial para o sucesso dos biopesticidas, especialmente nas formulações granulares, que apresentam vantagens logísticas e maior resistência a variações ambientais.

Tanto empresas brasileiras quanto estrangeiras têm investido em tecnologias que prolongam a durabilidade dos produtos (*shelf life*) (Sharma *et al.*, 2020; Nawaz *et al.*, 2016). Essa característica foi mencionada por quase todos os entrevistados, exceto um colaborador de uma empresa brasileira que não a considerava uma inovação.

No que tange às operações B2B, elas desempenham um papel fundamental no setor de biológicos. O mercado B2B envolve transações comerciais entre empresas, incluindo a venda de matérias-primas, equipamentos e serviços (Sebrae, 2023).

Um exemplo dessa colaboração pode ser observado na parceria entre a empresa estrangeira Koppert e a empresa brasileira Total Biotecnologia, na produção dos produtos Chevelle e Veraneio (Koppert, 2023). Da mesma forma, o produto Arvático, da Syngenta, utiliza uma cepa desenvolvida pela Total Biotecnologia (Syngenta, 2024).

Essas parcerias entre empresas fortalecem o desenvolvimento técnico, permitindo que as empresas brasileiras ampliem seu alcance tecnológico e de mercado. Além disso, essas parcerias não se limitam à tecnologia elas também facilitam o acesso a novos mercados agrícolas.

Nesse contexto, o mercado de bionematicidas tem se expandido, impulsionado pela busca por práticas agrícolas mais sustentáveis. Empresas brasileiras têm se destacado pela inovação e registro de novos produtos, mantendo-se competitivas frente às estrangeiras, mesmo com investimentos menores em pesquisa (Marrone, 2019; Machado, 2022; Silva *et al.*, 2019). Assim, as operações B2B fortalecem a posição das

empresas brasileiras, permitindo-lhes inovar e acessar novos mercados, consolidando sua importância no cenário global de bionematicidas.

### 5.3 Desafios e Avanços na Implementação de Nematicidas Microbiológicos

Apesar dos avanços tecnológicos, o desenvolvimento de nematicidas microbiológicos ainda enfrenta desafios significativos. A implementação dessas tecnologias não depende apenas da inovação, mas também do conhecimento necessário para sua utilização eficaz, o que requer a transferência de informação para os produtores. Esses produtos, por não atuarem de forma isolada, necessitam de um manejo integrado para aumentar sua eficácia (Jaiswal *et al.*, 2022; Parra *et al.*, 2024) Como destacado pelo entrevistado E11 (2024):

Acaba que o produtor ainda não sabe diferenciar um produto registrado e de qualidade. Então o desafio é um trabalho de formiguinha de demonstrar como funciona o produto, como esses microrganismos atuam e divulgar conhecimento mesmo, para que o produtor a alguns anos saiba diferenciar e como também divulgar a importância de um manejo integrado. Porque utilizar somente um bionematicida não fará o efeito completo que o produtor gostaria. Esses produtos de base biológica requerem todo um manejo integrativo que um organismo complementa ao outro (E11,2024).

Os resultados do Iramuteq, especialmente nas conforme a Figura 5., as classes 1 e 4, indicam que um dos principais desafios é integrar os nematicidas microbiológicos com as práticas de manejo existentes. A Classe 1 destacou a importância da "complementariedade" e da "integração" com métodos químicos, sugerindo que os produtores veem os nematicidas microbiológicos como complementos, não substitutos, dos métodos tradicionais.

Estudos como os de Shoham *et al.* (2020) apontam que, embora os agentes de biocontrole tenham características específicas favoráveis, eles ainda não conseguem substituir completamente os métodos convencionais. Devido à sua especificidade para determinadas pragas e doenças, esses organismos têm um espectro de controle limitado e baixa adaptabilidade em ambientes não nativos. A eficácia desses produtos é maximizada quando utilizados em um Manejo Integrado de Pragas (MIP), que combina várias estratégias de controle para aumentar a eficácia e reduzir a dependência de produtos químicos (Jaiswal *et al.*, 2022).

Corroborando com os autores, uma pesquisa de mercado realizada pela Associação Brasileira das Empresas de Controle Biológico em 2018 (ABCBio) revelou

que a complementariedade com os químicos motivam a compra de 76% dos agricultores entrevistados, reafirmando a importância dessa complementariedade. Além disso, os autores da pesquisa correlacionam que o crescimento da utilização desses insumos está intimamente associada à aumentar o conhecimento e conscientizar quanto a importância das práticas de Manejo Integrado de Pragas e Doenças (MIP e MID) (Borsari *et al.*, 2018).

Esse foi um dos principais desafios mencionados pelos 12 colaboradores entrevistados nesta pesquisa de dissertação que destacaram como uma barreira a necessidade de conscientizar os agricultores sobre a relevância do uso de MIP e MID. Essa conscientização está diretamente ligada à eficácia dos produtos biológicos quando aliados a essas práticas, potencializando seu efeito no controle biológico.

Os desafios de adaptação desses organismos ao bioma do cerrado também foram destacados pelos entrevistados E10 e E12 (2024):

Existem produtos no mercado que ainda precisam ser ajustados para se adaptarem às condições do cerrado. O desafio é explicar ao produtor a importância do manejo integrado e das técnicas de aplicação, visto que esses produtos são relativamente novos no mercado (E10, 2024).

A busca por microrganismos mais adaptados às condições de solo do cerrado, que são muito intemperizados e ácidos, é uma corrida que não tem fim. Esses microrganismos precisam colonizar a rizosfera da planta para oferecer proteção (E12, 2024).

Além disso, é importante lembrar que os nematoides possuem alta capacidade de reprodução e resistência, e que os métodos químicos ou biológicos não erradicam completamente as populações de nematoides do solo. Indivíduos viáveis podem permanecer no solo até a próxima safra, tornando o manejo integrado essencial para o controle eficaz dos nematoides (Nomura *et al.*, 2024).

Em relação à integração entre produtos biológicos e defensivos químicos, conforme apontado nas entrevistas, a palavra “químico”, destacado na Classe 1, foi enfatizado no contexto de sua combinação com tecnologias biológicas. No caso dos bionematicidas, observou-se uma maior quantidade de produtos biológicos voltados ao controle de nematoides, em comparação aos defensivos químicos especificamente direcionados a esses patógenos. De acordo com as análises do AGROFIT entre 2007 e 2024, foram registrados 39 nematicidas químicos, evidenciando um maior número de registros de produtos biológicos durante esse período.

Vale destacar que empresas como Adama, BASF, Syngenta e FMC Química, analisadas pelo AGROFIT, atuam em ambos os segmentos. Syngenta e Adama registraram mais nematicidas químicos do que biológicos, enquanto BASF e FMC Química apresentaram uma produção equilibrada entre os dois tipos de produtos. Isso reflete uma estratégia de portfólio diversificado para atender diferentes demandas do mercado. Essa diversificação é impulsionada pela crescente demanda por soluções sustentáveis, o que tem incentivado o investimento em produtos biológicos (Marrone, 2019).

Autores como Stirling *et al.* (2014) destacam que os agentes de controle biológico têm se mostrado mais consistentes e confiáveis no manejo de fitonematoides, quando comparados aos nematicidas químicos. Esse ponto de vista é reforçado pelo entrevistado E4 (2024), que comenta a percepção dos produtores sobre o manejo de nematoides:

No meu ponto de vista eu vejo que o desafio não é um desafio e sim como uma oportunidade em campo a respeito dos bionematicidas. Desde o início se percebe que o controle químico não faz efeito para os nematoides, o que é esperado. Então dessa maneira o produtor já está inserido no mercado dos bionematicidas, por ele verificar a efetividade desses produtos biológicos com nematoides a mais tempo. Acredito que o desafio maior é a inserção dessas outras tecnologias a respeito de outras classes de bioinsumos (E4,2024).

Ao que se refere a Classe 4 dos resultados do Iramuteq, destaca-se a importância de transmitir o conhecimento sobre essas tecnologias, evidenciada pelas palavras como "saber", "falar", "complicado" e "diferente", que reforçam a necessidade de repassar esse conhecimento aos produtores, algo que ainda representa uma barreira significativa. Os dados da análise da Classe 4 reforçam não apenas a importância dessa transmissão, mas também a complexidade envolvida na transferência de conhecimento.

Essas tecnologias enfrentam desafios associados à resistência cultural dos produtores agrícolas, uma barreira comum à adoção de bioinsumos, incluindo nematicidas microbiológicos. Os produtores, acostumados à aplicação de defensivos químicos, muitas vezes carecem de transferência tecnológica e conhecimento necessário para utilizar essas tecnologias biológicas (Parra *et al.*, 2024; Bortoloti *et al.*, 2024).

Nessa perspectiva, a mudança tecnológica incorpora contextos sociais específicos, influenciados por valores, perspectivas distintas e pelas necessidades dos



diversos atores envolvidos no segmento. A sustentabilidade e a eficiência na produção agrícola não são determinadas apenas por avanços em inovações e pela perspectiva técnica, mas também integram práticas sociais e culturais dos agricultores. A adoção de bioinsumos, especialmente dos agentes de controle biológico, como os bionematicidas, é mediada pelas percepções desses produtores, que estão imersos nesse contexto (Bortoloti *et al.*, 2024).

Como exemplificado pela fala do entrevistado 8, que reforça a influência dos fatores culturais e regionais na adoção dessas tecnologias:

Vale ressaltar que, existem regiões mais adeptas a essas tecnologias do que outras, onde é necessário um trabalho de convencimento, realmente de convencimento, para que o produtor adote essas novas tecnologias. Sabemos que a questão cultural é um aspecto que todos os segmentos da indústria têm enfrentado, e um fator que tem colaborado é a sucessão familiar, talvez trazendo os filhos e netos para dentro do negócio (E8,2024).

A respeito do desenvolvimento das inovações implementadas na fabricação de bionematicidas, foi verificado, na Classe 2, a recorrência de termos como "desenvolver", "exclusivo" e "lançar", que corroboram os dados analisados sobre o avanço dessas tecnologias. Nesse contexto, foi observado, por meio das entrevistas, que as empresas estrangeiras não revelaram os próximos desenvolvimentos. Isso se deve, em parte, ao fato de que os produtos foram lançados recentemente no mercado, e, por esse motivo, o ciclo de vida desses itens ainda está em curso. O foco atual das empresas, portanto, está em explorar outras classes de bioinsumos, conforme exemplificado pelo entrevistado 4:

Tendo em vista que acabamos de lançar um novo bionematicida este ano para o portfólio de vendas, esses produtos têm um ciclo de vida, então não compensa para a empresa investir em tecnologias apenas para o controle de nematoides, sendo que há outros produtos para desenvolver essas tecnologias (E4, 2024).

Entretanto, apenas uma empresa mencionou a formulação de bionematicidas que combinam moléculas biológicas e químicas. A empresa L, que possui um *know-how* em produtos químicos, está estudando essa possibilidade para bionematicidas, com o objetivo de melhorar a operação do produtor. Essa visão foi confirmada pelo entrevistado 8, que destacou a importância de focar no operacional, o que está alinhado com os resultados da Classe 3:

Vamos falar sobre a associação entre o químico e o biológico no futuro, para auxiliar o produtor. De que forma? Talvez protegendo uma molécula de

*Bacillus spp.*, o que é algo mais restrito até então, né? Não é algo que o Ministério ainda tenha visto, mas acho que vamos segmentar essa linha de registros entre o químico e o biológico, porque outro produto vai ser registrado como biológico ou como químico (E8, 2024).

Essa tecnologia já existe no mercado para o tratamento de sementes, como exemplificado pelo produto Poncho®/VOTiVO®, que combina o inseticida sistêmico clotianidina com o *Bacillus firmus* I-1582 (Agribusiness Intelligence, 2019). Por outro lado, as tecnologias desenvolvidas pelas empresas brasileiras estão focadas em microencapsulamento para aumentar a eficácia em campo, especialmente em relação a bactérias do gênero *Bacillus spp.* Além disso, as empresas estão desenvolvendo embalagens sustentáveis e realizando melhorias na formulação com foco nas necessidades dos produtores. Um exemplo prático desse desenvolvimento foi dado pelos entrevistados 7, 9 e 12, que descreveram os desafios de manter a viabilidade de fungos durante o transporte:

O organismo utilizado é um fungo e, por ser um organismo vivo, ele cria micélio durante o transporte devido às atividades metabólicas. A embalagem branca permite a entrada de luz solar, o que aumenta essas atividades e o micélio. Com a embalagem Bag in Box, o fungo respira e a entrada de luz é inibida, o que impede a formação do micélio durante o transporte (E7, 2024).

Outro exemplo relevante foi descrito pelo entrevistado 7, que destacou a importância da microencapsulação para garantir que o nematicida e a bactéria *Bacillus amyloliquefaciens* não sejam antagônicos no campo:

Nós não colocamos o *Bacillus amyloliquefaciens* junto com o nematicida porque eles disputariam a mesma fonte nutricional, e o nematicida ganharia. Por isso, estamos desenvolvendo um projeto de microencapsulação para aumentar a eficiência em campo, ainda não deu certo. Estamos em busca de um material compatível. (E7, 2024).

A constante busca por novos microrganismos e avanços na formulação de produtos também foi reforçada pelo entrevistado 12, que mencionou a adaptação de microrganismos a solos intemperizados e ácidos, como os do Cerrado brasileiro:

Estamos sempre buscando microrganismos com novas aptidões, capacidade de sintetizar enzimas e toxinas. Além disso, buscamos também microrganismos mais adaptativos às condições de solo do Cerrado, que são muito intemperizados e ácidos” (E12, 2024).

Corroborando essa perspectiva, Machado (2022) ressaltou que a utilização de múltiplos organismos em um produto nem sempre resulta em maior eficácia. Estudos apontados pela autora indicam que, em certos casos, a formulação com um único organismo pode ser mais eficiente, o que reforça o ponto de vista do entrevistado 7.

No cenário de desenvolvimento de novos produtos, a técnica de microencapsulação tem ganhado destaque, sendo baseada em nanotecnologia. Essa abordagem consiste no revestimento de microrganismos com materiais poliméricos, visando melhorar sua eficácia em campo (Damalas *et al.*, 2018; Gul *et al.*, 2014). O exemplo dado pelos colaboradores brasileiros demonstra que as empresas brasileiras estão investindo não apenas em nanotecnologia, mas também em áreas como genômica e melhorias nas formulações.

Em conclusão, o desenvolvimento de bionematicidas tem avançado de forma significativa tanto no Brasil quanto em empresas multinacionais. As empresas estrangeiras, embora reservadas quanto a novos lançamentos, já apresentam inovações, como a combinação de moléculas biológicas e químicas. Já as empresas brasileiras estão focadas em técnicas como o microencapsulamento e o uso de embalagens sustentáveis, além de investirem em biotecnologia e genômica. Esses avanços demonstram a competitividade e a capacidade de inovação no setor, especialmente no que se refere às necessidades dos produtores e à adaptação das tecnologias às condições do solo brasileiro (Bettioli *et al.*, 2023; Goulet, 2021; Ke *et al.*, 2020; Kewasni, 2021; Da Silva Medina *et al.*, 2024; Bergek *et al.*, 2013).

## 6. CONCLUSÕES

Foram identificadas 10 inovações tecnológicas nos produtos comercializados no Brasil que incluem cepas exclusivas e isoladas, múltiplas cepas, maior *shelf life*, endósporos, formulações secas e líquidas, tecnologias individuais e mecanismos de ação específicos dos microrganismos mais utilizados, como fungos e bactérias.

No que se refere aos ingredientes ativos mais comumente empregados, observou-se a preponderância de *Bacillus spp.*, utilizado tanto por empresas estrangeiras quanto por empresas brasileiras. Além disso, há uma diversificação na utilização de fungos nematófagos, com *Purpureocillium lilacinus* sendo empregado exclusivamente por empresas brasileiras, enquanto *Trichoderma harzianum* é utilizado por estrangeiras, apresentando dupla função como bionematicida e biofungicida.

Os diferenciais tecnológicos observados neste estudo demonstram que tanto as empresas brasileiras quanto as estrangeiras estão comprometidas com a inovação e a adaptação às exigências do mercado de bionematicidas no Brasil. As empresas

brasileiras se destacam especialmente no desenvolvimento de tecnologias específicas, como Bioshock e Statera (tecnologias exclusivas que visam facilitar a operação do produtor: Bioshock possui embalagem adaptada ao ingrediente ativo e Statera permite a aplicação do produto diretamente no pivô central), ambas baseadas em fungos como *Purpureocillium lilacinus* e *Pochonia chlamydosporia*.

Além disso, as empresas brasileiras se sobressaem nas formulações líquidas, enquanto as estrangeiras apresentam maior destaque em formulações secas (WP - pó molhável e WG - granulado dispersíveis), na utilização de endósporos e *shelf life* prolongada de seus produtos. Empresas brasileiras e estrangeiras compartilham diferenciais como cepas exclusivas, isoladas, múltiplas cepas e mecanismos de ação de fungos e bactérias.

Algumas empresas brasileiras e estrangeiras mostraram-se proeminentes no número de diferenciais tecnológicos implementados. Assim, os resultados indicam um mercado competitivo equilibrado, no qual as empresas brasileiras, apesar da concorrência com estrangeiras já consolidadas, demonstram significativa capacidade de inovação, especialmente em áreas tecnológicas específicas.

Neste contexto, as parcerias B2B em que estrangeiras estabelecem parcerias com empresas brasileiras para o desenvolvimento de bionematicidas se configuram como uma importante estratégia para o aprimoramento tecnológico. Essas colaborações permitem que as inovações desenvolvidas pelas empresas brasileiras sejam mais facilmente inseridas no mercado, considerando que muitas estrangeiras já possuem uma presença consolidada há vários anos. As parcerias fortalecem o processo de inovação e abrem caminhos para uma atuação conjunta no desenvolvimento de tecnologias mais competitivas.

Ainda assim, persistem desafios, especialmente na integração dos bionematicidas com outros insumos no manejo integrado de pragas e doenças (MIP e MID). Um dos principais desafios tecnológicos reside no desenvolvimento de formulações, especialmente aquelas que facilitem o manejo para o produtor, como as formulações líquidas mencionadas.

Apesar dessas dificuldades, o uso de bionematicidas no Brasil tem crescido. Empresas brasileiras estão investindo em inovações como tecnologias de

microencapsulamento para prolongar a eficiência de campo de organismos como *Bacillus spp.*, além de desenvolver embalagens mais robustas e moléculas resistentes às condições adversas dos solos, especialmente no Cerrado. As empresas estrangeiras por outro lado, ainda não revelaram planos concretos de novos desenvolvimentos, visto que muitos dos seus produtos recém-lançados estão no mercado.

Conclui-se que o mercado brasileiro de bionematicidas é dinâmico e competitivo, caracterizado pela inovação tecnológica tanto de empresas brasileiras quanto de estrangeiras. As empresas brasileiras, além de altamente competitivas, têm demonstrado notável capacidade de adaptação e desenvolvimento de tecnologias exclusivas e diferenciais estratégicos. É recomendável que novas pesquisas explorem o impacto a longo prazo dos bionematicidas sobre a biodiversidade do solo, bem como o contínuo desenvolvimento de inovações tecnológicas no setor.

Em resumo, este estudo fornece uma base sólida para futuras pesquisas sobre o uso de bionematicidas e suas implicações para políticas públicas voltadas ao incentivo da pesquisa e desenvolvimento de bioinsumos. Essas políticas são essenciais para garantir a sustentabilidade e competitividade da agricultura brasileira, além de promover práticas agrícolas mais sustentáveis. O estudo também abre espaço para investigações sobre os impactos de longo prazo dos nematicidas biológicos na biodiversidade do solo e no desenvolvimento contínuo de inovações tecnológicas no setor.

## 7. REFERÊNCIAS

AB RAHMAN, S. F. S *et al.* Emerging microbial biocontrol strategies for plant pathogens. **Plant Science**, v. 267, p. 102-111, 2018.

ABD-ELGAWAD, M.; ASKARY, T. H. Fungal and bacterial nematicides in integrated nematode management strategies. **Egyptian journal of biological pest control**, v. 28, n. 1, p. 1-24, 2018.

ADAMSEGED, M. E.; GRUNDMANN, P. Understanding business environments and success factors for emerging bioeconomy enterprises through a comprehensive analytical framework. **Sustainability**, v. 12, n. 21, p. 9018, 2020.

AGÊNCIA GOVERNO FEDERAL. **Biopesticidas biológicos cresceram 45% no Brasil nos últimos cinco anos.** 2024. Disponível em: <https://agenciagov.etc.com.br/noticias/202402/biopesticidas-biologicos-cresceram-45-no-brasil-nos-ultimos-cinco-anos#:~:text=Biopesticidas%20biol%C3%B3gicos%20cresceram%2045%25%20no%2>

[0Brasil%20nos%20%C3%BAltimos%20cinco%20anos,-  
Dado%20foi%20apresentado&t](#). Acesso em: ago. 2024

AGROBUSINESS GLOBAL. **State of the Industry: Exclusive Survey Results on Biological Products**. 2020. Disponível em: <https://www.agribusinessglobal.com/health/biostimulants/state-of-the-industry-exclusive-survey-results-on-biological-products/>. Acesso em: agosto 2024.

AGROFIT, AGROFIT. Sistema de agrotóxicos fitossanitários. **Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento**, 2012.

AGROW AGRIBUSINESS INTELLIGENCE INFORMA. *Biopesticides*. 2019.

AHMAD, S. *et al.* Qualitative v/s. quantitative research-a summarized **review. population**, v. 1, n. 2, p. 2828-2832, 2019.

AMARESAN, N. *et al.* (Ed.). **Advances in Trichoderma Biology for Agricultural Applications**. Berlin/Heidelberg, Germany: Springer International Publishing, 2022.

ASKARY, T. H.; MARTINELLI, P. R. P. (Ed.). **Biocontrol agents of phytonematodes**. CABI, 2015.

ASKARY, T.H. Limitations, research needs and future prospects in the biological control of phytonematodes. In: **Biocontrol agents of phytonematodes**. Wallingford UK: CABI, 2015. p. 446-454.

BAKER, K. F; COOK, R. J. **Biological control of plant pathogens**. 1974.

BARDIN, L. *Análise de Conteúdo*. São Paulo: Ed. **Revista e Ampliada**, 2011.

BAUER, M.W.; GASKELL, G. **Pesquisa qualitativa com texto, imagem e som: um**

BERGEK, A. *et al.* Technological discontinuities and the challenge for incumbent firms: Destruction, disruption or creative accumulation?. **Research Policy**, v. 42, n. 6-7, p. 1210-1224, 2013.

BETTIOL W. *et al.* **Defensivos agrícolas naturais: uso e perspectivas**. 2016.

BETTIOL, J. *et al.* **Como o Brasil se tornou o maior produtor e consumidor de produtos de biocontrole. 2023**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/79156418/artigo-como-o-brasil-se-tornou-o-maior-produtor-e-consumidor-de-produtos-de-biocontrole>. Acesso em: out. 2023.

BOGDAN, R.; BIKLEN, S. **Investigação qualitativa em educação: uma introdução à teoria e aos métodos**. Porto editora, 1994.

BORSARI, A. P.; CLAUDINO, M. **Mercado e percepção do produtor brasileiro. AgroANALYSIS**, v. 38, n. 10, p. 32-37, 2018.

BRASIL. **Agrofit: sistema fitossanitário de agrotóxicos**. Disponível em: [https://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit\\_cons/principal\\_agrofit\\_cons](https://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons). Acesso em: fevereiro 2023 a agosto 2024.

BRASIL. **Decreto nº 4.074, de 4 de janeiro de 2002**. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/decreto/2002/D4074.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/2002/D4074.htm). Acesso em: agosto 2024.

BRASIL. **Lei nº 7.802, de 11 de julho de 1989**. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/l7802.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l7802.htm). Acesso em: julho 2024.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Base conceitual do programa de Bioinsumos**. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/inovacao/bioinsumos/o-programa/conceitos>. Acesso em: março 2023. 2020a.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Programa Nacional de Bioinsumos é lançado e vai impulsionar uso de recursos biológicos na agropecuária brasileira**. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/programa-nacional-de-bioinsumos-e-lancado-e-vai-impulsionar-uso-de-recursos-biologicos-na-agropecuaria-brasileira>. Acesso em: fevereiro 2023. 2020b.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Programa Nacional de Bioinsumos é lançado e vai impulsionar uso de recursos biológicos na agropecuária**. 2020. Disponível em: <<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/programa-nacional-de-bioinsumos-e-lancado-e-vai-impulsionar-uso-de-recursos-biologicos-na-agropecuaria-brasileira>>. Acesso em: jul. 2024.

BRASILa. **Lei nº 14.785, de 27 de dezembro de 2023. Lei de agrotóxicos**. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/ato2023-2026/2023/lei/l14785.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2023-2026/2023/lei/l14785.htm). Acesso em: julho 2024.

CAMARGO, B.V.; JUSTO, A.M. IRAMUTEQ: um software gratuito para análise de dados textuais. **Temas em psicologia**, v. 21, n. 2, p. 513-518, 2013.

CHANDLER, D. *et al.* The development, regulation and use of biopesticides for integrated pest management. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 366, n. 1573, p. 1987-1998, 2011.

CHEN, J.; LI, Q. X.; SONG, B. Chemical nematicides: Recent research progress and outlook. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 68, n. 44, p. 12175-12188, 2020.

CHEN, Y. *et al.* Biocontrol of tomato wilt disease by *Bacillus subtilis* isolates from natural environments depends on conserved genes mediating biofilm formation. **Environmental microbiology**, v. 15, n. 3, p. 848-864, 2013.

COOK, J.; BAKER, K. F. **The nature and practice of biological control of**

- COOK, R. J. The nature and practice of biological control of plant pathogens. **American Phytopathological Society**, v. 539, 1983.
- CÓRDOVA, F.P; SILVEIRA, D. T. A pesquisa científica. **GERHARDT, TE; SILVEIRA, DT Métodos de Pesquisa. Porto Alegre: Editora da UFRGS**, p. 120, 2009.
- CRESWELL, J. W.; CRESWELL, J. D. **Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches**. Sage publications, 2017.
- CROPLIFE BRASIL. **Mercado brasileiro de bioinsumos cresceu 16% na safra 2023 e 2024**. 2024. Disponível em: <https://croplifebrasil.org/noticias/mercado-de-bioinsumos-cresceu-15-na-safra-2023-2024/>. Acesso em: ago. 2024.
- CRUZ, J. E.; MEDINA, G.; JÚNIOR, J.R. Brazil's Agribusiness Economic Miracle: Exploring Food Supply Chain Transformations for Promoting Win-Win Investments. **Logistics**, v. 6, n. 1, p. 23, 2022.
- DA SILVA MEDINA, Gabriel; ROTONDO, Rosana; RODRÍGUEZ, Gustavo Rubén. Innovations in Agricultural Bio-Inputs: Commercial Products Developed in Argentina and Brazil. **Sustainability**, v. 16, n. 7, p. 2763, 2024.
- DE CAL, A. *et al.* Use of biofungicides for controlling plant diseases to improve food availability. **Agriculture**, v. 2, n. 2, p. 109-124, 2012.
- DE FREITAS SOARES, F.E. *et al.* Biological control 2.0: Use of nematophagous fungi enzymes for nematode control. **Journal of Natural Pesticide Research**, v. 4, p. 100025, 2023.
- DE JARAMILLO, E. H.; TRIGO, E. J.; CAMPOS, R. The role of science, technology and innovation for transforming food systems in Latin America and the Caribbean. **Science and Innovations for Food Systems Transformation**, p. 737, 2023.
- DE SOUZA, M.A.; BUSSOLOTI, J.M. Análises de entrevistas em pesquisas qualitativas com o software Iramuteq. **Revista Ciências Humanas**, v. 14, n. 1, 2021.
- DECRAEMER, W.; HUNT, D. J. Structure and classification. In: **Plant nematology**. Wallingford UK: CABI, 2006. p. 3-32.
- DINARDO-MIRANDA, L. L. Nematoides e pragas da cana-de-açúcar. **Campinas: Instituto Agronômico**, 2014.
- DUHAM TRIMMER. **Relatório do Mercado Global de Biocontrole**. 2023. Disponível em: <https://dunhamtrimmer.com/reports/global-biocontrol-market-report/>. Acesso em: ago. 2024.
- DUNLAP, C. A. *et al.* *Bacillus velezensis* is not a later heterotypic synonym of *Bacillus amyloliquefaciens*; *Bacillus methylotrophicus*, *Bacillus amyloliquefaciens* subsp. *plantarum* and '*Bacillus oryzicola*' are later heterotypic synonyms of *Bacillus velezensis*



based on phylogenomics. **International journal of systematic and evolutionary microbiology**, v. 66, n. 3, p. 1212-1217, 2016.

ELNAHAL, A.S.M. *et al.* The use of microbial inoculants for biological control, plant growth promotion, and sustainable agriculture: A review. **European Journal of Plant Pathology**, v. 162, n. 4, p. 759-792, 2022.

ELSHAKH, A. S.A *et al.* Controlling and defence-related mechanisms of *Bacillus* strains against bacterial leaf blight of rice. **Journal of Phytopathology**, v. 164, n. 7-8, p. 534-546, 2016.

ESSERE GROUP. **Bionat investe para atender demanda de biológicos**. 2023. Disponível em: <<https://essere.group/pt/bionat-investe-para-atender-demanda-por-biologicos/>>. Acesso em: ago. 2024.

Expert XP. **Investindo na transformação do agronegócio brasileiro: Indo a fundo no Outliers com a Aqua Capital**. 2022. Disponível em: <<https://conteudos.xpi.com.br/fundos-de-investimento/relatorios/financiando-a-transformacao-do-agronegocio-aqua-capital/>>. Acesso em: ago. 2024.

FERRAZ, L. C. C. B.; BROWN, D.J.F. **Nematologia de plantas: fundamentos e importância**. Manaus: Norma Editora, v. 1, p. 251, 2016.

FORBES. **O mercado de bioinsumos**. 2023. Disponível em: <<https://forbes.com.br/forbesagro/2023/01/o-mercado-de-bioinsumos-vai-para-onde-no-brasil/>>. Acesso em: jul. 2023.

GARCIA, M.V.N; NOGUEIRA, M.A; HUNGRIA, M. Combining microorganisms in inoculants is agronomically important but industrially challenging: case study of a composite inoculant containing *Bradyrhizobium* and *Azospirillum* for the soybean crop. **AMB Express**, v. 11, n. 1, p. 71, 2021.

GORTARI, M. C. *et al.* Comparison of the biological properties of two strains of *Purpureocillium lilacinum* (Thom) Samson associated to their antagonistic effect onto *Toxocara canis* eggs. **Malaysian Journal of Microbiology**, v. 4, n. 2, p. 35-41, 2008.

GOULET, F. Characterizing alignments in socio-technical transitions. Lessons from agricultural bio-inputs in Brazil. **Technology in society**, v. 65, p. 101580, 2021.

GOULET, F.; HUBERT, M. Making a place for alternative technologies: the case of agricultural bio-inputs in Argentina. **Review of Policy Research**, v. 37, n. 4, p. 535-555, 2020.

HARMAN, G. E. Myths and dogmas of biocontrol changes in perceptions derived from research on *Trichoderma harzium* T-22. **Plant disease**, v. 84, n. 4, p. 377-393, 2000.

HLPE. **Agroecological and other innovative approaches for sustainable agriculture and food systems that enhance food security and nutrition**. 2019. Disponível em: <[https://www.fao.org/fileadmin/user\\_upload/hlpe/hlpe\\_documents/HLPE\\_Reports/HLPE-Report-14\\_EN.pdf](https://www.fao.org/fileadmin/user_upload/hlpe/hlpe_documents/HLPE_Reports/HLPE-Report-14_EN.pdf)>. Acesso em: dez. 2023.

- JACQUET, F. *et al.* Pesticide-free agriculture as a new paradigm for research. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 42, n. 1, p. 8, 2022.
- JAISWAL, D. K. *et al.* Biocontrol strategies: an eco-smart tool for integrated pest and diseases management. **BMC microbiology**, v. 22, n. 1, p. 324, 2022.
- JONES, J.T. *et al.* Top 10 plant-parasitic nematodes in molecular plant pathology. **Molecular plant pathology**, v. 14, n. 9, p. 946-961, 2013.
- KAUSHIK, B. D.; KUMAR, D.; SHAMIM, Md (Ed.). **Biofertilizers and biopesticides in sustainable agriculture**. CRC Press, 2019.
- KE, J.; WANG, B.; YOSHIKUNI, Y. Microbiome engineering: synthetic biology of plant-associated microbiomes in sustainable agriculture. **Trends in Biotechnology**, v. 39, n. 3, p. 244-261, 2021.
- KESWANI, C. *et al.* Obstacles in the Adaptation of Biopesticides in India. In: **Bio# Futures: Foreseeing and Exploring the Bioeconomy**. Cham: Springer International Publishing, 2021. p. 301-318.
- KESWANI, C. *et al.* Re-addressing the biosafety issues of plant growth promoting rhizobacteria. **Science of the Total Environment**, v. 690, p. 841-852, 2019.
- KHAN, A. *et al.* Root-knot nematodes (Meloidogyne spp.): Biology, plant-nematode interactions and their environmentally benign management strategies. **Gesunde Pflanzen**, v. 75, n. 6, p. 2187-2205, 2023.
- KOGAN, M. Ecological theory and integrated pest management. New York: **Wiley Interscience**, 1988. 362 p.
- KOPPERT DO BRASIL HOLDING S.A. KBR PDG08: **fungicida e nematocida microbiológico**. Piracicaba, SP: Koppert do Brasil Holding S.A., 2023. 1 folha. Bula, p. 1.
- LUCKMANN, W. H.; METCALF, R. L. The pest management concept. **Introduction to insect pest management**, p. 1-60, 1975.
- MACHADO, A. C. Z. Current nematode threats to Brazilian agriculture. **Current Agricultural Science and Technology**, v. 20, n. 1, 2014.
- MACHADO, A. CZ. Bionematicides in Brazil: an emerging and challenging market. **Revisão Anual de Patologia de Plantas**, v. 28, p. 35-49, 2022.
- MAGALHÃES, M. N.; DE LIMA, A.C. P. **Noções de probabilidade e estatística**. São Paulo, SP, Brazil: Edusp, 2002.
- manual prático**. Editora Vozes Limitada, 2017.
- MARCHAND, P.; RATINAUD, P. L'analyse de similitude appliquée aux corpus textuels: les primaires socialistes pour l'élection présidentielle française (septembre-

octobre 2011). **Actes des 11eme Journées internationales d'Analyse statistique des Données Textuelles. JADT**, v. 2012, p. 687-699, 2012.

MARRONE, P. G. Pesticidal natural products–status and future potential. **Pest Management Science**, v. 75, n. 9, p. 2325-2340, 2019.

MARTINEZ, Y. *et al.* Biotechnological development of Trichoderma-based formulations for biological control. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 107, n. 18, p. 5595-5612, 2023.

MCKINSEY. **Global Farms Insights**. 2022. Disponível em: <https://globalfarmerinsights2022.mckinsey.com/>. Acesso em: ago. 2023.

MEYER, M. C. *et al.* Bioinsumos na cultura da soja. In Doenças da soja: melhoramento genético e técnicas de manejo. *Embrapa Soja: Londrina, Brazil*, 2022.

MEYER, M. C. *et al.* Trichoderma: uso na agricultura. 2019.

MORAES, R. F. **Agrotóxicos no Brasil: Padrões de uso, Política da regulação e prevenção da captura regulatória**. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA, Rio de Janeiro, p. 1-76, 2019.

MORCEIRO, P.C; TESSARIN, M.S; GUILHOTO, J.J.M. Production and sectoral use of technology in Brazil. **Applied Economics**, 26 v. 4, 2022.

MORTON, O.; HIRSCH, P.; KERRY, B. Infection of plant-parasitic nematodes by nematophagous fungi—a review of the application of molecular biology to understand infection processes and to improve biological control. **Nematology**, v. 6, n. 2, p. 161-170, 2004.

MOZZATO, A. R.; GRZYBOYSKI, D. Análise de conteúdo como técnica de análise de dados qualitativos no campo da administração: Potencial e desafios. **Revista de Administração Contemporânea**, v. 15, n. 4, p. 731-747, 2011

NAWAZ, M.; MABUBU, J.; HUA, H. Current status and advancement of biopesticides: microbial and botanical pesticides. **J Entomol Zool Stud**, v. 4, n. 2, p. 241-246, 2016

NOLING, J. W. Nematode management in tomatoes, peppers, and eggplant. **UF/FAS Extension**, 2014.

OLIVEIRA, C. M. G.; ROSA, J. M O. Nematoides parasitos do cafeeiro. 2018.

PAL, K. K. *et al.* Biological control of plant pathogens. **The plant health instructor**, v. 2, n. 5, p. 1117-1142, 2006.

PALMISANO, T. Narratives and practices of pesticide removal in the Andean valleys of Chile and Argentina. **Environmental Science & Policy**, v. 139, p. 149-156, 2023.

PARRA, J. R. P. *et al.* **Controle biológico com parasitoides e predadores na agricultura brasileira**. Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz, 2024.

PELAEZ, V.; MIZUKAWA, G. Diversification strategies in the pesticide industry: from seeds to biopesticides. **Ciência Rural**, v. 47, n. 2, p. e20160007, 2016.

PELAEZ, V.M. *et al.* A (des) coordenação de políticas para a indústria de agrotóxicos no Brasil. **Revista Brasileira de Inovação**, v. 14, p. 153-178, 2015.

**plant pathogens**. St. Paul: APS, 1983. 539 p.

POURESMAEIL, M. *et al.* Phytotoxic activity of Moldavian dragonhead (*Dracocephalum moldavica* L.) essential oil and its possible use as bio-herbicide. **Process Biochemistry**, v. 114, p. 86-92, 2022.

PRODANOV, C. C.; DE FREITAS, E. C. **Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico-2ª Edição**. Editora Feevale, 2013.

PULAVARTY, A.; HORGAN, K.; KAKOULI-DUARTE, T. Effect of an Alltech soil health product on entomopathogenic nematodes, root-knot nematodes and on the growth of tomato plants in the greenhouse. **Journal of Nematology**, v. 52, n. 1, p. 1-10, 2020.

QIU, Z. *et al.* New frontiers in agriculture productivity: optimised microbial inoculants and in situ microbiome engineering. **Biotechnology advances**, v. 37, n. 6, p. 107371, 2019.

RAAIJMAKERS, J. M. *et al.* The rhizosphere: a playground and battlefield for soilborne pathogens and beneficial microorganisms. 2009.

RANGEL, L. E. P. **Fica instituído o Sistema de Agrotóxicos Fitossanitários - AGROFIT, como sistema oficial de cadastro dos agrotóxicos, produtos técnicos e afins**. 2016. Disponível em: [https://contas.tcu.gov.br/ords/f?p=9577:2:::NO::P2\\_ID\\_NOTICIA:122250](https://contas.tcu.gov.br/ords/f?p=9577:2:::NO::P2_ID_NOTICIA:122250).

RAVINDRA, H. *et al.* Rice root-knot nematode (*Meloidogyne graminicola*) an emerging problem. **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences**, v. 6, n. 8, p. 3143-3171, 2017.

ROJAS, R. *et al.* (Ed.). **Biocontrol Systems and Plant Physiology in Modern Agriculture: Processes, Strategies, Innovations**. CRC Press, 2022.

SALAZAR, B. *et al.* *Bacillus* spp. as bio-factories for antifungal secondary metabolites: Innovation beyond whole organism formulations. **Microbial Ecology**, v. 86, n. 1, p. 1-24, 2023.

SAXENA, A. K. *et al.* *Bacillus* species in soil as a natural resource for plant health and nutrition. **Journal of applied microbiology**, v. 128, n. 6, p. 1583-1594, 2020.

SCHOUTEN, A. Mechanisms involved in nematode control by endophytic fungi. **Annual Review of Phytopathology**, v. 54, n. 1, p. 121-142, 2016.

SCHUMPETER, Joseph A.; SWEDBERG, Richard. **The theory of economic development**. Routledge, 2021.

SEBRAE. **O que é preciso saber sobre o mercado B2B?** 2023. Disponível em: <https://sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/artigos/o-que-e-preciso39-saber-sobre-o-mercado-b2b,3572f388f62a5810VgnVCM1000001b00320aRCRD>. Acesso em: 21 jan. 2024.

SHOHAM, J. The rise of biological products in the crop protection and plant nutrition markets. **Outlooks on Pest Management**, v. 31, n. 3, p. 129-131,

SIDDIQUE, S.; GRUNDLER, F. MW. Parasitic nematodes manipulate plant development to establish feeding sites. **Current opinion in microbiology**, v. 46, p. 102-108, 2018.

SIKANDAR, A. *et al.* Meloidogyne incognita (root-knot nematode) a risk to agriculture. **Applied Ecology & Environmental Research**, v. 18, n. 1, 2020.

SILVA, J.J *et al.* Investments in agricultural research and development: recent transformations in Brazil. **Revista Brasileira de Inovação**, v. 18, n. 01, p. 89-120, 2019.

SINGH, B. K.; TRIVEDI, P. Microbiome and the future for food and nutrient security. **Microbial biotechnology**, v. 10, n. 1, p. 50, 2017.

SINGH, S.; SINGH, B.; SINGH, A. P. Nematodes: a threat to sustainability of agriculture. **Procedia Environmental Sciences**, v. 29, p. 215-216, 2015.

SOUZA, M. A. R. *et al.* The use of IRAMUTEQ software for data analysis in qualitative research. **Revista da Escola de Enfermagem da USP**, v. 52, p. e03353, 2018.

STAROBINSKY, G. *et al.* Bioinsumos para la agricultura que demandan esfuerzos de investigación y desarrollo. Capacidades existentes y estrategia de política pública para impulsar su desarrollo en Argentina. **Documentos de Trabajo del CCE**, n. 17, p. 1-137, 2021.

STIRLING, G. R. Biological control of plant-parasitic nematodes. In: **Diseases of nematodes**. CRC Press, 2018. p. 103-150.

STIRLING, G. R. **Biological control of plant-parasitic nematodes: soil ecosystem management in sustainable agriculture**. CABI, 2014.

TAPIA-VÁZQUEZ, I. *et al.* Root-knot nematodes (*Meloidogyne* spp.) a threat to agriculture in Mexico: Biology, current control strategies, and perspectives. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v. 38, n. 2, p. 26, 2022.

TEIXEIRA, G.; VIZENTIN, R. **AGROTÓXICOS Posição na União Europeia dos Ingredientes Ativos Liberados no Brasil**. 2019. Disponível em:

<https://apublica.org/wp-content/uploads/2020/06/agrotoxicos-brasil-ue-jul-2019.pdf>.  
Acesso em: Jun de 2024.

TESSARIN, M. S.; SUZIGAN, W.; GUILHOTO, J. J. M. Cooperação para inovar no Brasil: diferenças segundo a intensidade tecnológica e a origem do capital das empresas. **Estudos Econômicos (São Paulo)**, v. 50, n. 4, p. 671-704, 2020.

TEWARI, S.; ARORA, N. K. Fluorescent *Pseudomonas* sp. PF17 as an efficient plant growth regulator and biocontrol agent for sunflower crop under saline conditions. **Symbiosis**, v. 68, p. 99-108, 2016.

TORUÑO, P. J. *et al.* Bioeconomía de las Universidades del CNU y sus senderos productivos. **Rev. Iberoam. Bioecon. Cambio Clim**, v. 8, p. 1929-1946, 2022.

VAN DEN HOOGEN, J. *et al.* Soil nematode abundance and functional group composition at a global scale. **Nature**, v. 572, n. 7768, p. 194-198, 2019.

VIDHYASEKARAN, P. *et al.* Development of a powder formulation of *Pseudomonas fluorescens* for control of rice blast. **Plant pathology**, v. 46, n. 3, p. 291-297, 1997.

VLAMAKIS, H. *et al.* Sticking together: building a biofilm the *Bacillus subtilis* way. **Nature Reviews Microbiology**, v. 11, n. 3, p. 157-168, 2013.

WHIPPS, J. M. Microbial interactions and biocontrol in the rhizosphere. **Journal of experimental Botany**, v. 52, n. suppl\_1, p. 487-511, 2001

**APÊNDICE A – ROTEIRO DE ENTREVISTA  
E MENSAGEM ENVIADA AOS COLABORADORES**

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONEGÓCIOS (PROPAGA-UNB)

**MENSAGEM ENVIADA AOS COLABORADORES**

Essa mensagem foi enviada aos colaboradores para contatá-los e solicitar que respondam ao questionário.

Olá \_\_\_\_\_-, boa tarde. Como você está? Tudo bem? Espero que sim!

Meu nome é Leticia Bandeira, sou Engenheira Agrônoma e estudante de mestrado em Agronegócios na Universidade de Brasília – UnB.

Estou realizando uma pesquisa de mestrado com o tema: NEMATICIDAS MICROBIOLÓGICOS: DIFERENCIAL TECNOLÓGICO DOS PRODUTOS COMERCIAIS.

O objetivo da minha pesquisa é identificar essas tecnologias utilizadas nos produtos e o desenvolvimento das próximas inovações. Gostaria de solicitar sua gentil colaboração para uma conversa rápida e objetiva, de apenas 15 minutos, que podemos fazer pelo Teams, conforme a sua disponibilidade de dia e horário.

O intuito da nossa conversa seria conhecer suas impressões e perspectivas acerca das inovações utilizadas nos nematocidas microbiológicos comerciais.

Quando puder me dar um retorno, ficarei extremamente grata.

**Identificação**

Nome: \_\_\_\_\_ Empresa: \_\_\_\_\_

Cargo: \_\_\_\_\_ Idade: \_\_\_\_\_

Região de Atuação: \_\_\_\_\_

## Introdução

1. Agradecimento pela participação e disponibilidade de tempo para participação da pesquisa.
2. Apresentação breve sobre a temática da pesquisa

## QUESTIONÁRIO

### Diferencial Tecnológico

**Motivação:** Abordar os diferenciais tecnológicos considerando esses parâmetros específicos, tais como **cepas, formulação, compatibilidade e composição de microrganismos.**

Para pergunta 1, os nematicidas microbiológicos registrados foram previamente identificados pela plataforma AGROFIT. Com base em cada produto registrado, foi solicitado que os colaboradores apontassem os diferenciais de cada nematicida.

1. Qual o diferencial tecnológico?

### Desafios Tecnológicos

**Motivação:** Investigar os desafios enfrentados pela empresa e as tecnologias emergentes em desenvolvimento, tanto para criação de novos produtos quanto para manter a eficácia dos produtos já existentes.

1. Quais são os principais avanços tecnológicos implementados pela empresa para melhorar a eficácia dos nematicidas microbiológicos e desenvolver novos produtos? (Inclui avanços nas áreas de biotecnologia, genômica e outras áreas que estão sendo exploradas).
2. No seu ponto de vista, quais são os principais desafios que a empresa enfrenta, em relação ao desenvolvimento de novos nematicidas microbiológicos em termos de tecnologia e inovação?



## **APÊNDICE B – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO DOS ENTREVISTADOS**

**Título do Projeto:** Nematicidas Microbiológicos: Diferencial Tecnológico dos produtos comerciais

**Pesquisadora Responsável:** Leticia Bandeira Araújo, sob a orientação do Prof. Dr. Gabriel da Silva Medina

**Instituição a que pertence o Pesquisador Responsável:** Programa de Pós-Graduação em Agronegócios – Universidade Brasília (UnB).

**Curso:** Mestrado em Agronegócios.

**Telefones para contato:** 61-981847580 (Leticia Bandeira); E-mail: [222103402@aluno.unb.br](mailto:222103402@aluno.unb.br) e (Prof. Dr. Gabriel da Silva Medina); E-mail: [Gabriel.medina@unb.br](mailto:Gabriel.medina@unb.br)

O(A) Sr.(a) tem liberdade que sempre que quiser poderá pedir mais informações sobre a pesquisa através dos telefones ou dos e-mails acima. A participação nesta pesquisa não traz complicações legais. Nenhum dos procedimentos usados oferece riscos à sua dignidade. Todas as informações coletadas neste estudo são estritamente confidenciais. Somente o(a) pesquisador(a) e o orientador terão conhecimento dos dados.

Ao participar desta pesquisa a Sr.(a) não terá nenhum benefício direto. Entretanto, esperamos que este estudo traga informações importantes a respeito das inovações no campo dos nematicidas microbiológicos. A pesquisadora se compromete a divulgar os resultados obtidos.

As informações fornecidas serão utilizadas somente para fins de pesquisa, inclusive em coautoria ou por outros pesquisadores interessados na temática, sempre garantindo o anonimato dos entrevistados.

O(A) Sr. (a) não terá nenhum tipo de despesa para participar desta pesquisa, bem como nada será remunerado pela sua participação.

- ( ) Declaro que li e entendi os objetivos deste estudo. Manifesto meu livre consentimento em participar, estando ciente que minha participação é

voluntária e que, a qualquer momento, tenho o direito de obter outros esclarecimentos sobre a pesquisa e de retirar-me da mesma, sem qualquer penalidade ou prejuízo.

---

Assinatura do Colaborador

