



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

IGOR LIMA EDWARDS

**TENDÊNCIAS NO MERCADO DE INSETICIDAS
MICROBIOLÓGICOS PARA A PRODUÇÃO DE SOJA NO
BRASIL**

PUBLICAÇÃO: NÚMERO DA DISSERTAÇÃO/TESE/ANO

**Brasília/DF
Julho/2025**

IGOR LIMA EDWARDS

**TENDÊNCIAS NO MERCADO DE INSETICIDAS MICROBIOLÓGICOS PARA A
PRODUÇÃO DE SOJA NO BRASIL**

Dissertação apresentada ao curso de Mestrado do Programa de Pós-graduação em Agronegócios, da Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Brasília (UnB), como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Agronegócios.

Orientador(a): Prof. Dr. Gabriel da Silva Medina

Coorientador(a): Prof. Dr. Armando Fornazier

**Brasília/DF
Julho/2025**

IGOR LIMA EDWARDS

**TENDÊNCIAS NO MERCADO DE INSETICIDAS MICROBIOLÓGICOS PARA A
PRODUÇÃO DE SOJA NO BRASIL**

Dissertação apresentada ao curso de Mestrado do Programa de Pós-graduação em Agronegócios da Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Brasília (UnB), como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Agronegócios.

Aprovada pela seguinte Banca Examinadora:

**Prof. Dr. Gabriel da Silva Medina – Universidade de Brasília
(ORIENTADOR)**

**Prof. Dr. Armando Fornazier – Universidade de Brasília
(COORDENADOR)**

**Prof. Dr. Jaim Jose da Silva Junior – Universidade de Brasília
(EXAMINADOR INTERNO)**

**Prof. Dr. Renata Martins Sampaio – Instituto de Economia Agrícola
(EXAMINADOR EXTERNO)**

Brasília, 11 de julho de 2025

Agradeço ao meu orientador, Gabriel da Silva Medina, e ao coorientador Armando Fornazier, pela orientação e apoio. À banca, pelas contribuições valiosas. Às empresas envolvidas, pela colaboração essencial. E à minha família, pelo suporte e incentivo essenciais.

RESUMO

A agricultura brasileira, embora altamente produtiva, enfrenta críticas devido à dependência de defensivos químicos e seus impactos ambientais e à saúde. Nesse contexto, os inseticidas microbiológicos surgem como alternativa promissora e sustentável para o manejo de pragas. A presente dissertação tem como objetivo identificar as tendências emergentes no mercado de inseticidas microbiológicos, considerando tanto o panorama geral quanto para os produtos microbiológicos disponíveis para as pragas-alvo que afetam a produção de soja. Cabe destacar que, além dos inseticidas microbiológicos, outros agentes de controle biológico também são considerados bioinsumos para o manejo de pragas; entretanto, esses não foram objeto de análise neste estudo. O trabalho tem foco em três objetivos específicos: (1) Identificar e descrever os inseticidas microbiológicos disponíveis no mercado brasileiro, bem como aqueles disponíveis para a cultura da soja; (2) Investigar os diferenciais tecnológicos presentes em inseticidas microbiológicos disponíveis para as principais pragas-alvo que afetam a produção de soja no mercado brasileiro; e (3) Comparar inseticidas microbiológicos que possuem a mesma composição de ingredientes ativos, buscando entender como se diferenciam. A metodologia adotada combinou pesquisa documental e entrevistas semiestruturadas, permitindo a análise de registros oficiais e informações fornecidas por empresas do setor. Os resultados indicam que os fungos representam a maioria dos ingredientes ativos (70,6%) dos produtos registrados. As formulações em pó predominam, mas há diversidade conforme o microrganismo. Os diferenciais tecnológicos identificados foram facilidade de armazenamento/estabilidade, espectro de ação, sinergia/compatibilidade, variedade de formulações, tecnologias exclusivas e efeito residual. A existência de produtos com a mesma composição de ingrediente ativo, porém mais concentrados, com maior espectro de pragas-alvo e atributos como estabilidade, praticidade de aplicação e efeitos adicionais como a infecção em cadeia agrega valor aos inseticidas microbiológicos. Observa-se um conjunto de tendências no mercado de inseticidas microbiológicos: predominância dos fungos *Beauveria bassiana* e *Metarhizium anisopliae*, destaque das bactérias pela diversidade de cepas e dos vírus pela alta especificidade; tendência no uso de formulações pó molhável (WP) e suspensão concentrada (SC); diferenciais tecnológicos voltados para armazenamento/estabilidade nas empresas nacionais e para tecnologias exclusivas nas internacionais; além da crescente adoção de combinações fúngicas com ação complementar como estratégia para ampliar a eficácia dos produtos.

Palavras-chave: Inseticidas microbiológicos. Soja. Inovações tecnológicas.

ABSTRACT

Brazilian agriculture, although highly productive, faces criticism due to its dependence on chemical pesticides and their impacts on the environment and human health. In this context, microbial insecticides emerge as a promising and sustainable alternative for pest management. This dissertation aims to identify emerging trends in the microbial insecticide market, considering both the general panorama and microbial products available for target pests that affect soybean production. It should be noted that, in addition to microbial insecticides, other biological control agents are also considered bioinputs for pest management; however, these were not analyzed in this study. The research focuses on three specific objectives: (1) to identify and describe microbial insecticides available in the Brazilian market, as well as those available for soybean crops; (2) to investigate the technological differentials present in microbial insecticides available for the main target pests affecting soybean production in the Brazilian market; and (3) to compare microbial insecticides that have the same active ingredient composition, seeking to understand how they differ. The adopted methodology combined documentary research and semi-structured interviews, enabling the analysis of official records and information provided by companies in the sector. The results indicate that fungi account for most of the active ingredients (70.6%) of registered products. Powder formulations are predominant, although diversity exists depending on the microorganism. The technological differentials identified included storage/stability, spectrum of action, synergy/compatibility, diversity of formulations, exclusive technologies, and residual effect. The existence of products with the same active ingredient composition, but with higher concentrations, broader target pest spectrum, and attributes such as stability, ease of application, and additional effects such as chain infection, adds value to microbial insecticides. A set of trends can be observed in the microbial insecticide market: predominance of the fungi *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae*; prominence of bacteria due to strain diversity; viruses highlighted for their high specificity; a trend towards the use of wettable powder (WP) and suspension concentrate (SC) formulations; technological differentials oriented toward storage/stability among national companies and toward exclusive technologies among international companies; in addition to the increasing adoption of fungal combinations with complementary action as a strategy to enhance product efficacy.

Keywords: Microbial insecticides. Soybean. Technological innovations.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|--|----|
| Figura 1 - Sistema Agrofit | 24 |
| Figura 2 - Importância relativa das pragas | 26 |
| Figura 3 - Aba de geração do relatório CSV no Agrofit | 28 |
| Figura 4 - Objetivos específicos resumidos | 31 |
| Figura 5 - Comparação da distribuição do tipo de ingrediente ativo no Brasil e disponível para a cultura da soja | 33 |
| Figura 6 - Comparativo dos registros com fungos como ingrediente ativos no Brasil | 35 |
| Figura 7 - Comparativo dos registros com bactérias como ingrediente ativo no Brasil | 39 |
| Figura 8 - Registros com isolados específicos de <i>Bacillus thuringiensis</i> como ingrediente ativo | 40 |
| Figura 9 - Comparativo dos registros com vírus como ingrediente ativo no Brasil | 43 |
| Figura 10 - Distribuição dos Tipos de Formulação de inseticidas microbiológicos | 45 |
| Figura 11 - Proporção de ingredientes ativos com especificação de referência | 48 |
| Figura 12 - Distribuição dos Inseticidas Microbiológicos com Multifuncionalidade | 49 |
| Figura 13 - Comparativo de diferenciais tecnológicos entre empresas entrevistadas | 51 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1 - Comparativo de inseticidas microbiológicos com uso aprovado na agricultura | 47 |
| Tabela 2 - Comparativo de produtos com <i>Beauveria bassiana</i> IBCB 66 como ingrediente | 57 |
| Tabela 3 - Comparativo de produtos com <i>Beauveria bassiana</i> IBCB 66 + <i>Metarhizium anisopliae</i> IBCB 425 como ingrediente ativo | 59 |
| Tabela 4 - Comparativo de pragas-alvo <i>Beauveria bassiana</i> IBCB 66 e <i>Metarhizium anisopliae</i> IBCB 425 | 60 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- AGROFIT – Sistema de Agrotóxicos Fitossanitários (plataforma do MAPA)
- BPA – Boas Práticas Agrícolas
- BT – *Bacillus thuringiensis*
- CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento
- EC – *Emulsifiable Concentrate* (Concentrado Emulsionável)
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
- ESALQ – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"
- FAO – *Food and Agriculture Organization of the United Nations*
- FBN – Fixação Biológica de Nitrogênio
- GL – Gel Líquido
- GR – Granule (Grânulo)
- IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
- IFOAM – *International Federation of Organic Agriculture Movements*
- MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
- MIP – Manejo Integrado de Pragas
- OECD - *Organisation For Economic Co-operation And Development* (Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico)
- OD – *Oil Dispersion* (Dispersão Oleosa)
- SC – *Suspension Concentrate* (Concentrado de Suspensão)
- SE – *Suspo-Emulsion* (Suspensão + Emulsão)
- SL – *Soluble Liquid* (Líquido Solúvel)
- UNESP – Universidade Estadual Paulista
- USDA – *United States Department of Agriculture*
- USP – Universidade de São Paulo
- WG – *Water Dispersible Granules* (Grânulos Dispersíveis em Água)
- WP – *Wettable Powder* (Pó Molhável)

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| 1. INTRODUÇÃO | 11 |
| 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 15 |
| 2.1. Agronegócio e a Soja | 15 |
| 2.2. Bioinsumos e os Inseticidas Microbiológicos | 18 |
| 2.3. Inovações e Tecnologias em Bioinsumos | 22 |
| 3. MÉTODOS E TÉCNICAS DE PESQUISA | 24 |
| 3.1. Metodologia para Atender o Objetivo Específico 1 | 24 |
| 3.2. Metodologia para Atender o Objetivo Específico 2 | 29 |
| 3.3. Metodologia para Atender o Objetivo Específico 3 | 31 |
| 4. RESULTADOS | 33 |
| 4.1. Objetivo 1 - Mapear a participação dos inseticidas microbiológicos para controle de insetos-praga da soja | 33 |
| 4.1.1. <i>Análise Geral dos Inseticidas Microbiológicos</i> | 33 |
| 4.1.2. <i>Fungos</i> | 35 |
| 4.1.3. <i>Bactérias</i> | 38 |
| 4.1.4. <i>Vírus</i> | 41 |
| 4.1.5. <i>Tipos de Formulação</i> | 45 |
| 4.1.6. <i>Uso na Agricultura Orgânica</i> | 47 |
| 4.1.7. <i>Inseticidas Multifuncionais</i> | 50 |
| 4.2. Objetivo 2 - Descrever inseticidas microbiológicos registrados no Brasil para alvos que afetam a cultura da soja | 51 |
| 4.2.1. <i>Facilidade de Armazenamento e Estabilidade</i> | 51 |
| 4.2.2. <i>Espectro de Ação e Especificidade</i> | 52 |
| 4.2.3. <i>Sinergia e Compatibilidade</i> | 52 |
| 4.2.4. <i>Variedade de Formulações</i> | 52 |
| 4.2.5. <i>Diferenciais Tecnológicos e Mecanismos de Ação</i> | 53 |
| 4.2.6. <i>Resíduos e Efeito Residual</i> | 53 |
| 4.2.7. <i>Avanços industriais na produção de inseticidas microbiológicos</i> | 54 |
| 4.3. Objetivo 3 – Investigar tecnologias aplicadas aos inseticidas microbiológicos disponíveis para a cultura da soja no mercado brasileiro | 57 |
| 4.3.1. <i>Beauveria bassiana IBCB 66</i> | 57 |
| 4.3.2. <i>Beauveria bassiana IBCB 66 + Metarhizium anisopliae IBCB 425</i> | 60 |
| 4.3.3. <i>Spodoptera Frugiperda Nucleopolyhedrovirus (Sfmnopv)</i> | 63 |
| 5. DISCUSSÕES | 64 |
| 5.1. Objetivo 1 - Inseticidas Microbiológicos Disponíveis no Brasil e para a Cultura da Soja | 64 |
| 5.2. Objetivo 2 - Diferenciais Tecnológicos Inovadores | 69 |
| 5.3. Objetivo 3 - Comparação dos Produtos com Mesma Composição de Ingredientes Ativos | 77 |
| 6. CONCLUSÕES | 79 |

| | |
|---|-----------|
| REFERÊNCIAS | 82 |
| APÊNDICE A — CAPA DO FORMULÁRIO ONLINE | 97 |
| APÊNDICE B — FORMULÁRIO ONLINE | 98 |

1. INTRODUÇÃO

Entre 1980 e 2021, a produção de grãos no Brasil registrou um impressionante crescimento de quase 400%, consolidando o país como um dos maiores fornecedores globais de alimentos e insumos agrícolas (Gasques et al., 2022). Nesse contexto, a soja se destaca como a principal commodity do agronegócio brasileiro, alcançando sucessivos recordes de safra ao longo dos anos (Borlachenco; Gonçalves, 2017).

A produção agrícola no Brasil, embora economicamente vantajosa, enfrenta desafios significativos relacionados ao uso de produtos químicos. Entre esses desafios, destacam-se a intoxicação de trabalhadores rurais e a contaminação de recursos hídricos e de alimentos, que comprometem a segurança alimentar e ambiental (Pereira, 2023). Os pesticidas químicos, agrotóxicos ou agroquímicos, são produtos usados para modificar a flora ou fauna e protegê-las de seres vivos que possam causar danos tendo sido amplamente utilizados na agricultura com a finalidade de controlar pragas (Ribeiro et al., 2022; BRASIL, 2023). Com isso, a redução do uso desses agroquímicos tornou-se um objetivo compartilhado por vários países devido aos impactos negativos desses produtos no meio ambiente e na saúde humana (Jacquet et al., 2022). Embora haja um discurso crescente sobre a necessidade de reduzir esse uso, o Brasil aprovou cerca de 1.783 novos pesticidas químicos entre 2016 e 2022 (Ollinaho; Pedlowski; Kröger, 2023).

Nesse contexto de crescente preocupação com os impactos desses agroquímicos e da contínua expansão de seu uso no Brasil, os bioinsumos emergem como uma alternativa promissora aos produtos químicos tradicionais na agricultura (Gallo et al., 2002). Esses ingredientes ativos têm demonstrado eficácia no controle de pragas e doenças sem os efeitos adversos associados aos agroquímicos (Oliveira-Filho, 2008). Bioinsumos referem-se a todos os produtos, processos ou tecnologias de origem biológica (vegetal, animal ou microbiana) destinados ao uso na produção, no armazenamento e no beneficiamento de produtos agropecuários (Florencio et al., 2022). Entre suas principais categorias destacam-se os biofertilizantes, os bioestimulantes, os inoculantes microbianos e os agentes de controle biológico, que são organismos aplicados para suprimir pragas e doenças. Dentro dos agentes de controle biológicos, incluem-se os inseticidas microbiológicos e os macrobiológicos (Rocha et al., 2024). O presente estudo tem como foco os inseticidas microbiológicos, considerando sua importância estratégica no manejo de pragas agrícolas.

A recente Lei nº 15.070, de 23 de dezembro de 2024, reforça a relevância e a atualidade do tema, estabelecendo diretrizes abrangentes para sua produção, registro, uso, fiscalização e incentivo (BRASIL, 2024).

Os bioinseticidas oferecem vantagens como a não contaminação do solo e do lençol freático, a ausência de resíduos prejudiciais e a manutenção do equilíbrio ambiental (Loureiro et al., 2024). O controle biológico, utilizando microrganismos e macroorganismos encontrados no ambiente natural, se apresenta como uma estratégia interessante e sustentável. Esses micro-organismos selecionados proporcionam uma alternativa eficiente e ecologicamente correta ao uso de produtos químicos convencionais (Oliveira-Filho, 2008).

No Brasil, é notável o aumento do registro de inseticidas microbiológicos voltados para a agricultura, com mais de 600 registros contabilizados até os dias atuais (Sistema de Agrotóxicos Fitossanitário - AGROFIT, 2024). Esses dados demonstram a notoriedade que esses produtos estão tendo ultimamente, refletindo uma crescente tendência de adoção de alternativas mais sustentáveis e menos impactantes ao meio ambiente no manejo de pragas agrícolas.

Vale ressaltar que, BRASIL (2023) define:

produto microbiológico: os microrganismos vivos ou inativados, incluindo vírus, bem como aqueles resultantes de técnicas que impliquem em modificação do material hereditário, que se destinam a prevenir, destruir, repelir ou mitigar qualquer praga ou a ser utilizado como regulador, estimulador, desfolhante ou dessecante de plantas.

Dessa forma, pode-se inferir que inseticidas microbiológicos são produtos especificamente desenvolvidos para o controle de insetos-praga, tendo como ingrediente ativo agentes microbiológicos de controle. A introdução de bioinsumos não deve ser vista como uma solução definitiva e imediata, mas como um componente importante na evolução de práticas agrícolas mais sustentáveis e sistêmicas (Almeida et al., 2022).

Neste estudo, o termo "inseticida microbiológico" será utilizado de maneira predominante para referir-se aos produtos biológicos destinados ao controle de pragas na agricultura. Embora termos como "bioinseticidas microbiológicos", "biopraguicidas microbiológicos" e "biopesticidas microbiológicos" também sejam amplamente empregados na literatura científica, optou-se por "inseticida microbiológico" por ser o termo oficialmente adotado pelo Ministério da Agricultura,

Pecuária e Abastecimento (MAPA) especialmente nos processos de registros de uso de produtos para a agricultura brasileira.

De acordo com a Companhia Nacional de Abastecimento (Conab), os estados com maior produção de soja na safra 2024/2025, em mil toneladas, são Mato Grosso, com 46.164,4 mil t, consolidando-se como o maior produtor nacional, seguido por Paraná (20.684,3 mil t), Rio Grande do Sul (20.340,1 mil t), Goiás (18.813,0 mil t) e Mato Grosso do Sul (14.763,6 mil t). Segundo dados do IBAMA (2022), os inseticidas acefato, clorpirifós e malationa figuram entre os mais utilizados no cultivo da soja no Brasil, ocupando, respectivamente, as primeiras posições em volume comercializado. O uso desses pesticidas está diretamente associado a danos a organismos terrestres e aquáticos (Bueno; Cunha, 2020; Disner et al., 2020).

Identificar os inseticidas microbiológicos registrados para pragas que acometem a cultura da soja é crucial para o manejo eficaz de pragas agrícolas. A escolha adequada desses produtos biológicos possibilita a redução ou eliminação de insumos agroquímicos, promovendo a nutrição das plantas e o controle de pragas de forma integrada, o que pode também refletir em uma diminuição dos custos com pesticidas químicos (Altieri; Nicholls, 2005, p. 29).

Além disso, é fundamental conhecer as inovações atuais em inseticidas microbiológicos para entender a evolução do mercado e suas potenciais influências na sojicultura. Esses avanços dependem de um ecossistema de inovação robusto, composto por diversas interações entre empresas, institutos de pesquisa, agricultores e órgãos governamentais, que colaboram para a criação e adoção de novas tecnologias no campo (Moore, 1993, p. 76; Eitzkowitz e Leydesdorff, 2000). Acompanhar essas inovações proporciona dados sobre as tendências emergentes no setor de inseticidas microbiológicos. Identificar esses avanços não só melhora a eficiência do manejo de pragas, mas também ajuda a direcionar pesquisas na área.

A utilização de inseticidas altamente eficazes ainda apresenta uma lacuna significativa no campo do controle de pragas, conforme observado por Da-Silva et al. (2024). Essa limitação tem impactos diretos na eficiência da produção agrícola e na sustentabilidade ambiental. Nesse contexto, as inovações biológicas surgem como uma solução eficiente e de baixo custo, como destacado por Hungria (2011). É imperativo o desenvolvimento de novos produtos e técnicas inovadoras de aplicação desses produtos, conforme apontam Pascutti, Silvestre e Ortiz (2024).

A identificação e a promoção de inseticidas microbiológicos adequados para a cultura da soja no Brasil podem beneficiar diretamente os produtores dos mais diversos locais, aumentando a eficiência e reduzindo custos com inseticidas químicos. Com a redução da dependência de inseticidas químicos e a promoção de práticas agrícolas mais sustentáveis, os produtores podem também alcançar uma produção mais rentável, tornando-os mais competitivos.

A disseminação de conhecimentos e tecnologias relacionados aos inseticidas microbiológicos pode levar a uma maior adoção dessas práticas entre os produtores. Segundo Liu et al. (2022), a principal razão pela qual os agricultores têm menos probabilidade de usar esses produtos é a falta de conhecimento sobre seu uso.

Com o intuito de identificar e descrever os inseticidas microbiológicos atualmente registrados no Brasil, tanto de forma geral quanto para a soja, esta pesquisa foi orientada pelo seguinte objetivo geral: Identificar as tendências emergentes no mercado de inseticidas microbiológicos, considerando tanto o panorama geral quanto para os produtos disponíveis para a cultura da soja no Brasil.

Assim, os **objetivos específicos** que contribuem para esclarecer o principal questionamento da pesquisa são:

1. Mapear a participação dos inseticidas microbiológicos para controle de insetos-praga da soja no contexto brasileiro de produtos formulados biológicos;
2. Descrever inseticidas microbiológicos registrados no Brasil para alvos que afetam a cultura da soja;
3. Investigar tecnologias aplicadas aos inseticidas microbiológicos disponíveis para a cultura da soja no mercado brasileiro.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão bibliográfica desta dissertação busca apresentar os principais conceitos e discussões relacionados ao agronegócio, à cultura da soja, ao desenvolvimento e uso de bioinsumos, com ênfase nos inseticidas microbiológicos, e às inovações tecnológicas associadas a esse mercado. Para isso, a seção está estruturada em três partes: inicialmente, aborda-se a relevância do agronegócio e da soja no Brasil e no mundo (2.1); em seguida, discutem-se os bioinsumos e, de forma

específica, os inseticidas microbiológicos e seus mecanismos de ação (2.2); por fim, apresentam-se as principais inovações e tecnologias no campo dos bioinsumos, ressaltando o papel estratégico dos inseticidas microbiológicos para uma agricultura mais sustentável (2.3).

2.1. Agronegócio e a Soja

Desde a metade do século XX, a agricultura passou a ser fortemente influenciada por fatores externos às fazendas, marcando uma transição significativa para o agronegócio. Este fenômeno reflete uma mudança de dependência exclusivamente das atividades agrícolas internas para uma integração com diversos setores econômicos, com impacto direto nas práticas agrícolas e na economia rural (Hamilton, 2016).

O conceito de agronegócio foi introduzido por Davis e Goldberg em 1957, quando definiram o termo como a totalidade da cadeia produtiva agrícola. Esta definição abrange desde a produção e distribuição de insumos agrícolas até as atividades de armazenamento, processamento e distribuição dos produtos agrícolas e seus derivados. Essa visão holística do agronegócio destaca a complexidade e a interdependência das diversas fases da produção agrícola (Davis; Goldberg, 1957).

Ao longo do século XX, grandes transformações ocorreram no cenário mundial da agropecuária, com a aplicação extensiva de tecnologias avançadas. Este período é caracterizado pela chamada Revolução Verde, que se destacou pelos avanços na mecanização agrícola e pelo emprego de inovações químicas e biológicas. Essas inovações transformaram profundamente as práticas agrícolas, aumentando a produtividade e a eficiência do setor (Barros, 2022; Albergoni; Pelaez, 2007).

A produção de soja é uma das atividades econômicas mais importantes nas últimas décadas, tanto no Brasil quanto no cenário mundial, devido ao desenvolvimento de um mercado internacional robusto e à demanda crescente por proteína vegetal (Hirakuri; Lazzarotto, 2014). No Brasil, a soja é um dos principais produtos do agronegócio, fundamental para a economia (Vieira Filho, 2024; Hirakuri; Lazzarotto, 2014; Pinazza, 2008).

A introdução da soja no Brasil ocorreu na década de 1950, com o cultivo inicial no estado do Rio Grande do Sul. Durante a Revolução Verde, na década de 1970, a cultura desempenhou um papel fundamental na expansão das áreas agrícolas. Esse

movimento foi intensificado a partir de 1975, com a produção avançando para o Centro-Oeste e, posteriormente, para as regiões Norte e Nordeste, consolidando-se como uma das principais culturas do agronegócio nacional (Sieben; Machado, 2006; Freitas, 2011).

O estado do Mato Grosso mantém há anos a liderança na produção nacional de soja e consolidou seu domínio a partir da década de 1990, quando a expansão das lavouras no cerrado e nas áreas de transição com a Amazônia fortaleceu sua expressiva contribuição ao volume total produzido no país. Esse crescimento permitiu ao Mato Grosso superar os estados do Rio Grande do Sul e do Paraná, deslocando a liderança da produção da região Sul e transferindo esse título para a região Centro-Oeste (Fernandez, 2006)

De acordo com a CONAB (2024), a área plantada com soja no Brasil aumentou em 3,8% em relação a 2023, totalizando 45,7 milhões de hectares. Há uma correlação positiva entre a produção de soja no Brasil e o consumo de pesticidas químicos, destacando que o aumento da produção do grão está associado a um maior uso desses produtos (Belo et al., 2012). Na safra 2022/2023, a soja destacou-se como a principal consumidora de agrotóxicos no Brasil, respondendo por mais de 63% do total aplicado, seguida pelo milho (13%) e pela cana-de-açúcar (5%), evidenciando a relevância da sojicultura no uso de insumos químicos (Pinho et al., 2024).

Segundo Cosmann e Drunkler (2012), o glifosato é o produto químico mais usado no manejo da soja, sendo amplamente utilizado para o controle de ervas daninhas. No grupo dos inseticidas, que representam 24% dos agrotóxicos vendidos no Brasil, os principais utilizados na cultura da soja pertencem às classes dos organofosforados, piretroides e carbamatos, destacando-se por sua eficácia no manejo de pragas, embora apresentem níveis variados de toxicidade e impacto ambiental (Faria, Fassa e Facchini, 2007; Cosmann e Drunkler, 2012). Vale ressaltar que entre os agrotóxicos mais vendidos no Brasil em 2022, destacam-se os inseticidas: acefato (6º, 32.897,56 t), clorpirifós (8º, 17.679,34 t) e malationa (10º, 13.682,61 t), todos organofosforados, além do metomil (9º, 16.554,03 t), do grupo dos metilcarbamatos (IBAMA, 2022).

Este aumento do uso intensivo de agrotóxicos químicos gera riscos ambientais e ocupacionais, afetando trabalhadores e moradores das zonas rurais e urbanas (Santos, 2014). Esses riscos são evidenciados pela presença de resíduos químicos em indicadores biológicos, como nas amostras de urina, que apresentaram 88% de

positividade para glifosato e 80% para piretroides, demonstrando o impacto da exposição a esses compostos (Belo et al., 2012)

Além dos impactos à saúde humana, muitos agrotóxicos utilizados no Brasil são proibidos em outros países, contribuindo para desequilíbrios ambientais e poluição de mananciais de água (Santos, 2014; Ruths, Staduto e Colla, 2024). A exposição contínua a esses produtos químicos também prejudica a biodiversidade, podendo inclusive reduzir a população de polinizadores essenciais para a agricultura (Severino, Reis e Ortiz, 2024).

Para uma produção sustentável de soja, é essencial adotar práticas agrícolas que preservem os ecossistemas, reduzam o uso de agrotóxicos e promovam a biodiversidade nas áreas de cultivo (Severino, Reis e Ortiz, 2024). Existem diversas formas de promover a sustentabilidade na soja, incluindo sistemas de manejo do solo que melhoram a saúde do solo e a viabilidade econômica a longo prazo (Franchini et al., 2008). A utilização de inseticidas microbiológicos contribui para esta redução dos impactos ambientais e para a preservação da biodiversidade.

Nesse contexto, a bioinoculação é uma prática bastante difundida na cultura da soja, sendo amplamente reconhecida como uma alternativa sustentável ao uso de fertilizantes nitrogenados (Florencio et al., 2022). Essa técnica tem impacto significativo na redução de custos para os produtores e na preservação ambiental, promovendo uma agricultura mais sustentável (Vieira Neto et al., 2008; Dall'Agnol et al., 2016). Do ponto de vista econômico e ecológico, a fixação biológica do nitrogênio (FBN) se destaca como o processo mais relevante no manejo da soja, dispensando o uso de fertilizantes nitrogenados, uma vez que a inoculação realizada a cada cultivo atende às necessidades de nitrogênio da planta, contribuindo para a eficiência produtiva e a sustentabilidade do sistema agrícola (De Campos, 1999). Estima-se que aproximadamente 78% da área cultivada com soja no Brasil já adota o uso de inoculantes microbianos voltados à FBN, o que evidencia a ampla aceitação dessa tecnologia entre os produtores e sua importância estratégica para a agricultura nacional (Santos, Nogueira, Hungria, 2019).

Além dos bioinoculantes, outros bioinsumos, como biofertilizantes e agentes de controle biológico, desempenham papel relevante na agricultura sustentável, oferecendo alternativas ao uso intensivo de insumos químicos. A subseção 2 abordará especificamente o uso dos bioinsumos e os inseticidas microbiológicos.

2.2. Bioinsumos e os Inseticidas Microbiológicos

A Entre os tipos de bioinsumos destacam-se: biofertilizantes, que são microrganismos que promovem a nutrição e o crescimento das plantas por mecanismos diretos; inoculantes, que beneficiam a nutrição e o crescimento das plantas; e agentes de controle biológico, que são microrganismos ou macroorganismos que exercem ações de antagonismo contra patógenos e parasitas (Pinilla; Sarmiento, 2010). O fortalecimento do uso desses insumos biológicos está diretamente relacionado às transformações no modelo agrícola, sobretudo diante das consequências adversas da Revolução Verde, que impulsionaram o surgimento de movimentos em várias partes do mundo criticando esse padrão de desenvolvimento. Esses movimentos destacavam a necessidade de práticas agrícolas mais sustentáveis (Vidal; Dias, 2023).

Nesse contexto, Rachel Carson (1962, p. 13) já evidenciava que o uso contínuo de inseticidas químicos intensifica um ciclo de resistência evolutiva nas populações de pragas. Esse processo, fundamentado na seleção natural, resulta no surgimento de populações adaptadas, conhecidas como "super raças", que se tornam imunes aos produtos utilizados, forçando o desenvolvimento de compostos ainda mais tóxicos. Sparks et al. (2013) reforçam que essa resistência é um problema persistente, com pragas como a mosca branca (*Bemisia tabaci*) desenvolvendo resistência a inseticidas químicos amplamente utilizados, o que frequentemente demanda o uso de novos produtos, muitas vezes ineficazes devido à rápida adaptação das populações de insetos-praga.

Diante desse cenário, a agricultura sustentável vem em busca manejar os recursos naturais de forma eficiente, promovendo processos biológicos e reduzindo a dependência de insumos químicos (Bettiol; Ghini, 2000). Também em resposta a essas críticas, a agroecologia surgiu como uma disciplina científica dedicada a examinar, diagnosticar e propor alternativas de manejo de agroecossistemas com baixo uso de insumos, fornecendo diretrizes ecológicas para o desenvolvimento tecnológico (Altieri, 1989). Essa área de estudo enfatiza a conservação dos recursos naturais e a transição para práticas agrícolas sustentáveis (Fonseca, 2009).

No Brasil, a partir da década de 1970, diversas organizações de produtores e consumidores, junto com técnicos, começaram a desenvolver práticas agrícolas baseadas nos princípios da agricultura orgânica (Fonseca, 2009; Embrapa, 2021). A

agricultura orgânica é um sistema de produção que visa manter a saúde dos solos, dos ecossistemas e das pessoas, utilizando processos ecológicos, biodiversidade e ciclos naturais adaptados às condições locais (IFOAM, 2008).

Em 1987, a Embrapa desenvolveu o primeiro produto comercial brasileiro utilizando o fungo *Trichoderma viride* como ingrediente ativo, representando um marco pioneiro no uso de agentes microbiológicos no controle de pragas e doenças agrícolas (Bettiol; Morandi, 2016). Esse avanço integrou-se a um movimento mais amplo de valorização do controle biológico, que passou a desempenhar um papel central no manejo fitossanitário, ao empregar fungos e bactérias capazes de restabelecer o equilíbrio ecológico nos sistemas produtivos (Bettiol et al., 2009). Mesmo na agricultura convencional, observa-se uma crescente busca por alternativas mais sustentáveis, como a adoção das Boas Práticas Agrícolas (BPA), que surgem como uma tentativa de conciliar o modelo produtivista da Revolução Verde com as novas exigências socioambientais. Embora não rompam totalmente com a dependência de insumos químicos, essas práticas promovem uma maior racionalização no uso de defensivos, sendo impulsionadas por preocupações com a segurança alimentar, a rastreabilidade e a sustentabilidade (Medaets; Fornazier; Thomé, 2020).

Recentemente, o programa nacional de bioinsumos, que tem por objetivo ampliar e fortalecer a utilização de bioinsumos para a promoção do desenvolvimento sustentável da agropecuária brasileira, definiu bioinsumos como qualquer produto, processo ou tecnologia de origem vegetal, animal ou microbiana, destinado à produção, armazenamento e beneficiamento de produtos agropecuários (BRASIL, 2020).

Baker et al. (1983) definiram o controle biológico como a utilização de organismos vivos, como predadores, parasitas, patógenos ou competidores, para reduzir populações de pragas a níveis menos prejudiciais. Esse conceito de controle biológico é fundamental para entender o papel dos inseticidas microbiológicos na agricultura sustentável. A agricultura sustentável, entendida como um conceito dinâmico e em construção, busca equilibrar as dimensões ambiental, econômica e social da atividade agrícola, conciliando a produção com a preservação dos recursos naturais e a justiça social em um processo gradual e adaptado às realidades locais (Costa, 2010). Nesse contexto, o Manejo Integrado de Pragas (MIP) constitui um sistema de suporte à decisão voltado à seleção e ao uso de diferentes táticas de controle de pragas, aplicadas de forma isolada ou coordenada dentro de uma

estratégia de manejo. Sua base está em análises de custo-benefício que consideram não apenas os interesses dos produtores, mas também os impactos sobre a sociedade e o meio ambiente (Kogan, 1998). O objetivo central do MIP é promover a integração equilibrada de métodos de controle, de modo a assegurar eficiência, sustentabilidade e compatibilidade entre as práticas adotadas (Kogan; Bajwa, 1999). Quando bem planejado e executado, o MIP contribui para a manutenção da produtividade agrícola e para a sustentabilidade dos sistemas de produção (Bueno et al., 2011).

Assim, ao passo que o controle biológico e o MIP se inserem no escopo da agricultura sustentável, é importante distinguir que nem todas as abordagens de produção agrícola seguem os mesmos princípios. Embora relacionadas, a agricultura sustentável e a agricultura orgânica são conceitos distintos: enquanto a agricultura sustentável visa um equilíbrio amplo e adaptável das práticas agrícolas, a agricultura orgânica constitui uma abordagem normativa e vinculada a movimentos sociais, que propõe transformações mais profundas no sistema produtivo (Medaets; Fornazier; Thomé, 2020).

Os inseticidas biológicos são agentes introduzidos no ambiente para controlar populações ou atividades biológicas de organismos nocivos (BRASIL, 2020). Eles são divididos em dois grupos principais: macrobiológicos, que incluem insetos, ácaros e nematoides, e microbiológicos, que englobam vírus, bactérias, protozoários e fungos (Finkler, 2011).

Os mecanismos de ação dos inseticidas microbiológicos variam de acordo com o tipo de ingrediente ativo. A atividade entomopatogênica da bactéria *Bacillus thuringiensis*, por exemplo, é devida à presença de cristais (proteínas Cry) que, quando ingeridos por lepidópteros, causam efeitos danosos (Lima, 2010; Bueno et al., 2012). Além disso, os fungos infectam os insetos-praga através da penetração da cutícula, seguida pela proliferação do micélio, resultando na morte do inseto-praga devido à destruição dos tecidos internos e à produção de toxinas (Loureiro et al., 2020). Já os vírus patogênicos a insetos-praga causam infecção sistêmica, que se inicia quando as partículas virais são ingeridas pelo inseto hospedeiro, levando à infecção de células epiteliais do intestino médio e subsequente disseminação para outros tecidos, resultando na morte do inseto-praga (Loureiro et al., 2020).

Os inseticidas microbiológicos não prejudicam a saúde humana, animal e vegetal (Freire et al., 2024), esses produtos à base de microrganismos possuem

melhor aceitação entre os agricultores devido à semelhança com os químicos no modo de aplicação e ao tempo de armazenamento, que permite maior flexibilidade no uso (Parra, 2019), não há relatos dessa mesma semelhança em produtos à base de macroorganismos.. Microrganismos eficientes presentes no solo, que ocorrem naturalmente, beneficiam as plantas e o solo, melhorando sua qualidade estrutural e a saúde das plantas, o que os torna uma ferramenta indispensável para potencializar a ciclagem de nutrientes (García, 2021). Adicionalmente, os inseticidas microbiológicos destacam-se por serem menos nocivos à saúde humana e ao meio ambiente quando comparados aos defensivos químicos, uma vez que sua ação é direcionada especificamente aos insetos-praga (Pascutti, Silvestre e Ortiz, 2024). No entanto, os inseticidas microbiológicos também apresentam algumas desvantagens, como a variabilidade na eficácia devido a fatores ambientais e a necessidade de condições específicas para a sobrevivência e multiplicação dos agentes biológicos.

A aplicação de inseticidas microbiológicos na agricultura brasileira tem se mostrado cada vez mais relevante, com um crescimento significativo no registro de produtos microbiológicos. Em 2020, 60,4% dos produtos biológicos registrados eram microbiológicos (BRASIL, 2020), e mais de 53% dos microbiológicos registrados são inseticidas (AGROFIT, 2025). Esse aumento reflete a tendência global de buscar alternativas mais sustentáveis e menos prejudiciais ao meio ambiente para o controle de pragas agrícolas.

De acordo com Pretty (2008) e Meyer et al. (2022), muitos agricultores estão acostumados a sistemas dependentes de químicos. Nesse contexto, Francis et al. (2003) destacam que a adoção de práticas sustentáveis requer o engajamento ativo dos produtores, muitas vezes necessitando de educação e suporte técnico para a adoção bem-sucedida dessas novas práticas. Altieri e Nicholls (2005, p.272) complementam essa perspectiva ao destacar que a implementação de práticas sustentáveis exige mudanças significativas em políticas públicas para superar as barreiras econômicas e institucionais que favorecem abordagens agroindustriais convencionais, frequentemente em detrimento de alternativas sustentáveis.

De acordo com Soares (2022), o Brasil possui uma oportunidade única de impulsionar a agricultura através de aplicações sustentáveis que aproveitem sua biodiversidade e recursos naturais, sendo a bioeconomia o principal motor para fomentar esse novo modelo agrícola.

2.3. Inovações e Tecnologias em Bioinsumos

Os bioinsumos representam uma importante inovação no campo da agricultura. Segundo Bettiol (2011), esses insumos têm ganhado destaque no agronegócio brasileiro por oferecerem alternativas eficazes aos agroquímicos, contribuindo para a redução dos impactos ambientais e para o atendimento às novas demandas por uma agricultura mais sustentável e menos dependente de insumos sintéticos. A inovação pode ser definida como um produto ou processo de produção novo ou melhorado, que é comercializado ou utilizado com sucesso (OECD, 2005). Essa definição sublinha a importância de não apenas criar novas tecnologias, mas também garantir sua adoção e eficácia no mercado (Pavitt, 1984). Segundo Schumpeter (1982), a inovação tecnológica é capaz de desestabilizar o sistema econômico ao introduzir algo novo, modificando os padrões de produção e conferindo às empresas uma vantagem competitiva sobre as outras.

Nesse contexto, os bioinsumos são tecnologias eficientes e inovadoras que podem ser aplicadas em todos os sistemas produtivos. Essas tecnologias são fundamentais para a transição agroecológica e para a promoção de práticas agrícolas mais sustentáveis (Vidal; Dias, 2023). Instituições como a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), o Instituto Biológico de São Paulo e a Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ/USP) desempenham um papel crucial na inovação e na transferência de tecnologias para o setor privado, permitindo a comercialização de produtos eficazes e seguros (Batista Filho, 1988; Gonçalves, 1996; Medina; Rotondo; Rodríguez, 2024).

A inovação de bioinsumos é diversa e abrangente. A adequação de formulações de inseticidas microbiológicos em pó molhável, por exemplo, pode oferecer melhor compatibilidade com inimigos naturais e polinizadores, apoiando os ecossistemas agrícolas (Faita et al., 2023). A utilização de culturas geneticamente modificadas, combinada com métodos de controle biológico, tem demonstrado levar a uma produtividade agrícola aprimorada (Pinheiro & Valicente, 2021). Essas inovações dialogam diretamente com os princípios do Manejo Integrado de Pragas (MIP), que, segundo a Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO), é definida como uma abordagem ecológica que combina diferentes estratégias e

práticas de manejo para cultivar plantas saudáveis, minimizando o uso de pesticidas e promovendo o equilíbrio dos agroecossistemas.

Além disso, é fundamental estudar a compatibilidade entre métodos de controle de pragas químicos e biológicos para que se consiga otimizar o MIP (Loureiro et al., 2020). O desenvolvimento de inseticidas microbiológicos está em constante evolução, com diversos isolados de fungos entomopatogênicos sendo investigados para atender às demandas dos programas de manejo de pragas (Oliveira et al., 2023). Destaca-se o uso de *Bacillus thuringiensis*, uma bactéria que produz um cristal proteico responsável por sua atividade inseticida contra diversas ordens de insetos-praga (Bulla et al., 1977; Schnepf et al., 1998). Também se destacam os fungos entomopatogênicos *Metarhizium anisopliae* e *Beauveria bassiana*, reconhecidos pela capacidade de infectar e matar diferentes espécies de insetos-praga (Zimmermann, 1993; Moore, 1993).

Nesse cenário de constante evolução, o diferencial tecnológico pode ser compreendido como a capacidade de uma organização ou produto de se destacar no mercado por meio da adoção, adaptação ou desenvolvimento de soluções tecnológicas que, mesmo não sendo inovações inéditas, são utilizadas de forma estratégica para criar valor adicional e gerar vantagem competitiva sustentável (Barney, 1991). No caso dos inseticidas microbiológicos, o diferencial tecnológico pode residir, por exemplo, na escolha de cepas com maior eficácia, em formulações que aumentam a vida útil dos microrganismos, em métodos de aplicação mais eficientes ou ainda em estratégias de integração com outras tecnologias sustentáveis. Dessa forma, inovação e diferencial tecnológico não apenas se complementam, mas também são elementos determinantes na consolidação dos inseticidas microbiológicos como alternativas viáveis e competitivas no mercado agrícola brasileiro.

Por fim, é importante observar que o desenvolvimento dessas tecnologias e inovações biológicas ainda enfrenta obstáculos sociais e legislativos. Assis e Silva (2023) destacam que os resultados alcançados ao longo dos anos indicam esforços dos órgãos reguladores para construir marcos legais capazes de acomodar o registro e uso dos bioinsumos para controle biológico, o que também impacta diretamente a capacidade de inovação e diferenciação tecnológica das empresas atuantes nesse setor.

3. MÉTODOS E TÉCNICAS DE PESQUISA

Esta pesquisa adotou uma abordagem exploratória-descritiva com o objetivo de identificar e descrever os inseticidas microbiológicos disponíveis no mercado brasileiro, bem como aqueles disponíveis para a cultura da soja e investigar os diferenciais tecnológicos presentes em inseticidas microbiológicos disponíveis para a cultura da soja no mercado brasileiro. Para alcançar esses objetivos, foram empregadas pesquisa documental e entrevistas semiestruturadas como as principais técnicas de coleta de dados.

3.1. Metodologia para Atender o Objetivo Específico 1

Para mapear a participação dos inseticidas microbiológicos para controle de insetos-praga da soja no contexto brasileiro de produtos formulados biológicos, adotou-se uma abordagem metodológica baseada exclusivamente em pesquisa documental, utilizando como fonte secundária o sistema Agrofit, base de dados oficial do Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA), que reúne os registros de agrotóxicos e afins no Brasil. A pesquisa documental é uma estratégia metodológica que, por meio do exame sistemático de documentos escritos, audiovisuais ou digitais, busca compreender fenômenos em seus contextos originais, sendo especialmente útil para analisar conteúdos ainda não investigados cientificamente, o que permite uma compreensão aprofundada e contextualizada dos dados disponíveis (Kripka; Scheller; Bonotto, 2015).

Os registros dos produtos formulados do Sistema AGROFIT e as bulas desses produtos foram as principais fontes de dados, considerando que os inseticidas microbiológicos não são registrados por cultura e sim por alvo no Brasil. Essa estratégia permitiu uma análise abrangente e detalhada dos produtos disponíveis.

O processo teve início com o acesso ao Sistema AGROFIT, uma plataforma oficial mantida pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), que disponibiliza informações sobre produtos biológicos e agroquímicos registrados para uso agrícola no Brasil. Utilizando o filtro “classe” encontrado na aba “Relatórios - Produtos Formulados”, foi selecionada a opção de inseticidas microbiológicos, mostrando todos os registros de inseticidas microbiológicos no país até o momento,

realizada em 14 de janeiro de 2025, resultando em um total inicial de 344 produtos. Na Figura 1 é demonstrado esse passo.

Com os dados extraídos, foi elaborada uma tabela no Excel para organizar e sistematizar as informações coletadas, permitindo uma análise mais clara e estruturada dos produtos avaliados. A tabela foi dividida em categorias específicas para facilitar a comparação e o entendimento das características de cada item.

A primeira categoria, Marca comercial, identifica o nome sob o qual o produto é comercializado, auxiliando na sua distinção no mercado. Em seguida, a coluna Ingrediente ativo detalha o componente principal responsável pela ação do produto, seja ele um composto químico ou um agente biológico.

A categoria Pragas-alvo especifica os organismos que o produto é registrado para controlar, enquanto a coluna Autorização de uso na agricultura orgânica indica se o produto está aprovado para esse tipo de cultivo, seguindo normas específicas de regulamentação.

O Tipo de formulação descreve a apresentação física do produto, o que pode influenciar na forma de aplicação. Já o Tipo do ingrediente ativo classifica se o agente principal é derivado de um fungo, bactéria ou vírus, informação relevante para entender seu mecanismo de ação.

Por fim, a coluna Anotações de multifuncionalidade registra se o produto possui ações secundárias, como atividade acaricida e fungicida, além de sua função principal de registro, o que pode ampliar seu espectro de utilidade no manejo integrado de pragas.

Essa estruturação facilitou a visualização dos dados e as etapas subsequentes de análise. Durante a construção manual da tabela, foi realizado um processo de filtragem para corrigir classificações incorretas. Tendo em vista que ao analisar os registros dos produtos, identificou-se que alguns estavam registrados como inseticidas microbiológicos no AGROFIT, mas não pertenciam a essa categoria segundo suas bulas. Foram excluídos produtos classificados como inseticidas biológicos baseados em macroorganismos, apenas acaricidas, apenas fungicidas ou com outras funções que não se enquadravam no grupo desejado, mas estavam constando como inseticida microbiológico no filtro do Sistema de agrotóxicos fitossanitários. Após essa filtragem, restaram 328 registros válidos, que foram utilizados para a “análise geral”.

Foi a comparação entre os inseticidas microbiológicos em geral e um subgrupo denominado “inseticidas microbiológicos disponíveis para a soja”. Para definir esse subgrupo, foram consultadas duas obras da EMBRAPA: Manual de Pragas da Soja (2014) e Pragas da soja no Brasil e seu manejo integrado (2000). Desta última, foram selecionadas apenas as pragas primárias e secundárias, excluindo as esporádicas, totalizando 51 insetos-praga que podem afetar a soja. Um produto foi classificado como “inseticida microbiológico disponível para a soja” se estivesse registrado para o controle de um desses insetos-praga. Dos 328 produtos analisados, 230 atenderam a esse critério. O quadro 1 mostra a lista extraída dos dois livros citados anteriormente, onde é possível ver o nome comum, nome científico e os níveis de importância de diferentes pragas da soja.

QUADRO 1 - Insetos-praga da cultura da soja

| Nome comum | Nome científico / grupo | Nível de importância |
|---------------------------|---------------------------------------|------------------------|
| Ácaro-branco | <i>Polyphagotarsonemus latus</i> | Primária |
| Ácaro-rajado | <i>Tetranychus urticae</i> | Primária |
| Larva-alfinete | <i>Diabrotica speciosa</i> | Primária / Secundária* |
| Broca-das-axilas | <i>Epinotia aporema</i> | Primária / Secundária* |
| Cascudinho-verde | <i>Megascelis spp.</i> | Primária / Secundária* |
| Cascudinho-verde | <i>Maecolaspis spp.</i> | Primária / Secundária* |
| Formiga-cortadeira | <i>Acromyrmex spp.</i> | Primária |
| Formiga-cortadeira | <i>Atta sexdens rubropilosa</i> | Primária |
| Gafanhoto | <i>Rhammatocerus schistocercoides</i> | Primária |
| Grilo-pardo | <i>Anurogryllus muticus</i> | Primária |
| Lagarta-cabeça-de-fósforo | <i>Urbanus proteus</i> | Primária |
| Lagarta-da-soja | <i>Anticarsia gemmatalis</i> | Primária |
| Lagarta-da-vagem | <i>Etiella zinckenella</i> | Primária / Secundária* |
| Lagarta-da-vagem | <i>Spodoptera eridania</i> | Primária |
| Lagarta-da-vagem | <i>Spodoptera cosmioides</i> | Primária |
| Lagarta-enroladeira | <i>Omiodes indicatus</i> | Primária / Secundária* |
| Lagarta-medideira | <i>Pseudoplusia includens</i> | Primária / Secundária* |

| | | |
|--------------------------|--------------------------------------|------------------------|
| Lagarta-medideira | <i>Rachiplusia nu</i> | Primária / Secundária* |
| Lagarta-medideira | <i>Trichoplusia ni</i> | Primária |
| Lagarta-militar | <i>Spodoptera frugiperda</i> | Primária |
| Mosca-branca | <i>Bemisia tabaci</i> raça B | Primária |
| Percevejo-acrosterno | <i>Acrosternum hilare</i> | Primária |
| Percevejo-barriga-verde | <i>Dichelops furcatus</i> | Primária / Secundária* |
| Percevejo-barriga-verde | <i>Dichelops melacanthus</i> | Primária |
| Percevejo-asa-preta | <i>Edessa meditabunda</i> | Primária / Secundária* |
| Percevejo-formigão | <i>Neomegalotomus parvus</i> | Primária |
| Percevejo-marrom | <i>Euschistus heros</i> | Primária |
| Percevejo-pequeno | <i>Piezodorus guildinii</i> | Primária |
| Percevejo-verde | <i>Nezara viridula</i> | Primária |
| Tamanduá-da-soja | <i>Sternechus subsignatus</i> | Primária |
| Tripes | <i>Frankliniella schultzei</i> | Primária |
| Tripes | <i>Caliothrips brasiliensis</i> | Primária |
| Vaquinha-da-batatinha | <i>Epicauta atomaria</i> | Primária |
| Vaquinha-preta-e-amarela | <i>Cerotoma arcuata tingomariana</i> | Primária |
| Cascudinho-da-soja | <i>Myochrous armatus</i> | Primária |
| Coró-da-soja | <i>Phyllophaga cuyabana</i> | Primária |
| Cupim-subterrâneo | <i>Procornitermes triacifer</i> | Primária |
| Lagarta-elasma | <i>Elasmopalpus lignosellus</i> | Primária |
| Lagarta-rosca | <i>Agrotis ipsilon</i> | Primária |
| Percevejo-castanho | <i>Atarsocoris brachiariae</i> | Primária |
| Percevejo-castanho | <i>Scaptocoris castanea</i> | Primária |
| Piolho-de-cobra | <i>Julus hesperus</i> | Primária |
| Torrãozinho | <i>Aracanthus mourei</i> | Primária / Secundária* |
| Chalcodermus | <i>Chalcodermus sp.</i> | Secundária |
| Bemisia | <i>Bemisia argentifolii</i> | Secundária |
| Tripes | <i>Frankliniella spp.</i> | Secundária |
| Thyanta | <i>Thyanta perditor</i> | Secundária |
| Acrosternum | <i>Acrosternum sp.</i> | Secundária |

| | | |
|---------------------|------------------|------------|
| Piolhos-de-cobra | <i>Diplopoda</i> | Secundária |
| Caracóis e lesmas | <i>Mollusca</i> | Secundária |
| Cochonilhas-da-raiz | <i>Coccoidea</i> | Secundária |

Fonte: Adaptado de Pragas da soja no Brasil e seu manejo integrado e Manual de Pragas da Soja (EMBRAPA, 2000; EMBRAPA, 2014)

A partir da base de dados, foram criados dois grupos para análise: o primeiro, de análise geral, composto pelos 328 inseticidas microbiológicos registrados; e o segundo, um subgrupo focado nos inseticidas microbiológicos disponíveis para a soja, englobando 230 anteriormente citados. Para cada grupo, foram realizadas descrições detalhadas considerando os seguintes aspectos: os tipos de organismos, com a distribuição entre fungos, bactérias e vírus; a distribuição dentro dos grandes grupos, detalhando os organismos encontrados (fungos, bactérias e vírus) e identificando as cepas específicas; as formulações, com análise das formulações predominantes no mercado de inseticidas microbiológicos; o uso na agricultura orgânica, avaliando a proporção de produtos autorizados para sistemas orgânicos e sua distribuição entre os tipos de organismos; e a multifuncionalidade, examinando a capacidade dos produtos de atuar também como acaricidas, bactericidas, fungicidas ou nematicidas, conforme indicado nas bulas. Para a contabilização da distribuição dos organismos, cada ingrediente ativo foi considerado individualmente, ou seja, produtos com mais de um microrganismo foram contabilizados múltiplas vezes, uma para cada organismo presente. Por exemplo, um produto contendo *Bacillus thuringiensis* e *Metarhizium* foi computado uma vez como bactéria e uma vez como fungo.

Todas as descrições e análises foram baseadas na planilha Excel criada anteriormente, garantindo consistência e precisão. Ao final de alguns tópicos, foi feita uma comparação lado a lado dos dados dos dois grupos, destacando semelhanças e diferenças entre os inseticidas microbiológicos em geral e aqueles disponíveis para a soja.

Essa abordagem metodológica permitiu identificar e descrever os inseticidas microbiológicos relevantes para a soja, oferecendo uma visão detalhada do mercado desses produtos no Brasil e atendendo ao objetivo específico 1 da pesquisa. O caminho metodológico está descrito no quadro 1.

Quadro 2 - Caminhos metodológicos para o levantamento e análise da base de dados do Agrofit

| Etapa | Procedimento adotado | Detalhes |
|---------------------------|--|---|
| 1. Acesso à base de dados | Sistema Agrofit (MAPA) | Consulta em "Produtos formulados" e seleção de filtro pela classe <i>Inseticida Microbiológico</i> . |
| 2. Coleta de dados | <i>Download</i> e Tabulação manual dos dados | Extração das informações de cada produto listado. |
| 3. Variáveis consideradas | Organização dos dados extraídos | Divisão em: Nome comercial, ingrediente ativo, organismo, tipo de formulação, permissão para uso orgânico, multifuncionalidade. |
| 4. Tratamento dos dados | Exclusão de registros não pertinentes | Foram excluídos os produtos que, embora registrados na classe de inseticidas microbiológicos dentro do Agrofit, se apresentavam nas bulas como fungicidas microbiológicos ou macrobiológicos. |
| 5. Análise | Estatística descritiva e categorização | Identificação e descrição dos inseticidas microbiológicos em geral e os disponíveis para a cultura da soja. |

Fonte: Autoria própria

3.2. Metodologia para Atender o Objetivo Específico 2

Para descrever inseticidas microbiológicos registrados no Brasil para alvos que afetam a cultura da soja, a metodologia foi delineada para garantir a confiabilidade e validade dos dados, combinando diversas abordagens qualitativas. A estratégia incluiu entrevistas semiestruturadas, questionários e pesquisa documental, permitindo uma análise multidimensional dos diferenciais tecnológicos de inseticidas microbiológicos registrados disponíveis para a cultura da soja.

A coleta de dados concentrou-se em empresas responsáveis por registros de produtos formulados para controle biológico identificados na primeira etapa, totalizando 92 empresas identificadas inicialmente, das quais nove participaram

efetivamente da pesquisa. Foi possível mapear estas empresas por meio de um relatório gerado em formato CSV (planilha Excel) na plataforma Agrofit, contendo todos os registros de inseticidas microbiológicos ativos. A partir desse levantamento, foram identificadas todas as empresas titulares de registros e realizada uma pesquisa detalhada para coletar informações de contato relevantes. Os dados obtidos foram sistematizados e organizados em uma tabela estruturada para facilitar o contato.

Essa primeira etapa da coleta ocorreu por meio de amostragem por conveniência, com contatos via e-mail e telefone. Utilizou-se um questionário online semiestruturado (Apêndice A), projetado para equilibrar flexibilidade na captação de particularidades das empresas com padronização nas respostas. O questionário foi disponibilizado em 6 de fevereiro de 2025, e essa fase resultou em um total de 6 respostas. A segunda etapa ocorreu durante a AgroBrasília, em 22 de maio de 2025, onde foram realizadas entrevistas semiestruturadas presenciais, utilizando o mesmo modelo do questionário online. As entrevistas possibilitaram incluir mais três empresas, totalizando nove participantes no estudo. Para preservar a confidencialidade, elas foram anonimizadas e identificadas como Empresa 1 a Empresa 9.

Ao final do processo, tanto o questionário online quanto as entrevistas presenciais alcançaram profissionais que ocupavam os cargos de diretor comercial, sócio proprietário, representante de vendas e executivo de vendas. Os cargos das respectivas empresas participantes foram mantidos em anonimato na análise, a fim de preservar a confidencialidade das informações.

A escolha desse método justificou-se pela capacidade de obter informações detalhadas e específicas, difíceis de alcançar por outras técnicas, além de otimizar o tempo de coleta, conforme destacado por Boni e Quaresma (2005) e Fontana e Pereira (2023).

Complementarmente, a pesquisa documental analisou materiais técnicos fornecidos pelas empresas, como bulas e relatórios, com o objetivo de aumentar a confiabilidade dos dados e enriquecer as informações obtidas nas entrevistas. Para organizar e analisar os dados, estes foram tabulados em planilhas do Excel, facilitando a visualização e gestão das informações.

A análise foi conduzida em duas frentes: a categorização dos diferenciais tecnológicos, que identificou padrões e variações nos produtos por meio de categorias

previamente definidas, e a análise de conteúdo, que explorou nuances nas respostas das empresas, revelando suas possíveis estratégias e motivações.

Além disso, foram considerados recortes específicos relacionados às características técnicas dos inseticidas microbiológicos, incluindo técnicas ou processos de produção, como as etapas de fermentação, multiplicação do microrganismo e controle de qualidade; formulações, abrangendo a concentração de ingredientes ativos; e armazenamento e disponibilidade no campo, avaliando o tempo de prateleira, a estabilidade do produto e a duração da eficácia após a aplicação.

Um eixo central da análise foi a comparação entre inseticidas com composição similar de ingredientes ativos, buscando contrastar atributos como formulação, concentração, modo de ação, técnicas de produção e persistência no campo, de modo a evidenciar diferenças entre produtos aparentemente equivalentes com base tanto nas respostas das empresas quanto na documentação técnica. No total, foram analisados 24 inseticidas microbiológicos fornecidos pelas nove empresas participantes.

Embora a amostragem por conveniência imponha limitações, sua aplicação estratégica permitiu acesso a empresas relevantes, especialmente durante a AgroBrasília. A combinação de métodos assegurou uma visão abrangente e multifacetada, enquanto a organização sistemática em Excel e as técnicas de análise adotadas garantiram interpretação aprofundada, fundamentando conclusões ancoradas em dados verificáveis e análises criteriosas, essenciais para compreender as estratégias de diferenciação no mercado de inseticidas microbiológicos, considerando aspectos técnicos, formulacionais e operacionais.

3.3. Metodologia para Atender o Objetivo Específico 3

Para alcançar o terceiro objetivo de investigar tecnologias aplicadas aos inseticidas microbiológicos disponíveis para a cultura da soja no mercado brasileiro, que consistiu em comparar inseticidas microbiológicos com a mesma composição de ingredientes ativos, foram adotadas múltiplas estratégias metodológicas, combinando análise de produtos comerciais obtidos em entrevistas e questionários com a investigação documental de registros oficiais.

Inicialmente, foram utilizados dados obtidos a partir das respostas de nove empresas fornecedoras de inseticidas microbiológicos, as quais participaram voluntariamente por meio de entrevistas semiestruturadas e aplicação do questionário padronizado. Das respostas consolidadas, foram identificados 24 produtos comerciais distintos registrados como inseticidas microbiológicos. Esses produtos foram organizados e categorizados conforme o ingrediente ativo principal declarado nas bulas e rótulos técnicos. Sempre que havia mais de um produto comercial com a mesma composição de ingrediente(s) ativo(s), era formada uma categoria específica para fins comparativos.

Esse processo de categorização resultou em três grupos distintos de análise: (1) produtos à base de *Beauveria bassiana* IBCB 66, com seis representantes; (2) produtos formulados com a combinação de *Beauveria bassiana* IBCB 66 e *Metarhizium anisopliae* IBCB 425, com dois representantes; e (3) produtos compostos por *Spodoptera frugiperda multiple nucleopolyhedrovirus* (SfMNPV), também com dois representantes. Cada grupo foi analisado separadamente, visando à identificação das diferenças entre os produtos de uma mesma categoria quanto à formulação, concentração do ingrediente ativo, pragas-alvo declaradas nas bulas e diferenciais tecnológicos descritos pelas empresas.

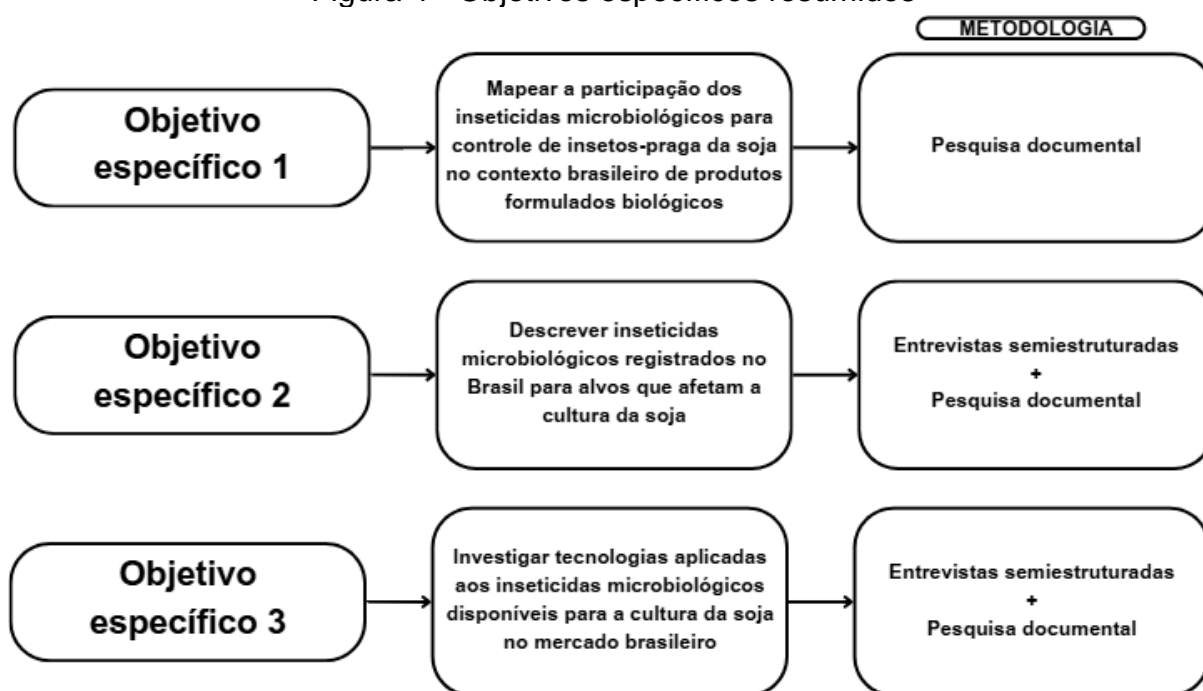
Na sequência, foi realizada uma análise documental detalhada dos registros oficiais presentes no sistema AGROFIT, mantido pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). A partir da planilha previamente construída com todos os produtos registrados no Brasil contendo microrganismos como ingrediente ativo, foram aplicados filtros para isolar todos os produtos formulados exclusivamente com *Beauveria bassiana* IBCB 66 e, separadamente, todos os formulados apenas com *Metarhizium anisopliae* IBCB 425. O objetivo dessa etapa foi identificar, com base em fontes oficiais, as pragas-alvo registradas para cada um desses ingredientes ativos de forma isolada, permitindo inferir se os espectros de ação desses microrganismos são suplementares (sobrepostos) ou complementares (abrangem pragas distintas).

Para organizar a análise, foram definidas categorias que orientaram a construção das tabelas comparativas, incluindo **formulação, concentração, espectro de ação, mecanismos de ação e vantagens operacionais** de cada produto. Com essas informações, foi possível construir tabelas comparativas dos alvos biológicos associados a cada microrganismo, as quais subsidiaram a discussão

acerca da justificativa técnica para a existência de formulações comerciais combinadas.

A **Figura 4** apresenta de forma visual um resumo da metodologia utilizada para atingir cada um dos três objetivos específicos definidos pelo estudo.

Figura 4 - Objetivos específicos resumidos



Fonte: Autoria Própria

4. RESULTADOS

4.1. Objetivo 1 - Mapear a participação dos inseticidas microbiológicos para controle de insetos-praga da soja

4.1.1. Análise Geral dos Inseticidas Microbiológicos

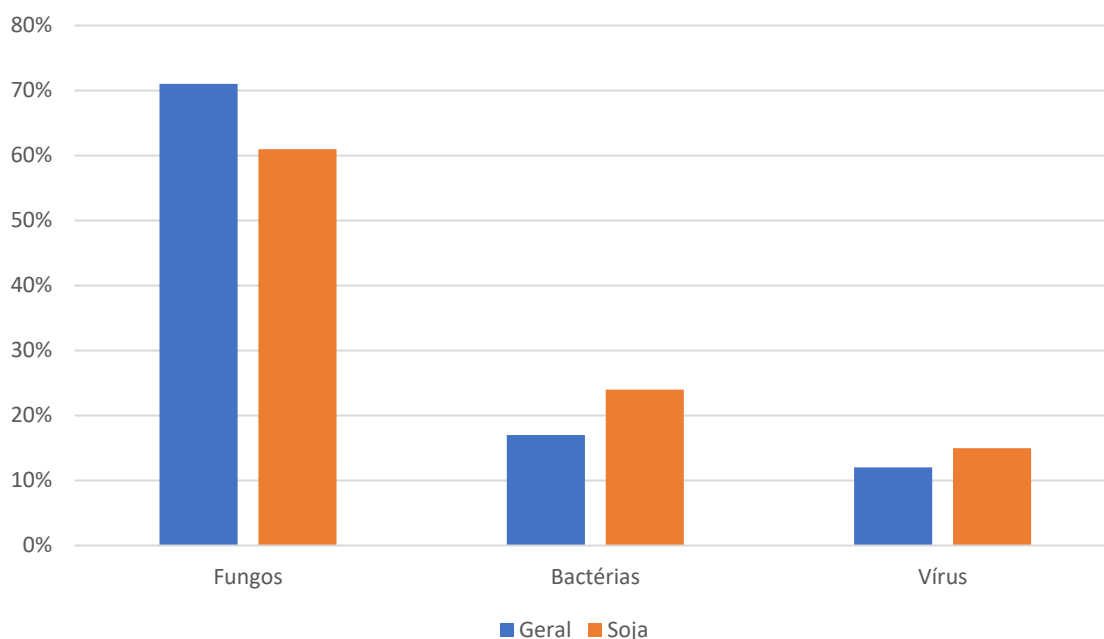
A análise dos inseticidas microbiológicos registrados revelou uma distribuição marcante entre os três principais grupos de agentes: fungos, bactérias e vírus. Os fungos destacam-se como a categoria mais utilizada, representando 70,6% do total de inseticidas microbiológicos registrados. Em seguida, os inseticidas à base de bactérias correspondem a 17%, enquanto os formulados com vírus representam 12,4%. Entre os 328 produtos analisados, apenas um apresenta uma formulação

composta por mistura de ingredientes ativos de diferentes espécies, combinando *Bacillus thuringiensis* S 234 (bactéria) com *Metarhizium rileyi* CG 1153 (fungo), evidenciando que a combinação de diferentes microrganismos ainda é uma estratégia pouco explorada no mercado brasileiro de inseticidas microbiológicos. Esses dados estão descritos em **azul** na **Figura 5**.

Ao analisar especificamente os inseticidas microbiológicos disponíveis para a cultura da soja (em **laranja** na **figura 5**), observa-se que o cenário não difere significativamente da análise geral desses produtos. A distribuição dos inseticidas microbiológicos registrados para a soja é a seguinte: 61% são formulados à base de fungos, 24% à base de bactérias e 15% à base de vírus. A composição desses dados reflete a predominância de agentes fúngicos como principal ingrediente ativo no controle biológico na cultura da soja, seguida por bactérias e, em menor proporção, vírus. É importante ressaltar que um total de 230 produtos foram identificados como produtos disponíveis para a cultura da soja.

Essa distribuição sugere que, embora haja uma variedade de agentes microbiológicos disponíveis, os produtos à base de fungos continuam a ser os mais explorados comercialmente para o manejo de pragas em geral. As bactérias aparecem de forma mais aparente no cenário da soja. A menor representatividade de inseticidas à base de vírus continua evidente.

Figura 5 - Comparação da distribuição do tipo de ingrediente ativo no Brasil e disponível para a cultura da soja



Fonte: Sistema de agrotóxicos fitossanitários (AGROFIT, 2025)

A comparação entre a distribuição geral e distribuição em inseticidas microbiológicos voltados para a soja (Figura 5) evidencia que a preferência por agentes fúngicos mantém-se consistente em ambos os cenários, com variação de 7 pontos percentuais na participação de bactérias e variação de 3% na participação dos vírus. Os dados reforçam a centralidade dos fungos no mercado de inseticidas microbiológicos brasileiros, seguida por bactérias e vírus, respectivamente.

4.1.2. Fungos

Os inseticidas microbiológicos que utilizam fungos como ingrediente ativo apresentam uma diversidade de compostos (em azul na figura 6), destacando-se principalmente *Beauveria bassiana* e *Metarhizium anisopliae*. Dentre esses, *B. bassiana* é o mais prevalente, estando presente em 48,9% dos produtos registrados. Esses produtos têm como alvo 24 espécies de insetos-praga, abrangendo ordens como Hemiptera, Coleoptera, Trombidiformes, Thysanoptera e Lepidoptera. Além disso, a literatura indica que *B. bassiana* pode também afetar pragas da ordem Orthoptera (Faria e Wraight, 2007).

Em segundo lugar, o fungo *Metarhizium anisopliae* aparece em 44,7% dos inseticidas, sendo igualmente relevante com produtos que controlam um total de 16 espécies de pragas da ordem Hemiptera, Lepidoptera, Coleoptera, Thysanoptera e Trombidiformes. Juntos, esses dois fungos representam mais de 90% dos inseticidas microbiológicos à base de fungos, consolidando-se como os principais agentes de controle biológico nessa categoria. *B. bassiana* e *M. anisopliae* estão dentro do grupo de ingredientes ativos mais utilizados em inseticidas microbiológicos mundialmente (Faria; Wraight, 2007). Talvez isso se explique pelo fato de que *Beauveria bassiana* e *Metarhizium anisopliae* são patógenos facultativos e podem ser produzidos em larga escala em diversos substratos (Prasad; Pal, 2014).

Enquanto *Beauveria bassiana* e *Metarhizium anisopliae* dominam o cenário dos inseticidas microbiológicos, representando 247 produtos registrados, outros cinco ingredientes ativos também foram identificados, somando atualmente 15 produtos. Esses agentes incluem *Isaria javanica*, *Isaria fumosorosea*, *Cordyceps javanica*, *Metarhizium rileyi* e *Trichoderma harzianum*. Embora representem uma parcela menor do mercado, esses fungos podem estar demonstrando potencial significativo no controle biológico de pragas, ampliando as opções disponíveis para o manejo integrado de diferentes espécies. A diversidade de ingredientes ativos reforça a importância de se investir em pesquisas e desenvolvimento de novos inseticidas microbiológicos, visando aumentar o leque de produtos e a sustentabilidade no controle de pragas agrícolas.

Já a análise dos inseticidas microbiológicos à base de fungos disponíveis para a cultura da soja revelou uma predominância significativa de *Beauveria bassiana*, que representou a grande maioria dos registros, com 141 ocorrências, esses dados podem ser vistos em laranja na **figura 6**. Desse total, o isolado/cepa IBCB 66 foi o mais frequente, estando presente na composição de 123 inseticidas microbiológicos, o que demonstra sua ampla utilização no controle biológico de pragas. Além disso, outras cepas de *Beauveria bassiana* também foram identificadas, como CBMAI 1306, PL 63, GHA, Simbi BB 15, BV13, R444, CBMAI 2359 e BALL 6-2, reforçando a grande variabilidade de inseticidas microbiológicos registrados à base de *Beauveria bassiana*.

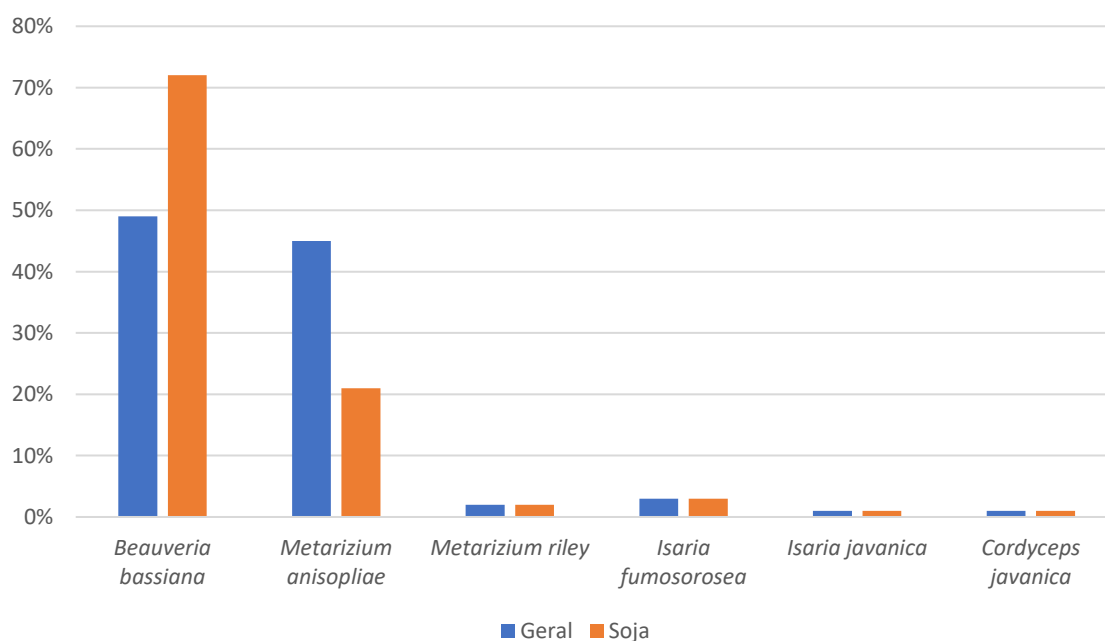
Em segundo lugar, os fungos do gênero *Metarhizium* apareceram como ingrediente ativo de 12, com destaque para o *Metarhizium anisopliae*, especialmente a cepa IBCB 425, que foi registrado 11 vezes, além da cepa IBCB 425, também um único inseticida microbiológico que possui a cepa BV12 em sua composição. O

Metarhizium rileyi foi identificado em 4 ocorrências, indicando uma presença menos expressiva, mas ainda relevante, desse gênero. Dentre essas ocorrências, foram registradas 3 cepas diferentes: CG 1153, CCT7771 (2 vezes) e PHP1705.

O fungo *Isaria fumosorosea* foi identificado na composição de aproximadamente 3,0% dos inseticidas microbiológicos disponíveis para soja à base de fungo, com destaque para a cepa ESALQ-3422, que apareceu em 3 registros e a cepa ESALQ-1296 que apareceu em 1 registro. Já o *Isaria javanica* foi menos frequente, com apenas 2 ocorrências, representado pelas cepas BV14 e URM 7662.

Por fim, o gênero *Cordyceps javanica* que apareceu na composição de apenas 1 inseticidas microbiológico, representado pela cepa BRM 27666, mostrando uma participação mínima no registro de inseticidas microbiológicos à base de fungos disponíveis para a cultura da soja no Brasil.

Figura 6 - Comparativo dos registros com fungos como ingrediente ativos no Brasil



Fonte: Sistema de agrotóxicos fitossanitários (AGROFIT, 2025)

A **figura 6** compila as duas descrições apresentadas anteriormente: a utilização em inseticidas em geral, representada por barras na cor azul, e a utilização em produtos específicos para a cultura de soja, indicada por barras na cor laranja. O eixo vertical mostra a porcentagem de uso, variando de 0% a 80%, enquanto o eixo horizontal lista os ingredientes ativos encontrados.

A comparação entre inseticidas microbiológicos de uso geral (representados em azul) e aqueles considerados disponíveis para a cultura da soja (em laranja) revela padrões distintos de utilização de fungos como agentes de controle biológico. *Beauveria bassiana* emerge como o protagonista indiscutível no cenário da soja, representando 72% dos produtos registrados para essa cultura, um salto significativo em relação aos 49% observados em inseticidas de uso geral.

Em contraste, *Metarhizium anisopliae*, que ocupa a segunda posição em inseticidas gerais com 45% de participação, apresenta uma queda expressiva na soja, atingindo apenas 21%.

Os demais fungos analisados mantêm participações marginais em ambos os contextos, sem variações significativas. *Metarhizium rileyi*, por exemplo, aparece com 2% tanto em produtos gerais quanto nos voltados para a soja, indicando uma aplicação limitada e ainda pouco explorada. *Isaria fumosorosea* e *Isaria javanica* registram 3% e 1%, respectivamente. Já *Cordyceps javanica*, com 1% de participação, evidencia uma presença residual.

4.1.3. Bactérias

Dos 55 produtos à base de bactérias registrados, 87% utilizam *Bacillus thuringiensis* (*Bt*) como ingrediente ativo, enquanto 4% contêm *Pseudomonas fluorescens*, 4% utilizam *Pseudomonas chlororaphis* e outros 4% *Brevibacillus laterosporus*. Dentro dos produtos à base de *Bt*, a subespécie *kurstaki* é a mais representativa, presente em 58,9% dos registros, incluindo formulações como Bettus Org, BioBac T e BT Turbo. A cepa CCT 1306 aparece em 17,8% dos produtos, sendo encontrada em BtFert e Bac-Control Max WP. Outras cepas de *Bt kurstaki* estão presentes em menor quantidade, como SA-12, com 2 produtos (3,4%), exemplificado por Thuricide SC, e SA-11 e EG 2348, cada uma com 1 produto (1,7%), como Javelin WG e Able, respectivamente. Essa distribuição geral pode ser vista na em **azul** na **figura 7**.

Enquanto que na análise dos inseticidas microbiológicos à base de bactérias disponíveis para a cultura da soja (em **laranja** na **figura 7**) revelou uma predominância esmagadora de *Bacillus thuringiensis* (*Bt*), que esteve presente em 52 produtos registrados, destacando-se como o principal agente no controle biológico de pragas. A subespécie *kurstaki* foi a mais recorrente, com ênfase na cepa HD-1 (S1450) e suas

variações (como S1450, linhagem HD-1 e isolado S1450), que apareceram em 15 registros, consolidando-a como a mais utilizada. A cepa CCT 1306, frequentemente associada à subespécie *kurstaki*, também se destacou com 9 ocorrências, incluindo combinações como "subsp. *kurstaki* CCT 1306" e "var. *kurstaki*, cepa HD-1 (CCT 1306)". Além disso, combinações de isolados de *Bt* foram frequentes, como os isolados CCTB22 e CCTB25, presentes em 7 produtos, e o isolado CCTB23, que integrou um registro adicional em conjunto com CCTB22 e CCTB25. Outras cepas e variações de *Bacillus thuringiensis* incluem a var. *aizawai*, representada pelas cepas GC-91, ABTS-1857 e isolados não especificados, com 4 ocorrências, os isolados 1641 e 1644, registrados 2 vezes, além de cepas como SA-12 (3 registros), S234 (2 registros) e *tolworthi* isolado 344 (1 registro).

O gênero *Pseudomonas* apareceu em 3 produtos, sempre em formulações combinadas: *Pseudomonas fluorescens* (isolados SVG00043-B e CCTB03) e *Pseudomonas chlororaphis* (isolados SVG00044-B e CCTB19), com 2 registros da combinação CCTB03/CCTB19 e 1 registro da dupla SVG00043-B/SVG00044-B. *Brevibacillus laterosporus* foi registrado em 3 produtos, todos em associação com *Bacillus thuringiensis* (isolados CCTB22 e CCTB25), utilizando o isolado CCT492. Vale destacar ainda um único produto que combinou *Bacillus thuringiensis* S234 com o fungo *Metarhizium rileyi* CG 1153, uma exceção ao padrão bacteriano puro.

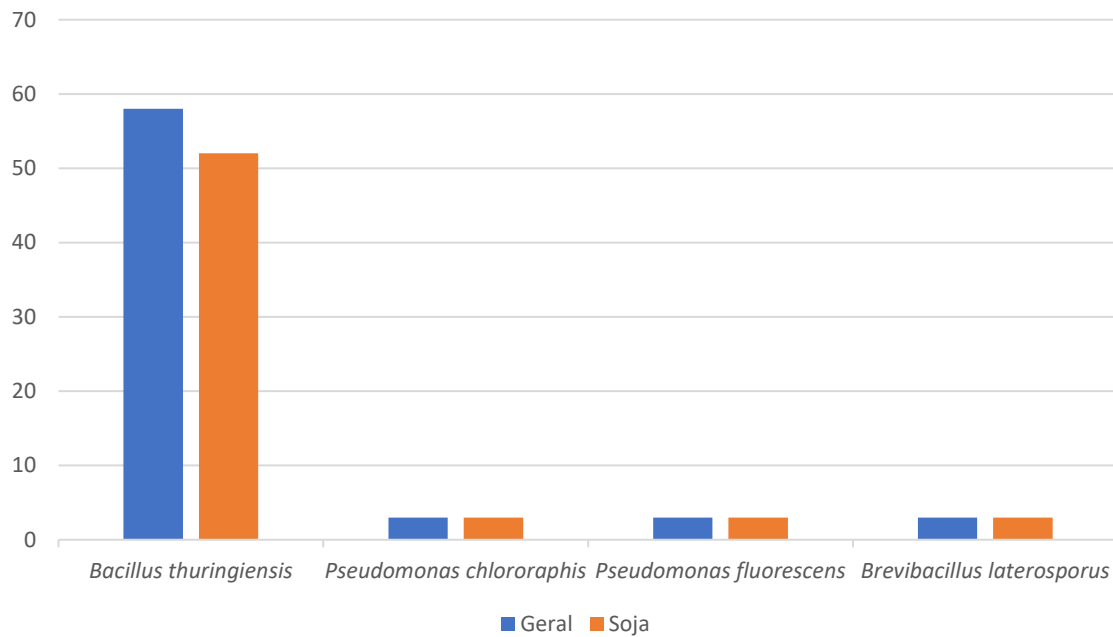
A variedade *aizawai* de *B. thuringiensis* está registrada em 4 produtos (6,9%), incluindo os isolados GC-91, ABTS-1857 e ABTS-1857, presentes em formulações como Agree e Xentari, enquanto a subespécie *tolworthi* (isolado 344) aparece em 1 produto (1,7%), identificado como Crystal. Além disso, 5 produtos (8,6%) combinam diferentes cepas de *Bt*, incluindo os isolados CCTB22, CCTB23 e CCTB25, presentes em formulações como BTP 066-20 SC e GRAPBeesECT. Também há 7 produtos (12,1%) que associam *Bt* a outros microrganismos. Entre esses, 3 produtos (5,2%) contêm *Brevibacillus laterosporus*, exemplificado por Biobrev Full, 1 produto (1,7%) contém *Metarhizium rileyi*, representado por Dissara, o único produto que combina fungo e bactéria em sua composição. 3 produtos (5,2%) combinam *Pseudomonas fluorescens* com *Pseudomonas chlororaphis*, como Aevo e Biokato.

Entre as cepas menos frequentes de *Bt*, S234 está presente em 2 produtos (3,4%), como Lepthure, CBMAI 1398 também aparece em 2 produtos (3,4%), como Btel, e os isolados 1641/1644 estão registrados em 2 produtos (3,4%), como Acera. A combinação N1/N2/N3 aparece em 1 produto (1,7%), identificado como Betk-03.

Esses dados reforçam a dominância de *Bacillus thuringiensis* também no cenário de inseticidas microbiológicos bacterianos para soja, com uma diversidade notável de cepas, subespécies e estratégias de combinação, enquanto gêneros como *Pseudomonas* e *Brevibacillus* têm participação secundária, porém relevante. A repetição de cepas como HD-1 (S1450) e CCT 1306 evidencia a confiança em linhagens consolidadas, enquanto a presença de combinações inéditas sugere esforços para diversificar o controle biológico.

Vale destacar a existência de três produtos que se diferenciam por apresentar uma combinação singular de três ingredientes ativos em suas formulações, uma característica pouco comum entre os registros avaliados. Esses produtos, identificados como Biobrev Full, BTP 0159-21 AC e BTP 0159-21 AB, representam uma exceção ao padrão predominante de formulações com um ou dois ingredientes ativos. A presença dessa tripla associação de microrganismos chama atenção por sua raridade e sugere uma possibilidade de inovação no controle biológico de pragas voltado para a soja. Embora todos os registros com essa singularidade compartilhem a mesma composição de ingredientes ativos, esses registros se destacam como uma abordagem distinta dentro do conjunto analisado, evidenciando a diversidade de estratégias exploradas no manejo de pragas nessa cultura de grande relevância econômica.

Figura 7 - Comparativo dos registros com bactérias como ingrediente ativo no Brasil

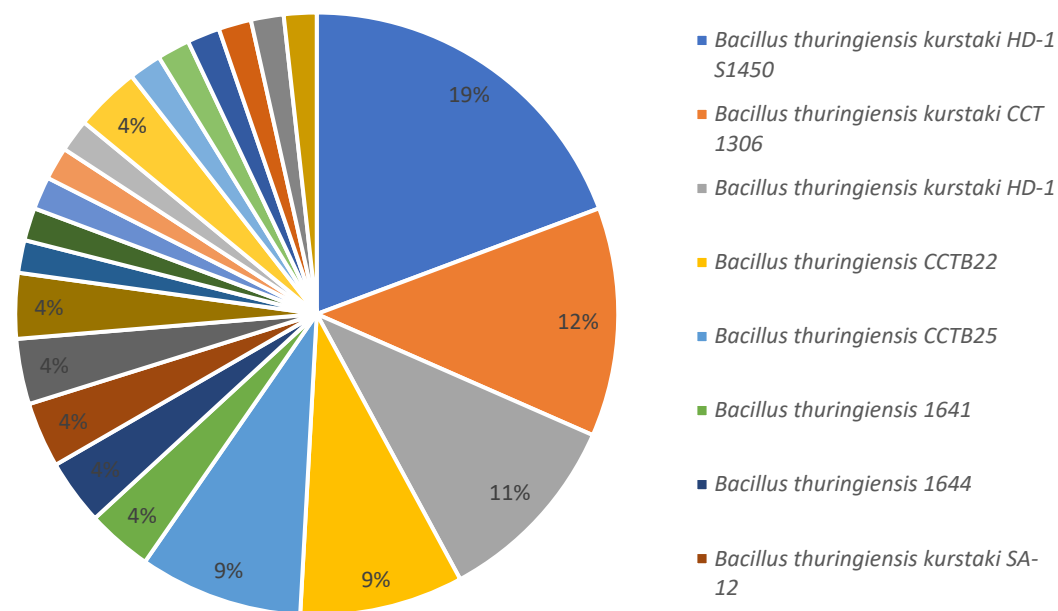


Fonte: Sistema de agrotóxicos fitossanitários (AGROFIT, 2025)

Em contraste com os fungos, a análise dos inseticidas microbiológicos à base de bactérias não apresentou mudanças significativas na distribuição entre produtos gerais e os disponíveis para a soja. *Bacillus thuringiensis* mantém-se como o principal agente bacteriano em ambos os contextos, com participação de 87% nos inseticidas gerais e 85% naqueles voltados para a soja, indicando uma estabilidade

A **figura 8** demonstra a variação de cepas de *Bacillus thuringiensis* encontradas nos produtos registrados em geral.

Figura 8 - Registros com isolados específicos de *Bacillus thuringiensis* como ingrediente ativo



Fonte: Sistema de agrotóxicos fitossanitários (AGROFIT, 2025)

4.1.4. Vírus

Os bioinseticidas à base de vírus (em azul na figura 9) compreendem uma variedade de produtos registrados, com predominância do *Baculovírus Spodoptera frugiperda* (SfMNPV), presente em 18 produtos (40%). Esses produtos incluem Elagesk S.f, Vircontrol S.F, Spodovir, Baculomip-SF, Baculonat SF, Laphy Protection, Leprotect S.F., SFMNPV ABT 02, Vir Protection, Virumix WP, Buick, CartuchoVIT, Cartugen, Cartugen Max, Spodovir Plus e Sfmnpv ABT 01. Além disso, Destroyer, Revers, Virusguard, Voliturcho e Gratto Frugi correspondem a cinco produtos registrados sob um único registro.

O *Baculovírus Helicoverpa armigera* (HearNPV) está presente em 9 produtos (21,0%), entre eles KBR-H19S3, Helicovir, Helicovex, Verpavex, Vir Protection H.A, VirControl H.A. e Armigen. Além disso, os produtos Surtivo Soja e Diplomata EVO contêm esse vírus combinado com outros ingredientes ativos. O *Baculovírus Chrysodeixis includens* aparece em duas variantes: *ChinNPV* (Nucleopolyhedrovirus), registrado em 6 produtos (14,6%), Loopovir, Chrysogen, Chrysogen CCAB e Biodeixis, além dos produtos Surtivo Soja e Diplomata EVO, e *ChinMNPV* (Multiple

Nucleopolyhedrovirus), presente em 3 produtos (7,3%), Elagesk C.I., VirControl C.I. e Looper Protection.

O *Baculovirus Helicoverpa zea* (HzSNPV) aparece em 3 produtos (7,0%), sendo eles Gemstar-Max, Gemstar LC, Diplomata K e Hz-NPV CCAB. Outros vírus também estão registrados em menor quantidade. O *Baculovirus Spodoptera littoralis* (*SpliNPV*) está presente em 1 produtos (2%), Spodovex/ Littovir. O *Baculovirus Anticarsia gemmatalis* conta com 2 produtos registrados (4,9%), Baculovirus Soja WP e Grap Baculovirus. O *Granulovirus Phthorimaea operculella* (*PhopGV*) aparece em 1 produto (2,4%), Tutavir. O *Baculovirus AcMNPV* está registrado em 1 produto (2,4%), Disseminate.

Algumas formulações combinam diferentes vírus, como Surtivo Soja e Diplomata EVO, que contêm *ChinNPV* e *HearNPV*. A distribuição dos produtos mostra a grande variedade de vírus utilizados nos inseticidas microbiológicos registrados.

Já a análise dos registros de inseticidas microbiológicos à base de vírus disponíveis para a cultura da soja (em **laranja** na **figura 9**) identificou um total de 35 produtos, com destaque para o *Spodoptera frugiperda multiple nucleopolyhedrovirus* (*SfMNPV*), que aparece em 17 registros, aproximadamente 48,6% do total. Este vírus foi registrado sob diferentes nomenclaturas, como “*Spodoptera frugiperda multinucleopolyhedrovirus – SfMNPV*” (grafia sem espaço entre “multiple” e “nucleopolyhedrovirus”), “*Baculovirus Spodoptera frugiperda (SfMNPV)*”, “Vírus SfMNPV” e “*Baculovirus Spodoptera frugiperda Nucleopolyhedrovirus (SfMNPV)*”. Apenas um dos registros especificou o isolado 19, denominado “*Spodoptera frugiperda nucleopolyhedrovirus (SfMNPV isolado 19)*”, presente no produto Spodovir Plus. Entre os produtos associados ao *SfMNPV*, encontram-se Elagesk S.f, Vircontrol S.F, Spodovir, Baculomip-SF, Baculonat SF, Destroyer, Revers, Virusguard, Voliturcho, Gratto Frugi, Laphy Protection, Leprotect S.F., SFMNPV ABT 02, Vir Protection, Virumix WP, Buick, CartuchoVIT, Cartugen, Cartugen Max e Sfmnpv ABT 01.

Em seguida, o *Helicoverpa armigera nucleopolyhedrovirus* (*HearNPV*) foi registrado em 9 produtos, representando cerca de 25,7% do total, tendo variações na nomenclatura que incluem “*Helicoverpa armigera Nucleopolyhedrovirus (HearNPV)*”, “*Baculovirus – Helicoverpa armigera nucleopolyhedrovirus (HearNPV)*” e “Vírus HearNPV”. Os produtos associados ao *HearNPV* são: KBR-H19S3, Helicovir,

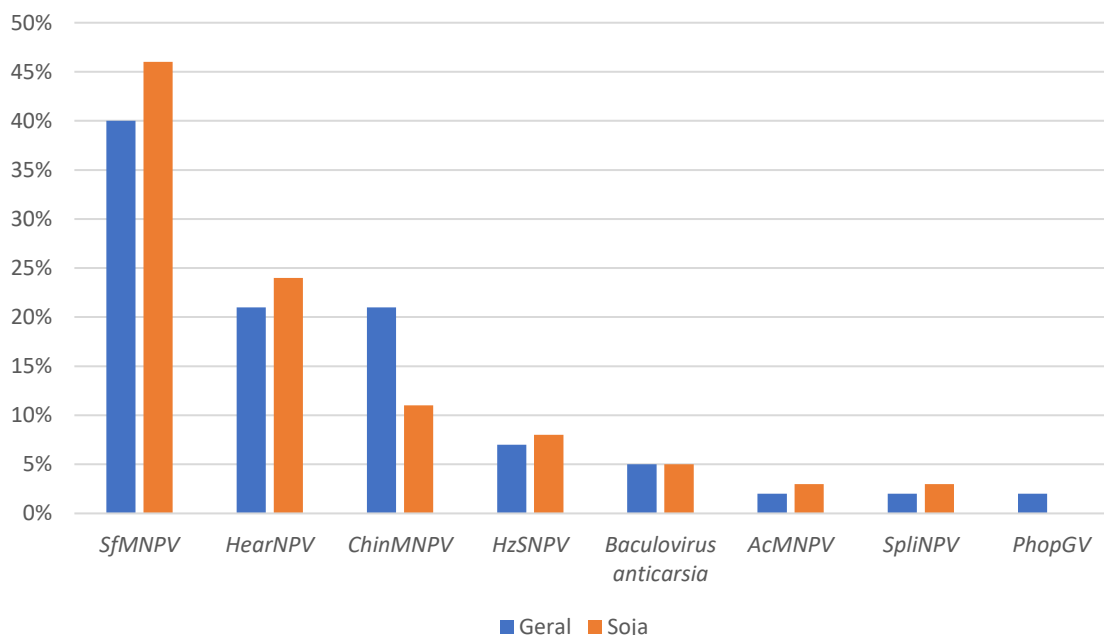
Helicovex, Verpavex, Vir Protection H.A., VirControl H.A., Armigen, Surtivo Soja e Diplomata EVO.

O *Chrysodeixis includens multiple nucleopolyhedrovirus (ChinMNPV)* apareceu em 4 registros, aproximadamente 11,4% do total, sendo registrado sob as nomenclaturas "*Chrysodeixis includens multiple nucleopolyhedrovirus (ChinMNPV)*" e "*Vírus chrysodeixis includens nucleopolihedrovirus - ChinNPV*", e está presente nos produtos Surtivo Soja, Diplomata EVO, Elagesk C.I. e VirControl C.I.

Outros vírus identificados incluem o *Baculovirus anticarsia*, registrado em 2 produtos (Baculovirus Soja WP e Grap Baculovirus), sem variações na denominação; o *Helicoverpa zea nucleopolyhedrovirus (VPN-HzSNPV)*, presente em 2 produtos (Gemstar-Max e Hz-NPV CCAB); o *Helicoverpa zea single nucleopolyhedrovirus (HzSNPV)*, registrado em 3 produtos (Gemstar LC, Diplomata K e Hz-NPV CCAB); o *Autographa californica multiple nucleopolyhedrovirus (AcMNPV)*, presente em 1 produto (Disseminate); e o *Spodoptera littoralis nucleopolyhedrovirus (SpliNPV)*, ocorrendo em 1 registro (Spodovex/Littovir). Cabe destacar que alguns produtos contêm mais de um vírus, como é o caso do Surtivo Soja e do Diplomata EVO, os quais combinam *ChinNPV* e *HearNPV*.

A distribuição dos inseticidas microbiológicos com vírus como principal ingrediente ativo apresenta variações entre o cenário geral e os registros específicos para a cultura da soja. Os dados comparativos são descritos na figura a seguir:

Figura 9 - Comparativo dos registros com vírus como ingrediente ativo no Brasil



Fonte: Sistema de agrotóxicos fitossanitários (AGROFIT, 2025)

A análise comparativa entre a distribuição geral dos inseticidas microbiológicos à base de vírus e aqueles registrados especificamente para a cultura da soja revela padrões distintos. No cenário geral, o *SfmNPV* corresponde a 40% dos registros, enquanto na soja sua participação aumenta para 46%, representando um incremento de 6 pontos percentuais. O *HearNPV* também apresenta crescimento, passando de 21% no geral para 24% na soja, com acréscimo de 3 pontos percentuais. Em contrapartida, o *ChinMNPV* registra queda expressiva: sua proporção reduz de 21% no cenário geral para 11% na soja, uma diferença de 10 pontos percentuais, indicando menor relevância nessa cultura específica.

Alguns agentes mantêm estabilidade. O *Baculovirus anticarsia* continua com a mesma proporção (5%) em ambos os contextos. Já o *HzSNPV*, o *AcMNPV* e o *SpliNPV* apresentam variações mínimas, com oscilações de 1 a 1,5 pontos percentuais entre os cenários. Destaca-se, ainda, a ausência do *PhopGV* nos registros para soja, embora corresponda a 2% no cenário geral.

Esses dados sugerem que, embora a maioria dos vírus mantenha participações próximas entre os dois contextos, diferenças pontuais refletem particularidades da presença de inseticidas microbiológicos com ingrediente ativo de vírus na cultura da soja. O crescimento do *SfmNPV* e do *HearNPV* pode estar associado a fatores como

eficácia comprovada ou adaptação técnica a pragas predominantes nessa cultura. Por outro lado, a redução drástica do *ChinMNPV* e a ausência do *PhopGV* podem indicar limitações observando as pragas alvo que estão no registro.

4.1.5. Tipos de Formulação

Os dados analisados referem-se à contagem dos diferentes tipos de formulação de inseticidas microbiológicos registrados no Brasil, utilizados no controle de pragas agrícolas. Esses inseticidas, derivados de microrganismos como bactérias, fungos e vírus, são apresentados em diversas formulações para atender às necessidades de aplicação e maximizar sua eficácia. Esta análise descreve a distribuição desses tipos de formulação com base nas contagens fornecidas.

O total de formulações registradas é de 328, distribuídas entre 10 tipos distintos:

- Suspensão Concentrada (SC)
- Pó Molhável (WP)
- Grânulos Dispersíveis em Água (WG)
- Concentrado Emulsionável (EC)
- Dispersão de Óleo (OD)
- Granulado (GR)
- Concentrado Solúvel (SL)
- Gel Emulsionável (GL)
- Suspo-emulsão (SE)
- Pó Dispersível em Óleo (OP)

Essa diversidade indica a existência de diferentes abordagens para a aplicação desses inseticidas no atual contexto agrícola brasileiro.

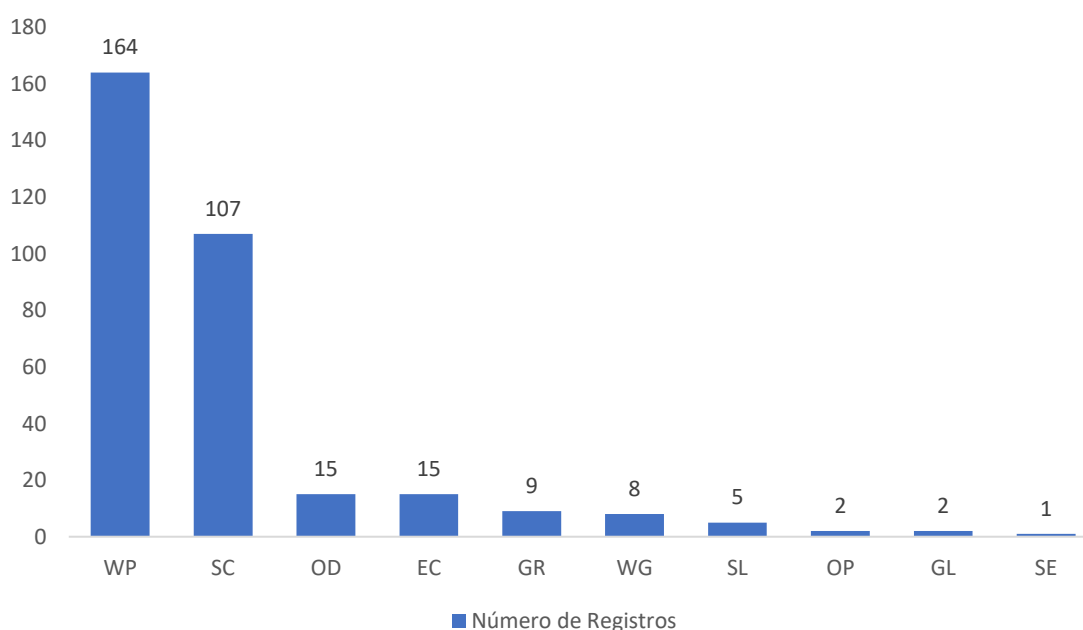
As formulações mais frequentes de inseticidas microbiológicos registrados no Brasil são o Pó Molhável (WP) e a Suspensão Concentrada (SC). O WP apresenta 164 registros, correspondendo a 50,0% do total, enquanto o SC tem 107 registros, representando 32,62% do total. Juntas, essas duas formulações somam 271 registros, o que equivale a 82,62% das formulações registradas, destacando-se como os tipos predominantes no mercado brasileiro.

As formulações menos comuns de inseticidas microbiológicos registrados no Brasil são Suspo-emulsão (SE), Gel Emulsionável (GL), Pó Dispersível em Óleo (OP) e Concentrado Solúvel (SL). A Suspo-emulsão (SE) possui apenas 1 registro, o que corresponde a 0,3% do total de registros. O Gel Emulsionável (GL) e o Pó Dispersível em Óleo (OP) contam com 2 registros cada, representando 0,6% do total para cada tipo. Por fim, o Concentrado Solúvel (SL) tem 5 registros, equivalendo a 1,5%. Essas formulações representam uma fração mínima do total de inseticidas microbiológicos registrados, evidenciando sua baixa representatividade no conjunto geral.

Outros tipos de formulação de inseticidas microbiológicos registrados no Brasil apresentam as seguintes contagens: o Concentrado Emulsionável (EC) possui 15 registros, representando 4,6% do total, enquanto a Dispersão de Óleo (OD) também conta com 15 registros, equivalendo igualmente a 4,6%. O Granulado (GR) tem 9 registros, correspondendo a 2,8%, e os Grânulos Dispersíveis em Água (WG) registram 8 ocorrências, o que equivale a 2,5% do total de registros.

A **figura 10** ordenada em ordem decrescente de contagem destaca a dominância de WP e SC, com barras significativamente mais altas em comparação às demais formulações. As porcentagens calculadas mostram que, exceto WP e SC, nenhum outro tipo ultrapassa 5% do total, reforçando a disparidade na distribuição.

Figura 10 - Distribuição dos Tipos de Formulação de inseticidas microbiológicos



Fonte: Sistema de agrotóxicos fitossanitários (AGROFIT, 2025)

A prevalência de WP e SC, que juntos representam mais de 80% das formulações, contrasta com a presença limitada de tipos como SE, GL e OP. Os dados mostram ainda que as formulações EC e OD possuem uma participação idêntica (4,6% cada), enquanto GR e WG têm contagens próximas, mas inferiores a 3% cada.

A análise dos dados revela que os inseticidas microbiológicos registrados no Brasil são majoritariamente formulados como Pó Molhável (WP) e Suspensão Concentrada (SC), totalizando 82,5% dos registros. Outros tipos, como Suspo-emulsão (SE) e Gel Emulsionável (GL), apresentam adoção extremamente limitada. A diversidade de formulações, embora existente, é caracterizada por uma distribuição desigual, com poucos tipos concentrando a maioria dos registros. Esses resultados fornecem uma visão detalhada do cenário atual das formulações de inseticidas microbiológicos no Brasil, contribuindo para o entendimento de sua aplicação no manejo de pragas.

4.1.6. Uso na Agricultura Orgânica

A análise de um total de 328 produtos fitossanitários mostrou que 206, equivalente a 62,8%, foram classificados como **Produtos Fitossanitários com Uso Aprovado para a Agricultura Orgânica**. Dentre esses produtos aprovados, a distribuição por tipo de ingrediente ativo revelou que 179, ou seja, 86,9%, possuem ingredientes ativos fúngico, enquanto 15 produtos, representando 7,3%, são formulados com ingrediente ativo bacteriano, e 12 produtos, correspondendo a 5,8%, utilizam vírus como ingrediente ativo.

Por outro lado, entre os 122 produtos **não aprovados**, que representam 37,2% do total, a distribuição por tipo de ingrediente ativo foi a seguinte: 53 produtos, equivalentes a 43,4% dos não aprovados, possuem ingredientes ativos à base de fungos, enquanto 41 produtos, correspondendo a 33,6%, são formulados com base em bactérias, e 29 produtos, representando 23,8%, utilizam vírus como princípio ativo.

Esses dados estão detalhados na Tabela 1, que apresenta a distribuição completa das categorias analisadas. A análise desses produtos é fundamental para entender a composição e o uso de fitossanitários na agricultura, especialmente em contextos que buscam práticas mais sustentáveis e seguras para o meio ambiente e a saúde humana.

Tabela 1 - Comparativo de inseticidas microbiológicos com uso aprovado na agricultura orgânica

| Categoria | Quantidade | Porcentagem | Ingrediente Ativo | Quantidade | Porcentagem |
|----------------------|-------------------|--------------------|--------------------------|-------------------|--------------------|
| Aprovados | 206 | 62,8% | Fúngico | 179 | 86,9% |
| | | | Bacteriano | 15 | 7,3% |
| | | | Viral | 12 | 5,8% |
| Não Aprovados | 122 | 37,2% | Fúngico | 53 | 43,4% |
| | | | Bacteriano | 41 | 33,6% |
| | | | Viral | 29 | 23,8% |

Fonte: Sistema de agrotóxicos fitossanitários (AGROFIT, 2025)

Para compreender melhor essas distribuições, foram consultadas as especificações de referência estabelecidas para uso aprovado na agricultura orgânica. No caso dos produtos formulados com ingredientes ativos fúngicos, foram identificados 34 ingredientes ativos diferentes. Dentre esses, apenas três ingredientes possuem especificação de referência, ou seja, estão formalmente registrados para uso na agricultura orgânica. São eles: *Beauveria bassiana* isolado CBMAI 1306, *Beauveria bassiana* cepa IBCB 66 e *Metarhizium anisopliae* isolado IBCB 425. Esses 3 ingredientes ativos são responsáveis pelos 179 produtos fúngicos que representam 86,9% do total de inseticidas microbiológicos com uso aprovado na agricultura orgânica.

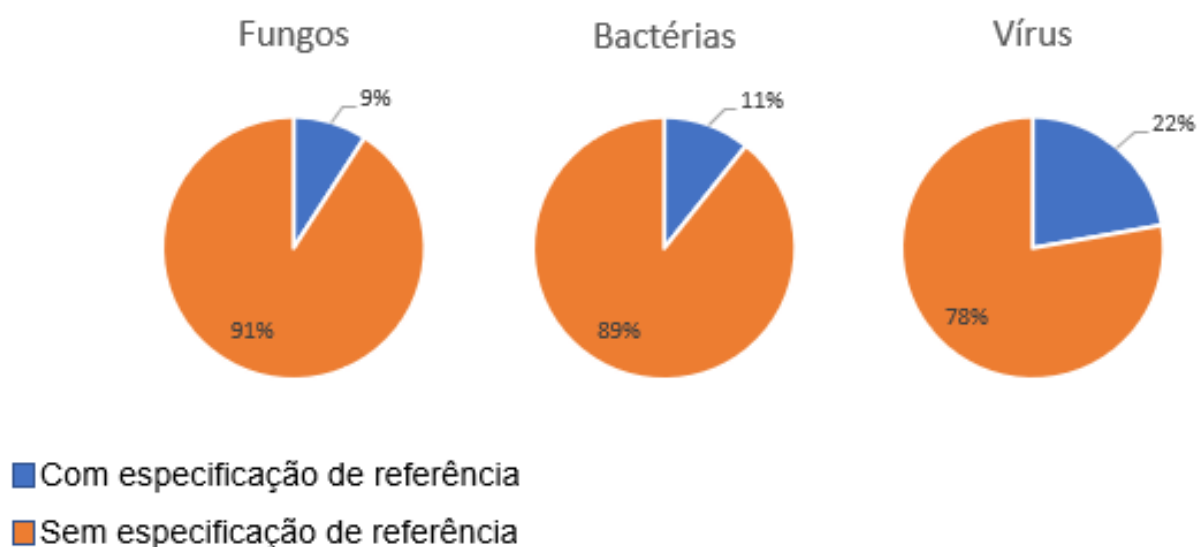
No grupo das bactérias, foram identificados 28 ingredientes ativos diferentes. Desses, apenas 3 possuem especificação de referência e, portanto, estão registrados para uso na agricultura orgânica. Os ingredientes com especificação de referência são: *Bacillus thuringiensis*, isolado CBMAI 1398; *Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki*, isolado HD-1 (S1450); e *Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki*, isolado CCT1306. Esses três ingredientes ativos estão presentes em um total de 15 inseticidas microbiológicos, correspondendo a 7,3% dos produtos aprovados para uso na agricultura orgânica.

Em relação aos vírus utilizados como ingrediente ativo, foram identificados nove tipos diferentes. Dentre esses, apenas dois possuem especificação de referência aprovada para a agricultura orgânica: *Baculovirus anticarsia gemmatalis* e *Spodoptera*

frugiperda multiple nucleopolyhedrovirus (SfMNPV). Apesar de possuírem essa especificação, alguns inseticidas microbiológicos que utilizam esses vírus como ingrediente ativo foram registrados como não autorizados para uso na agricultura orgânica. No total, 12 produtos com ingrediente ativo viral são aprovados para a agricultura orgânica, representando 5,8% dos produtos autorizados.

Na figura 11 é possível conferir a proporção de ingredientes ativos de fungos, bactérias e vírus que possuem especificação de referência em comparação ao total de ingredientes ativos por tipo encontrados nos produtos analisados. Dessa forma, os percentuais indicam a relação entre a presença de especificação de referência e a diversidade de ingredientes ativos identificados, mostrando que grande parte ainda não possui registro formal para uso na agricultura orgânica.

Figura 11 - Proporção de ingredientes ativos com especificação de referência



Fonte: Sistema de agrotóxicos fitossanitários (AGROFIT, 2025)

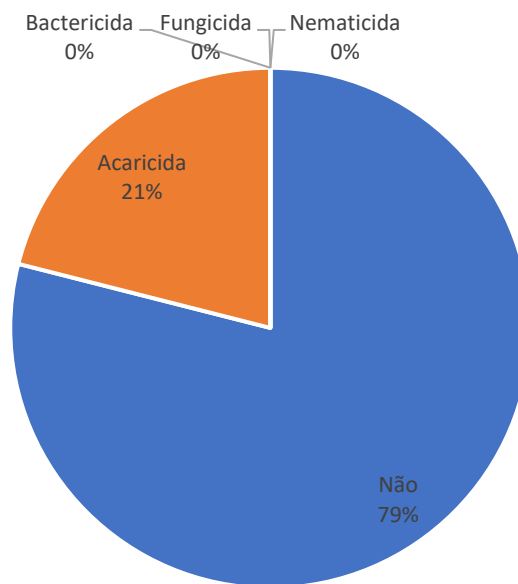
4.1.7. Inseticidas Multifuncionais

Dos 328 produtos fitossanitários analisados, 69 (21,0%) apresentam função dupla, atuando simultaneamente como inseticidas e acaricidas microbiológicos. Todos esses produtos de dupla função são formulados à base de fungos, o que reforça a versatilidade desse grupo de microrganismos no controle de diferentes tipos de artrópodes. Esses 69 produtos correspondem à totalidade dos registros com ação multifuncional identificados na amostra, uma vez que não foi encontrado nenhum

inseticida microbiológico registrado no Brasil que combine sua atividade com bactericidas, fungicidas ou nematicidas microbiológicos.

Os 259 produtos restantes (79,0% do total) não demonstram multifuncionalidade, sendo classificados exclusivamente como inseticida microbiológico.

Figura 12 - Distribuição dos Inseticidas Microbiológicos com Multifuncionalidade



Fonte: Sistema de agrotóxicos fitossanitários (AGROFIT, 2025)

4.2. Objetivo 2 - Descrever inseticidas microbiológicos registrados no Brasil para alvos que afetam a cultura da soja

Os inseticidas microbiológicos representam uma ferramenta estratégica no manejo integrado de pragas da soja, combinando eficácia agrônômica e sustentabilidade. A análise dos 24 produtos de nove empresas distintas revela diferenciais tecnológicos que podem orientar escolhas técnicas e estratégias comerciais. Abaixo, são detalhados os principais diferenciais identificados e suas implicações práticas.

4.2.1. Facilidade de Armazenamento e Estabilidade

Um dos diferenciais mais recorrentes é a dispensa de refrigeração, presente em cinco produtos. Essa característica está associada às formulações em pó molhável (WP) ou concentrado emulsionável (EC), que garantem maior estabilidade em condições ambientais variáveis. Segundo os entrevistados, essa vantagem reduz custos logísticos (como transporte e armazenamento em câmaras frias) e amplia o tempo de prateleira, tornando os produtos mais acessíveis para regiões com limitações de infraestrutura. Além disso, um dos entrevistados mencionou especificamente o armazenamento facilitado, provavelmente relacionado a embalagens resistentes ou menores requisitos de espaço. A estabilidade de fórmula, citada em um produto, reforça a confiabilidade do inseticida em diferentes condições climáticas, um fator crítico para cultivos extensivos como a soja.

4.2.2. Espectro de Ação e Especificidade

A dualidade entre amplo espectro e alta especificidade é marcante. Três produtos destacam o amplo espectro de ação, ideal para o controle simultâneo de múltiplas pragas (como ácaros, percevejos e lagartas), reduzindo a necessidade de aplicações adicionais. Por outro lado, cinco produtos enfatizam a especificidade para lagartas (principalmente *Helicoverpa armígera* e *Spodoptera frugiperda*), pragas-chave na soja, com mecanismos de ação direcionados. Um dos produtos analisados, conforme descrito em seu material técnico e mencionado pelo entrevistado, faz com que os alvos se liquefaçam e liberem novas partículas, indicando um efeito de contaminação em cadeia que potencializa o controle. Essa especificidade pode reduzir os impactos sobre organismos não-alvo, alinhando-se às demandas por sustentabilidade.

4.2.3. Sinergia e Compatibilidade

A combinação de microrganismos e a compatibilidade com outros insumos surgem como estratégias para aumentar a eficácia e facilitar a aplicação em campo a partir de mistura de caldas de aplicação. Dois produtos utilizam cepas de bactérias sinérgicas (provavelmente *Bacillus thuringiensis* com outras espécies), enquanto um produto emprega dois fungos sinérgicos (como *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae* e *Isaria javanica*), com mecanismos de ação complementares (ex.: contato

e ingestão). A compatibilidade com outros produtos (dois produtos) e adjuvantes (um produto) permite aplicações combinadas com produtos químicos, otimizando operações no campo. Essa sinergia é crucial para evitar a resistência de pragas e reduzir o número de pulverizações.

4.2.4. Variedade de Formulações

A diversificação de formulações é um diferencial competitivo. Produtos oferecem 2 a 4 formulações diferentes (líquida, granulada, em pó), adaptando-se a métodos de aplicação variados (foliar, tratamento de sementes, solo). Dois produtos destacam 4 formulações, sugerindo flexibilidade de forma de aplicação.

4.2.5. Diferenciais Tecnológicos e Mecanismos de Ação

Algumas empresas investem em tecnologias proprietárias para se diferenciarem. Um produto utiliza proteção dos esporos, uma técnica de proteção de esporos contra raios UV ou dessecação, aumentando a persistência no campo. Outro destaca uma cepa exclusiva de microrganismo, com patente ou eficácia validada em condições específicas. Em termos de mecanismos, um produto emprega múltiplos modos de ação, dificultando o desenvolvimento de resistência. A grande variedade de cristais de proteínas Cry (presente em um produto) amplia o espectro de pragas afetadas, já que diferentes cristais têm afinidade por receptores específicos no intestino de insetos-praga.

4.2.6. Resíduos e Efeito Residual

Três entrevistados destacaram que seus resíduos geram novo ciclo de controle, provavelmente através da liberação contínua de esporos ou toxinas após a aplicação inicial. Isso prolonga a proteção da lavoura e reduz a necessidade de reaplicações. Associado a isso, um produto menciona que não há período de carência, permitindo a colheita imediata após a aplicação, o que é vantajoso em cultivos com janelas de manejo apertadas.

A **Figura 13** apresenta o resumo da distribuição dos diferenciais tecnológicos dos inseticidas microbiológicos analisados, categorizados por empresa. Nesta

análise, não foram considerados os produtos individualmente, mas sim as respostas fornecidas por cada empresa.

Figura 13 - Comparativo de diferenciais tecnológicos entre empresas entrevistadas

| | Empresa | Armazenamento/ Estabilidade | Espectro de Ação | Sinergia/ Compatibilidade | Variedade de Formulações | Tecnologias Exclusivas | Efeito Residual |
|---------------|-----------|--------------------------------|---------------------|------------------------------|--------------------------------|---------------------------|--------------------|
| NACIONAL | Empresa 1 | | ● | ● | | | |
| | Empresa 2 | ● | | ● | | | |
| | Empresa 3 | ● | ● | | | | |
| | Empresa 4 | | | | | ● | ● |
| INTERNACIONAL | Empresa 5 | | | ● | | ● | |
| | Empresa 6 | | ● | | | ● | ● |
| | Empresa 7 | ● | | ● | | ● | ● |
| | Empresa 8 | | ● | ● | ● | | |
| | Empresa 9 | | ● | ● | | | |

Fonte: Entrevistas realizadas com representantes das empresas

Essa Figura permite identificar padrões relevantes entre os diferenciais tecnológicos das empresas entrevistadas. Observa-se que nenhuma empresa se destaca por abranger todas as categorias analisadas. As empresas internacionais apresentam maior concentração de atributos na categoria de tecnologias exclusivas, enquanto as empresas nacionais concentram-se principalmente em armazenamento/estabilidade. Considerando o conjunto das empresas (nacionais e internacionais), a categoria com maior número de ocorrências é a de sinergia/compatibilidade.

4.2.7. Avanços industriais na produção de inseticidas microbiológicos

Os dados coletados mostram que a eficácia de inseticidas microbiológicos no controle de pragas agrícolas vai além da simples escolha do microrganismo, como fungos, bactérias ou vírus. As técnicas de produção e formulação adotadas pelas empresas desempenham um papel essencial no desempenho desses produtos em campo. Processos como isolamento de cepas, fermentação, estabilização e formulação são etapas críticas que influenciam desde a agressividade do microrganismo até sua persistência no ambiente. Para ilustrar essa relação, podemos analisar as abordagens de duas empresas distintas.

O entrevistado da empresa 4 fez o seguinte comentário "O potencial do produto depende da cepa que vai ser utilizada; ela deve ser bem isolada. Além disso, quando se faz a formulação, existem segredos que cada empresa tem, técnicas essas que fazem com que a cepa fique mais agressiva em campo". Um isolamento rigoroso é realizado em laboratório para identificar cepas com alto potencial, garantindo uma ação específica e eficaz contra as pragas-alvo. Além disso, a empresa utiliza técnicas proprietárias na formulação, um tipo de segredo, que visa aumentar a eficiência do produto formulado.

Por outro lado, a Empresa 1 adota um enfoque diferenciado, priorizando a fermentação em meio líquido. "Nossos produtos são formulados em um processo totalmente em meio líquido, o que melhora em muito a eficiência dos mesmos em campo"

As abordagens adotadas pela Empresa 4 e pela Empresa 1 ilustram um princípio fundamental no desenvolvimento de inseticidas microbiológicos: não existe um único caminho para garantir a eficácia. Ambas as empresas buscam maximizar o desempenho de seus produtos, mas o fazem por meio de estratégias distintas, adaptadas às suas expertises e recursos tecnológicos. Assim, inseticidas baseados no mesmo microrganismo, como *Beauveria bassiana*, podem apresentar desempenhos distintos dependendo das técnicas empregadas por cada fabricante.

Em conclusão, os processos por trás da produção são tão determinantes quanto a escolha do microrganismo. Para os agricultores, isso pode significar que a seleção de um inseticida microbiológico deve levar em conta não apenas o agente biológico, mas também o know-how tecnológico da empresa, que define sua eficácia e confiabilidade em condições reais de uso.

Ainda no contexto das tecnologias exclusivas empregadas pelas empresas que atuam no mercado de inseticidas microbiológicos, durante as entrevistas realizadas no âmbito desta pesquisa, um dos representantes do setor destacou a utilização da tecnologia **Spore Shield**, desenvolvida e adotada pela empresa. Segundo o entrevistado, essa tecnologia tem como finalidade principal proporcionar uma camada adicional de proteção aos esporos presentes nos produtos microbiológicos, com o objetivo de ampliar sua durabilidade tanto durante o armazenamento quanto após a aplicação no campo. Conforme relatado, trata-se de uma inovação voltada a “blindar os esporos para que resistam mais tempo em condições adversas”, como exposição à radiação solar, variações de temperatura e umidade, fatores que comumente comprometem a viabilidade dos microrganismos em formulações biológicas. Essa suposta blindagem física ou bioquímica conferiria ao produto uma maior estabilidade microbiológica, favorecendo seu desempenho agrônomo ao longo do tempo, especialmente em situações de estresse ambiental.

Entretanto, apesar da ênfase atribuída à tecnologia *Spore Shield* pelo representante entrevistado, não foram encontradas informações complementares em bases científicas, documentos técnicos públicos, patentes ou publicações institucionais amplamente disponíveis que detalhem sua composição, modo de ação ou comprovação experimental. Isso sugere que se trata de uma tecnologia de caráter proprietário, cuja divulgação técnica permanece restrita aos canais internos da empresa, sendo, portanto, ainda pouco explorada na literatura científica nacional e internacional.

Além disso, foi mencionada nas entrevistas a tecnologia D.O.P. – *Delivering Outstanding Performance*, um outro exemplo de inovação tecnológica incorporada aos inseticidas microbiológicos disponíveis no mercado. De acordo com as informações obtidas, essa tecnologia visa induzir a formação de endósporos bacterianos e estimular a expressão metabólica dos microrganismos utilizados nas formulações, o que contribui para o aumento da resistência e viabilidade desses agentes biológicos tanto em condições de armazenamento quanto após a aplicação em campo. Tais características seriam particularmente vantajosas para garantir a eficácia do produto em ambientes adversos, com variações climáticas ou baixa umidade do solo.

Conforme relatado por um dos entrevistados, a adoção da tecnologia D.O.P. pela Biotrop “permitiu que certos produtos biológicos da empresa atingissem um prazo de maior validade”, o que representa um avanço significativo em termos de logística,

estocagem e distribuição, sobretudo para regiões onde as condições de armazenamento são limitadas. Além disso, foi mencionado que essa tecnologia também estimula a produção de fitormônios pelos microrganismos, promovendo efeitos benéficos no desenvolvimento das plantas, como maior crescimento radicular e vigor vegetativo.

No entanto, assim como no caso da *Spore Shield*, não foram encontrados documentos técnicos ou artigos científicos que detalhem o funcionamento da tecnologia D.O.P., tampouco descrições registradas em bases de patentes. Esse aspecto indica que se trata, igualmente, de uma inovação tecnológica de propriedade privada, cuja divulgação está limitada aos materiais promocionais e institucionais da empresa, o que dificulta validação científica dos efeitos relatados.

4.3. Objetivo 3 – Investigar tecnologias aplicadas aos inseticidas microbiológicos disponíveis para a cultura da soja no mercado brasileiro

4.3.1. Beauveria bassiana IBCB 66

A análise dos seis inseticidas microbiológicos à base de *Beauveria bassiana* IBCB 66 evidencia, de forma robusta e detalhada, as singularidades de cada produto não só em termos de formulação, concentração e espectro de pragas-alvo, mas também nos mecanismos de ação e vantagens operacionais. Durante o levantamento dos dados, foi adotada uma abordagem qualitativa na qual as informações entre aspas representam falas diretas coletadas em entrevistas com especialistas, contribuindo para a autenticidade das descrições apresentadas.

Iniciando com o Ballvéria , formulado em pó (WP – 300 g/kg), observa-se que sua elevada concentração permite uma aplicação eficaz contra oito pragas. Um dos pontos fortes destacados pelos entrevistados é sua estabilidade, pois "oferece um elevado tempo de prateleira sem a necessidade de refrigeração", o que facilita o armazenamento e a logística, especialmente em regiões com infraestrutura limitada.

Por sua vez, o Fulminante Akb apresenta-se em forma líquida concentrada (SC – 50 mL/L) e age tanto como inseticida quanto acaricida, direcionando sua eficácia para cinco pragas, dentre elas *Bemisia tabaci* e *Tetranychus urticae*. Foi apontada uma praticidade na diluição e aplicação, o que ressalta seu potencial operacional, demonstrando ser uma alternativa viável para programas que demandam facilidade e uniformidade na aplicação do produto. Os dados coletados indicam que sua

formulação líquida pode reduzir os riscos de erros na diluição, o que é um aspecto valorizado em ambientes de manejo de pragas.

Já o Boveril Cana, também na forma de pó (WP – 30 g/kg), conforme enfatizado na entrevista, "é um inseticida e acaricida microbiológico que Possui um amplo espectro de ação, atuando em 5 alvos", ressaltando que os conídios presentes na formulação germinam na superfície do inseto-praga e, posteriormente, penetram seu tegumento, promovendo uma colonização interna decisiva para a eficácia do controle.

O Bovemip, apresentado em pó (WP – 80 g/kg), enfatiza a ação dos conídios na penetração da cutícula dos insetos-praga, fato que possibilita uma resposta rápida e eficaz contra as pragas-alvo. Conforme relatado diretamente, "Não deixa resíduos na cultura, podendo ser aplicado no mesmo dia da colheita", o que é de extrema importância em culturas que precisam atender a padrões rigorosos de segurança alimentar. Essa característica pode fazer com que o Bovemip seja uma escolha interessante para sistemas de produção que exigem um intervalo mínimo entre a aplicação e a colheita, eliminando a preocupação com resíduos e possíveis contaminações.

O BVR Lewis, formulado como concentrado líquido (SC – 40 g/L), possui um diferencial marcante que foi diretamente enfatizado pelos especialistas entrevistados: "O diferencial desse produto é a agressividade, onde a esporulação após a colonização é elevada, o fungo visível fica exposto, outros insetos-praga se alimentam dessa colonização criada, causando novos ciclos de infecção". Essa característica não só potencializa a eficácia do produto, mas também gera uma dinâmica de infecção contínua, onde o próprio comportamento alimentar dos insetos-praga contribui para novos ciclos de infecção.

O recém-analisado Balvonext, também na formulação em pó (WP – 300 g/kg), se destaca como inseticida microbiológico de contato, atuando pela colonização dos órgãos internos dos insetos-praga, levando-os à morte. Foi apontado como um importante aliado no Manejo Integrado de Pragas (MIP), com uso em diversas culturas. Especialistas ressaltam que "utiliza o isolado mais eficiente da *Beauveria bassiana*, com alta capacidade de colonização", o que reforça sua eficácia no campo. Além disso, compartilha com o Ballvéria a vantagem logística de ter elevado shelf life, dispensando refrigeração, o que é um fator decisivo para regiões com infraestrutura limitada.

Além disso, é importante destacar que esses produtos à base de *Beauveria bassiana* IBCB 66 compartilham uma base comum de cinco pragas-alvo: *Bemisia tabaci*, *Cosmopolites sordidus*, *Dalbulus maidis*, *Tetranychus urticae* e *Sphenophorus levis*. Essa uniformidade evidencia que, independentemente das diferenças na formulação ou nos mecanismos de ação, esse tipo de fungo possui consolidado um grupo de pragas.

No entanto, as diferenças apontadas entre os produtos tornam a escolha do inseticida microbiológico mais estratégica de acordo com o perfil da praga e as necessidades específicas do manejo integrado. O BVR Lewis, por exemplo, se diferencia ao ter o *Hypothenemus hampei* como um alvo adicional. Essa característica potencializa o uso do produto em sistemas onde há uma preocupação específica com essa praga, ampliando assim o escopo da proteção. Por outro lado, o Ballvéria eleva ainda mais o espectro de ação ao incluir, além do *Hypothenemus hampei*, outras três pragas importantes, *Gonipterus scutellatus*, *Coccus viridis* e *Diaphorina citri*, ampliando significativamente a abrangência do seu controle biológico.

Em síntese, a comparação dos produtos revela que, apesar de todos atuarem por contato com base no mesmo ingrediente ativo, cada um apresenta diferenças marcantes que podem ser determinantes na escolha conforme as condições específicas do cultivo e as necessidades de manejo. Enquanto o Ballvéria se destaca pela estabilidade e amplo espectro de ação, o Fulminante Akb oferece praticidade na aplicação, o Boveril Cana apresenta uma atuação diferenciada com a “cepa exclusiva”, o Bovemip se sobressai pela segurança no manejo pós-colheita, o BVR Lewis inova com a agressividade da esporulação promovendo ciclos de infecção contínuos, e o Balvonext fortalece sua posição com alta capacidade de colonização, versatilidade no MIP e elevado shelf life.

Tabela 2 - Comparativo de produtos com *Beauveria bassiana* IBCB 66 como ingrediente

| Empresa | Produto | Formulação | Concentração | Alvo(s) em comum | Diferenciais | Pragas adicionais |
|----------|-----------|------------------|--------------|--|---|--|
| Ballagro | Ballvéria | WP (pó molhável) | 300 g/kg | <i>B. tabaci</i> , <i>C. sordidus</i> , <i>D. maidis</i> , <i>T. urticae</i> , <i>S. levis</i> | Elevado shelf life sem refrigeração; amplo espectro | <i>H. hampei</i> , <i>G. scutellatus</i> , <i>C. viridis</i> , <i>D. citri</i> |

| | | | | | | |
|-----------------------|----------------|--------------------------|----------|--|--|------------------|
| Elo Simbiótica | Fulminante Akb | SC (líquido concentrado) | 50 mL/L | <i>B. tabaci</i> , <i>T. urticae</i> | Facilidade de diluição e aplicação | — |
| Koppert | Boveril Cana | WP | 30 g/kg | <i>B. tabaci</i> , <i>C. sordidus</i> , <i>D. maidis</i> , <i>T. urticae</i> , <i>S. levis</i> | “Cepa exclusiva”; inseticida e acaricida | — |
| Promip | Bovemip | WP | 80 g/kg | <i>B. tabaci</i> , <i>C. sordidus</i> , <i>D. maidis</i> , <i>T. urticae</i> , <i>S. levis</i> | Não deixa resíduos; aplicação possível no mesmo dia da colheita | — |
| Solefert | BVR Lewis | SC | 40 g/L | <i>B. tabaci</i> , <i>C. sordidus</i> , <i>D. maidis</i> , <i>T. urticae</i> , <i>S. levis</i> | Alta esporulação visível; efeito de infecção em cadeia entre insetos-praga | <i>H. hampei</i> |
| Rovensa Next | Balvonext | WP | 300 g/kg | <i>B. tabaci</i> , <i>C. sordidus</i> , <i>D. maidis</i> , <i>T. urticae</i> , <i>S. levis</i> | Alta capacidade de colonização; versátil no MIP; longo shelf life sem refrigeração | — |

Fonte: Entrevistas realizadas com representantes das empresas

4.3.2. *Beauveria bassiana* IBCB 66 + *Metarhizium anisopliae* IBCB 425

Os inseticidas microbiológicos MBC Vetor/Eficaz Pro e Bometil/Beaumetha compartilham a mesma base de ingredientes ativos, utilizando as cepas de fungos entomopatogênicos *Beauveria bassiana* isolado IBCB 66 e *Metarhizium anisopliae* isolado IBCB 425. Apesar dessa semelhança, eles se diferenciam em aspectos como concentração, formulação, registro de pragas e modo de ação, o que os torna adequados a diferentes necessidades agrícolas. Este texto visa comparar esses dois produtos.

Em termos de composição, ambos contêm as mesmas cepas, mas em concentrações distintas: o MBC Vetor/Eficaz Pro possui 50 g/L de cada fungo, enquanto o Bometil/Beaumetha apresenta 150 g/kg. Essa diferença na concentração do Bometil/Beaumetha pode aumentar sua eficácia, enquanto a menor concentração do MBC Vetor/Eficaz Pro é suficiente para uma menor quantidade de pragas, como o percevejo marrom (*Euschistus heros*). Já na formulação, o MBC Vetor/Eficaz Pro é uma suspensão concentrada (SC), um líquido pronto para diluição que oferece praticidade, enquanto o Bometil/Beaumetha é um pó molhável (WP), que requer mistura em água, mas proporciona maior estabilidade, protegendo os esporos da degradação, aumentando seu tempo de prateleira e facilitando seu armazenamento.

O registro de pragas é outro ponto de contraste significativo. O MBC Vetor/Eficaz Pro é registrado para apenas duas pragas-alvo: cigarrinha-das-pastagens (*Deois flavopicta*) e percevejo-marrom (*Euschistus heros*), o que o torna uma solução focada. Por outro lado, o Bometil/Beaumetha abrange sete pragas, incluindo mosca-branca (*Bemisia tabaci*), broca-do-café (*Hypothenemus hampei*), ácaro-rajado (*Tetranychus urticae*), tripes (*Frankliniella occidentalis*), bicudo-da-cana (*Sphenophorus levis*), percevejo-do-colmo (*Tibraca limbativentris*) e vaquinha (*Diabrotica speciosa*), destacando sua versatilidade para diversas culturas e situações.

Quanto ao modo de ação, os dois produtos utilizam os fungos para eliminar insetos-praga, mas com dinâmicas distintas. Segundo o responsável pelo MBC Vetor/Eficaz Pro provoca um “efeito metabólico muito forte, debilitando os insetos-praga rapidamente ao ponto de não conseguirem mais voar”. Já o Bometil/Beaumetha age os fungos colonizando os órgãos internos dos insetos-praga, consumindo nutrientes e liberando toxinas, garantindo alta mortalidade em pragas. Em relação aos cuidados, ambos são sensíveis à luz solar, mas o Bometil/Beaumetha, por sua formulação em pó, tem resistência moderada à radiação UV, enquanto o MBC Vetor/Eficaz Pro, líquido, exige maior precaução para evitar exposição intensa que comprometa os esporos viáveis.

Tabela 3 - Comparativo de produtos com *Beauveria bassiana* IBCB 66 + *Metarhizium anisopliae* IBCB 425 como ingrediente ativo

| Empresa | Produto | Formulação | Concentração | Alvo(s) em comum | Diferenciais | Pragas adicionais |
|----------------|----------------------|------------|--------------|---|---|---|
| Ballagro | Bometil/Beaumetha | WP | 150 g/kg | <i>D. flavopicta</i> , <i>E. heros</i> | Elevado shelf life sem refrigeração; amplo espectro | <i>B. tabaci</i> , <i>F. occidentalis</i> , <i>H. hampei</i> , <i>S. levis</i> , <i>T. urticae</i> |
| Elo simbiótica | MBC Vetor/Eficaz Pro | SC | 50 g/L | <i>D. flavopicta</i> , <i>E. heros</i> | Facilidade de diluição e aplicação | — |

Fonte: Entrevistas realizadas com representantes das empresas

Em conclusão, embora ambos os inseticidas compartilhem os mesmos ingredientes ativos, o Bometil/Beaumetha possui registro que demonstra um maior espectro de ação, maior concentração e formulação WP que garante maior tempo de

prateleira e flexibilidade de aplicação. Já o MBC Vetor/Eficaz Pro é um produto com especificidade para duas pragas-alvo, sendo elas a cigarrinha das pastagens e o percevejo marrom, não foram coletadas informações que revelem efeitos adicionais desse produto. A escolha entre eles depende de fatores como o tipo de praga, a cultura afetada e a logística de aplicação, permitindo que agricultores tomem decisões alinhadas às suas necessidades específicas.

Com o intuito de entender melhor a ação conjunta desses dois ingredientes ativos, foi realizada uma análise separada das pragas-alvo dos isolados *Beauveria bassiana* IBCB 66 e *Metarhizium anisopliae* IBCB 425, utilizando todas as bulas encontradas no AGROFIT com esses ingredientes ativos separadamente. Embora ambos apresentem eficácia contra *Tetranychus urticae*, cada um possui um perfil distinto de pragas-alvo. O isolado de *B. bassiana* se destaca no controle de pragas sugadoras e broqueadoras como *Bemisia tabaci*, *Diaphorina citri*, *Hypothenemus hampei* e *Cosmopolites sordidus*. Já o isolado de *M. anisopliae* apresenta maior eficácia contra importantes pragas desfolhadoras e sugadoras de culturas anuais, como *Spodoptera frugiperda*, *Tuta absoluta*, *Chrysodeixis includens* e *Euschistus heros*, todas de grande impacto na produção de soja, milho e tomate. Assim, observa-se que os dois isolados possuem espectros de ação complementares, onde sua ação conjunta amplia significativamente o leque de pragas que podem ser manejadas por inseticidas microbiológicos com esses ingredientes ativos em sua composição.

A tabela 4 demonstra detalhadamente essas pragas-alvo encontradas para os ingredientes ativos citados, evidenciando essa ação complementar.

Tabela 4 - Comparativo de pragas-alvo *Beauveria bassiana* IBCB 66 e *Metarhizium anisopliae* IBCB 425

| Ingrediente ativo | Pragas-alvo |
|--|--|
| <i>Beauveria bassiana</i> IBCB 66 | <i>Bemisia tabaci</i> , <i>Cosmopolites sordidus</i> , <i>Sphenophorus levis</i> , <i>Dalbulus maidis</i> , <i>Hypothenemus hampei</i> , <i>Diaphorina citri</i> , <i>Gonipterus scutellatus</i> e <i>Coccus viridis</i> . |

| | |
|---|---|
| <i>Metarhizium anisopliae</i> IBCB 425 | <i>Deois flavopicta, Mahanarva fimbriolata, Zulia entreriana, Scaptocoris castanea, Notozulia entreriana, Spodoptera eridania, Tuta absoluta, Planococcus citri, Spodoptera frugiperda, Euschistus heros, Chrysodeixis includens e Frankliniella schultzei.</i> |
| Pragas-alvo comum aos dois ingredientes ativos | <i>Tetranychus urticae</i> |

Fonte: Sistema de agrotóxicos fitossanitários (AGROFIT, 2025)

4.3.3. *Spodoptera Frugiperda Nucleopolyhedrovirus (Sfmnpv)*

Para os inseticidas microbiológicos Buick e Baculomip-SF, ambos formulados com o ingrediente ativo *Spodoptera frugiperda multiple nucleopolyhedrovirus (SfMNPV)*, são desenvolvidos para o controle específico da lagarta *Spodoptera frugiperda*, uma praga de grande relevância agrícola, inclusive na cultura da soja. Embora apresentem características semelhantes, uma análise comparativa permite explorar suas particularidades.

Ambos atuam por ingestão: quando as lagartas consomem partículas virais presentes nas folhas tratadas, o vírus infecta seu sistema digestivo, levando à morte em alguns dias. Após a morte, ocorre um efeito residual comum aos dois produtos: os cadáveres das lagartas liberam novas partículas virais no ambiente, reiniciando um ciclo de infecção que amplia o controle da praga ao longo do tempo. Esse mecanismo, descrito no Buick como "resíduos que geram novo ciclo" e no Baculomip-SF como "liquefação das lagartas e liberação de partículas", é, na prática, idêntico, indicando que não há diferenças tecnológicas significativas no modo de ação.

Quanto à concentração do agente ativo, os produtos divergem numericamente: o Buick *Spodoptera* apresenta 404 g/L de *SfMNPV*, enquanto o Baculomip-SF declara 6,3 g/kg. Essa discrepância, no entanto, não permite uma comparação direta, pois as unidades de medida sugerem formulações distintas, líquida (g/L) para o Buick e em pó (g/kg) para o Baculomip-SF. A diferença pode refletir apenas a forma de apresentação do produto (líquido versus sólido), tendo em base resultados e falas

anteriores, a formulação em pó aparente possuir maior capacidade de armazenamento.

Ambos os inseticidas destacam a ausência de período de carência, permitindo aplicação até o dia da colheita sem riscos de resíduos tóxicos nas culturas. O Baculomip-SF menciona explicitamente que é "improvável de criar resistência", um atributo associado à ação altamente específica do vírus, que dificulta a adaptação da praga.

A especificidade para *Spodoptera frugiperda* é outro ponto comum, já que o SfMNPV é um patógeno naturalmente adaptado a essa espécie. Nenhum dos produtos indica ação sobre outras pragas, o que reforça seu caráter altamente específico e não causa impactos sobre organismos não alvo, como polinizadores ou inimigos naturais.

Em conclusão, Buick e Baculomip-SF são produtos equivalentes em essência. Compartilham o mesmo princípio ativo, mecanismo de ação, benefícios ambientais e segurança para aplicação próxima à colheita. A variação na concentração declarada parece mais relacionada à forma de formulação (SC para o Buick e WP para o Baculomip-SF) do que a um diferencial tecnológico. Assim, a decisão entre um e outro provavelmente dependerá de fatores externos, como custo, disponibilidade regional, preferência do agricultor por formulações líquidas ou em pó, ou mesmo estratégias comerciais das marcas. Ambos aparentam representar alternativas semelhantes, sem que haja grandes diferenciais entre ambos.

5. DISCUSSÕES

5.1. Objetivo 1 - Inseticidas Microbiológicos Disponíveis no Brasil e para a Cultura da Soja

No contexto atual do controle biológico brasileiro, chama a atenção a ausência de inseticidas microbiológicos que utilizem protozoários como ingrediente ativo. Embora organismos como o *Nosema locustae* seja reconhecido por sua capacidade de infectar e controlar populações de insetos-praga, ainda não há registros no Brasil (García, 2008). Segundo García (2008) essa limitação deve-se, em grande parte, à escassez de estudos sobre protozoários entomopatogênicos na América Latina e à inexistência de métodos viáveis para a produção em massa desses esporos. Embora existam diversos estudos sobre esse uso na agricultura atual (Bjørnson, 2014), aparentando

ser questão de tempo até a inclusão desse ingrediente ativo no mercado brasileiro de inseticida microbiológico

A análise dos dados indica que os fungos entomopatogênicos predominam entre os inseticidas microbiológicos registrados no Brasil, correspondendo a 70,6% do total, seguidos por bactérias (17%) e vírus (12,4%). Esse padrão está em consonância com estudos recentes sobre inseticidas microbiológicos brasileiros, que ressaltam o papel central dos fungos no mercado de inseticidas microbiológicos. Mascarin et al. (2019) observaram que aproximadamente metade dos inseticidas microbiológicos registrados no país é formada por produtos com fungos como ingrediente ativo, em sua maioria *Metarhizium anisopliae* e *Beauveria bassiana*.

Embora os dados apontem uma proporção ainda maior de fungos, a tendência é consistente: fungos entomopatogênicos estão amplamente disponíveis e atendem a várias demandas de manejo. Além disso, o setor de inseticidas microbiológicos vem crescendo rapidamente, um relatório recente destaca que o mercado brasileiro de bioinsumos atingiu US\$ 268 milhões em 2020 e desse total, a soja e a cana-de-açúcar juntas representavam cerca de 60% do valor desse mercado, evidenciando a relevância da sojicultura para o segmento (United States Department Of Agriculture – USDA, 2022).

No tocante aos fungos, o levantamento realizado nesta pesquisa confirma a predominância de formulações à base de *Metarhizium* e *Beauveria*. Esses agentes possuem amplo espectro de ação e, como apontado pela literatura, oferecem benefícios diretos no controle de pragas agrícolas e serviços ecossistêmicos associados ao solo (Quesada-moraga, 2023). Em especial, *Beauveria bassiana* tem sido amplamente empregada no controle de pragas como a mosca-branca e percevejos na cultura da soja, o que se reflete na expressiva presença de produtos fúngicos cerca de 61% do total registrados para essa cultura, Mascarin et al. (2019) estimam a aplicação de *B. bassiana* em aproximadamente 1,5 milhão de hectares de soja anualmente.

As bactérias constituem um percentual menor dos registros (17% geral, 24% soja), mas seu papel é coerente com o perfil global de inseticidas microbiológicos. A quase totalidade das bactérias empregadas como inseticida microbiológico na soja pertence ao gênero *Bacillus* (Meyer et al., 2022). Adicionalmente, estudos apontam que *Bacillus thuringiensis* corresponde a cerca de 2% do mercado global de inseticidas, atuando sobre diferentes ordens de insetos-praga ao romper o tecido do intestino médio, o que

evidencia sua importância no controle biológico de pragas agrícolas (Bravo, 2011). O *B. thuringiensis* é conhecido pelo controle de lagartas desfolhadoras, ainda existem outras espécies como *B. subtilis* e *B. amyloliquefaciens* (úteis contra doenças do solo e alguns insetos-praga) (Meyer et al., 2022; Pineda, 2025). Esse perfil sugere que, embora menos numerosos que os fúngicos, os produtos à base de Bacillus atendem a nichos específicos de pragas de soja (por exemplo, substituindo parcialmente inseticidas químicos contra certas lagartas), mantendo-se relevantes no cenário de controle biológico nacional.

Nos dados analisados, diferentes subespécies de *B. thuringiensis* foram identificadas, sendo que as identificações com “Btk” e “Bta” chamaram a atenção. As subespécies *B. thuringiensis* subsp. *kurstaki* (Btk) e *B. thuringiensis* subsp. *aizawai* (Bta) diferenciam-se principalmente pelo conjunto de toxinas Cry que produzem e, conseqüentemente, pelo espectro de ação que atingem (Schünemann, 2014). Essas diferenças genéticas resultam em perfis tóxicos distintos: por exemplo, lagartas da família Noctuidae (como *Spodoptera frugiperda*) apresentam baixa suscetibilidade a produtos baseados em Btk-HD1, enquanto as toxinas extras de *aizawai* podem superar essas resistências, mostrando o perfil complementar dessas duas subespécies em campo (Silva-Werneck, 2000).

Quanto aos vírus entomopatogênicos, eles representam a menor fração dos registros (12–15%). Na soja, o principal exemplo é o *Baculovirus anticarsia* (AgMNPV), usado no controle da lagarta-da-soja *Anticarsia gemmatilis*. Esse vírus tem sido empregado por agricultores brasileiros há décadas contra essa praga. Essa especificidade, onde os vírus possuem um número menor de pragas alvo, explica sua menor participação no número de registros (quando comparada a fungos e bactérias), mas não reduz sua importância, os produtos virais oferecem alto grau de seletividade (Andrade; Negreiro; Falleiros, 2004).

Em consonância com os dados analisados, a literatura aponta que produtos virais no mercado brasileiro se destinam quase exclusivamente ao manejo de insetos-praga, principalmente lepidópteros (Andrade; Negreiro; Falleiros, 2004; Meyer et al., 2022). Assim, o valor observado de 15% de produtos virais na soja reflete o uso consolidado do AgMNPV nessa cultura, o que está de acordo com as discussões acadêmicas sobre alternativas naturais ao controle químico desses insetos-praga.

Em síntese, os achados deste estudo alinham-se às tendências emergentes no uso de inseticidas microbiológicos discutidas na literatura. Há um avanço contínuo no

registro e comercialização de inseticidas microbiológicos no Brasil, com participação crescente no mercado (USDA, 2022). O perfil dos agentes, atualmente dominado por fungos entomopatogênicos, seguido por bactérias do gênero *Bacillus* e baculovírus, corresponde às demandas fitossanitárias da sojicultura e às inovações tecnológicas recentes. Esses resultados reforçam a visão de que os inseticidas microbiológicos no Brasil se fortalecem, especialmente na soja, e destacam o protagonismo de agentes naturais comprovados na literatura científica atual (Mascarin et al., 2019).

Nos inseticidas microbiológicos registrados no Brasil observou-se predomínio marcante das formulações em pó molhável (WP) e suspensão concentrada (SC). Esse padrão está em consonância com a literatura recente, que indica WP e SC como as formas mais comuns nesses produtos (Lin, 2023). Tal preferência é atribuível às características intrínsecas dessas formulações: as WPs, ricas em partículas inertes adsorventes, garantem elevada concentração de ativo e boa estabilidade de armazenamento (tempo de prateleira) (Brar et al., 2006). Por outro lado, as WPs exigem precauções na mistura (risco de inalação e necessidade de agitação vigorosa) e podem ocasionar obstruções em bicos pulverizadores (Brar et al., 2006).

Adicionalmente, as formulações do tipo suspensão concentrada (SC) apresentam características que favorecem sua ampla adoção, como o baixo volume de embalagem a ausência de poeira durante o manuseio e a facilidade de dosagem e incorporação na calda de pulverização, o que contribui para maior segurança do aplicador e praticidade no preparo da aplicação (Tadros, 2013; Hazra; Purkait, 2019; Khan et al., 2023); contudo, apesar dessas vantagens, apresentam como desafio a manutenção da estabilidade da suspensão durante o armazenamento, uma vez que a ocorrência de sedimentação pode comprometer a eficácia do produto e dificultar o descarte adequado dos resíduos (Hazra; Purkait, 2019).

Por outro lado, a menor presença de formulações como grânulos dispersíveis em água (WG), concentrado emulsionável (EC), dispersão de óleo (OD), granulado (GR), concentrado solúvel (SL), gel emulsionável (GL), suspo-emulsão (SE) e pó dispersível em óleo (OP) entre os inseticidas microbiológicos está associada a limitações técnicas específicas. Dentre elas, destaca-se a elevada sensibilidade dos microrganismos utilizados a fatores ambientais como luz ultravioleta, temperatura e umidade, o que impõe restrições na escolha das formulações adequadas. Além disso, a produção desses inseticidas apresenta maior complexidade quando comparada à de inseticidas

químicos, exigindo condições específicas para garantir a viabilidade e estabilidade dos ingredientes ativos durante o processamento e o armazenamento (Lin et al., 2023).

Os dados revelaram que 86,9% dos produtos fitossanitários com uso aprovado na agricultura orgânica são inseticidas microbiológicos. Essa predominância pode estar relacionada à ampla utilização de fungos entomopatogênicos, como o *Metarhizium anisopliae*, tradicionalmente reconhecidos como agentes microbiológicos de controle. Esses organismos têm sido empregados há décadas no Brasil, especialmente no controle de lagartas, e sua aplicação está bem documentada em sistemas de produção orgânica. A familiaridade dos agricultores com esses microrganismos, somada à sua eficácia no manejo de lepidópteros, contribui para sua ampla aceitação na agricultura orgânica (Jorge; Souza, 2017).

A análise dos ingredientes ativos disponíveis revelou que apenas 9% dos fúngicos, 11% dos bacterianos e 22% dos virais possuem Especificação de Referência. Esses percentuais indicam que o processo de consolidação regulatória ainda é limitado para a maioria dos ingredientes ativos microbiológicos utilizados na agricultura orgânica. Essa situação pode estar relacionada a obstáculos estruturais do sistema regulatório, como a exigência de dados técnicos robustos para o registro, a carência de conhecimento consolidado sobre muitos ingredientes ativos e a fragilidade na difusão dessas informações entre os agentes envolvidos, especialmente técnicos e agricultores, conforme apontado por De Souza e Sampaio (2024).

Inseticidas microbiológicos multifuncionais foram identificados na amostra analisada, e todos são formulados à base de fungos, o que evidencia a versatilidade desses microrganismos no controle conjunto de insetos-praga e ácaros. Essa multifuncionalidade está relacionada à eficácia acaricida de fungos como *Metarhizium anisopliae* e *Beauveria bassiana*, amplamente documentada na literatura. Por exemplo, Pereira et al. (2019) destacam que *M. anisopliae* demonstrou alta letalidade sobre ácaros, enquanto *B. bassiana* se mostrou eficiente em reduzir a oviposição, indicando efeitos complementares no controle da praga. De modo semelhante, Tamai et al. (2024) também confirmaram a patogenicidade desses fungos sobre diferentes espécies de ácaros, reforçando seu potencial como base para formulações com ação inseticida e acaricida. Esses achados explicam, em parte, a predominância de produtos fúngicos entre os registros com múltiplas funções fitossanitárias.

Embora não existam inseticidas microbiológicos oficialmente registrados também como acaricidas, estudos indicam o potencial de bactérias como *Bacillus*

thuringiensis no controle de ácaros. Pesquisas recentes demonstraram eficácia significativa contra formas imaturas e adultas de *Hyalomma*, com altos índices de mortalidade observados em curto período (Noor et al., 2024). Além disso, bactérias têm se mostrado promissoras no controle de nematoides fitoparasitos, sendo capazes de reduzir populações de espécies como *Meloidogyne* e *Pratylenchus*, contribuindo para o aumento da produtividade agrícola (Silva, 2016; Dinardo-Miranda et al., 2022). Adicionalmente, diversos estudos também evidenciam o potencial fungicida dessas bactérias, especialmente no controle biológico de *Colletotrichum gloeosporioides* e *Fusarium decemcellulare*, com perspectivas positivas para seu uso em formulações comerciais voltadas ao manejo de doenças de plantas, ainda que sejam necessários testes complementares (Silva, 2021).

5.2. Objetivo 2 - Diferenciais Tecnológicos Inovadores

A primeira categoria em diferenciais tecnológicos foi Facilidade de Armazenamento, Estabilidade e temperatura, um dos fatores mais críticos que afetam a estabilidade de produtos químicos, influencia diretamente a taxa de degradação das substâncias que aumenta exponencialmente com o aumento térmico, sendo por isso recomendada a utilização da temperatura cinética média (TCM) como parâmetro mais preciso para definir as condições de armazenamento, em vez da média aritmética simples (Oriqui et al., 2011).

Além disso, a estabilidade dos produtos pode ser comprometida por fatores externos como umidade, luz e oxigênio, bem como por danos físicos durante o transporte e armazenamento. A adoção de embalagens adequadas e a realização de testes de estresse sob condições controladas são estratégias eficazes para identificar materiais de embalagem apropriados e estabelecer condições recomendadas de armazenamento (Oriqui; Mori; Wongtschowski, 2013; Moustafa et al., 2018).

Os entrevistados destacaram repetidamente a influência das formulações WP (pó molhável) e SC (suspensão concentrada) na capacidade de armazenamento e estabilidade dos inseticidas microbiológicos. Evidências da literatura corroboram essas percepções. Em um estudo com *Metarhizium anisopliae*, verificou-se que a formulação WP pode ser armazenada por longos períodos, embora apresente redução gradual da viabilidade ao longo do tempo (Patil; Jadhav, 2019). Além disso, a atividade micicida foi melhor preservada nessa formulação em comparação com

outras formas, reforçando seu potencial em programas de controle biológico (Namsena; Bussaman; Rattanasena, 2016). Resultados semelhantes foram observados em estudos com *Beauveria bassiana*, cuja formulação WP demonstrou boa persistência sob diferentes condições de armazenamento, inclusive em temperatura ambiente, reduzindo a dependência de estruturas refrigeradas. Essa característica tem implicações logísticas relevantes, pois contribui para a viabilidade comercial dos produtos microbiológicos ao minimizar custos com transporte e armazenamento, especialmente em regiões com infraestrutura limitada (Das et al., 2013).

Por sua vez, a formulação SC demonstrou elevada estabilidade térmica, mantendo sua eficácia em todas as temperaturas testadas, o que indica robustez diante de variações climáticas típicas de ambientes agrícolas (Boukouvala; Kavallieratos, 2021). Esses resultados evidenciam que a escolha da formulação adequada pode ampliar a vida útil do produto e garantir sua eficiência em diferentes contextos de uso.

A discussão sobre o espectro de ação e a especificidade dos inseticidas microbiológicos evidencia uma dualidade estratégica no manejo de pragas agrícolas. Inseticidas de amplo espectro, como os baseados em *Bt*, demonstram eficácia contra uma variedade de pragas devido à produção das proteínas Cry, que, ao serem ingeridas, provocam a ruptura das células do intestino médio dos insetos-praga, resultando em sua morte. Essas toxinas apresentam atividade contra espécies de diversas ordens, como Lepidoptera, Coleoptera e Diptera, além de nematoides (Pinto, 2012; Ragasruthi, 2024).

Inseticidas baseados em vírus, como os baculovírus, apresentam alta especificidade, atuando principalmente sobre pragas-alvo como *Helicoverpa armigera* e *Spodoptera frugiperda*, o que permite a preservação de inimigos naturais, minimiza impactos ambientais e reduz a pressão seletiva, contribuindo para a agricultura sustentável e para a prevenção da resistência (De Castro et al., 2020). Os baculovírus são particularmente conhecidos por sua elevada especificidade de hospedeiro, geralmente restrita a uma única espécie ou a um pequeno grupo de insetos-praga intimamente relacionados, sendo capazes de regular populações de insetos-praga na natureza (Haase; Sciocco-Cap; Romanowski, 2015).

Um aspecto notável de alguns inseticidas microbiológicos específicos é o efeito de contaminação em cadeia. Baculovírus infectam as lagartas-alvo e, por meio da

ação de enzimas como catepsinas e quitinases que promovem a liquefação do hospedeiro após a morte, liberam partículas virais no ambiente que podem ser ingeridas por outras lagartas, gerando um efeito de contaminação em cadeia e amplificando o controle da população de pragas (Hodgson; Krell; Passarelli, 2021). Esse fenômeno é dado por enzimas virais, que degradam os tecidos do hospedeiro, promovendo a liberação de partículas do vírus (Ishimwe et al., 2015).

A escolha entre o uso de inseticidas de amplo espectro ou de alta especificidade deve estar alinhada à melhor estratégia definida no contexto do Manejo Integrado de Pragas (MIP), considerando o perfil das pragas presentes, os objetivos de manejo e as práticas agrícolas adotadas.

A combinação de diferentes cepas ou espécies de microrganismos pode resultar em efeitos sinérgicos no controle de pragas, promovendo maior eficácia e redução no tempo necessário para alcançar mortalidade significativa. Por exemplo, o uso conjunto de *Beauveria bassiana* e *Metarhizium anisopliae* demonstrou resultados superiores no controle de insetos-praga (Nawaz et al., 2022). Da mesma forma, a associação entre *B. bassiana* e *Bt* evidenciou efeitos sinérgicos no controle, com maiores taxas de mortalidade em comparação aos tratamentos isolados (Beris; Korkas, 2021).

Complementarmente, estudos apontam que diferentes isolados de *Metarhizium* apresentam variações em sua germinação e crescimento quando expostos a acaricidas sintéticos, indicando que a escolha adequada de cepas pode otimizar tanto a compatibilidade quanto a eficácia dos tratamentos (Aravinthraju, 2024). Além disso, a aplicação simultânea ou sequencial de *B. bassiana* com o nematoide entomopatogênico *Heterorhabditis bacteriophora* tem se mostrado promissora no controle do gorgulho-da-videira, especialmente quando os nematoides são aplicados após os fungos (Půža; Tarasco, 2023). Esses achados reforçam a importância da seleção estratégica de microrganismos compatíveis como ferramenta para potencializar o manejo integrado de pragas.

Estudos demonstram que a utilização simultânea ou sequencial de inseticidas químicos e agentes biológicos pode aumentar a eficácia no controle de pragas, desde que as interações entre os compostos sejam cuidadosamente avaliadas.

Pesquisas indicam que certos inseticidas apresentam compatibilidade com fungos entomopatogênicos, permitindo a combinação desses insumos sem prejuízo à viabilidade dos microrganismos. Por exemplo, *Metarhizium anisopliae* demonstrou

compatibilidade com triclórfon, acefato e indoxacarbe, enquanto *Beauveria bassiana* apresentou compatibilidade adicional com sulfoxaflor e espinetoram (Khun, 2021). Além disso, a associação de *B. bassiana* com inseticidas como acetamiprido (um neonicotinoide), flufenoxuron (regulador de crescimento) e azadiractina (inseticida botânico) resultou em efeitos sinérgicos ou aditivos no controle de pragas como *Myzus persicae* e *Tetranychus urticae*, reduzindo o tempo necessário para alcançar mortalidade significativa (Halder; Majumder; Rai, 2021; Hernández et al., 2012).

Em cultivos de soja, estudos de campo reforçam esses achados ao demonstrar que concentrações subletais de inseticidas químicos combinadas com fungos entomopatogênicos aumentam a mortalidade de pragas como *Rachiplusia nu*, além de reduzir o tempo necessário para o controle efetivo (Pelizza et al., 2018; Wari et al., 2020). Esses resultados reforçam o potencial das combinações como alternativa sustentável ao uso excessivo de produtos químicos.

No entanto, a compatibilidade com fungicidas requer maior cautela. Algumas moléculas, como carbendazim e piraclostrobina, mostraram toxicidade significativa para *B. bassiana* e *M. anisopliae*, afetando negativamente sua germinação e crescimento (Khun, 2021). Em contrapartida, fungicidas como o cobre hidróxido revelaram-se compatíveis com *B. bassiana*, mantendo a viabilidade do agente biológico (Erdoğan; Sağlan, 2023).

A disponibilidade de múltiplas formulações para um único produto microbiológico representa um diferencial tecnológico que contribui diretamente para a flexibilidade de aplicação e para a eficácia agrônômica, uma vez que a formulação é um fator crítico na bioatividade dos inseticidas microbiológicos, influenciando sua estabilidade, proteção contra fatores ambientais e facilidade de aplicação em diferentes contextos agrícolas, de modo que a possibilidade de escolher entre formulações líquidas, em pó molhável (WP), grânulos dispersíveis em água (WG) ou microencapsulados permite que o mesmo ingrediente ativo seja adaptado para uso em aplicações foliares, tratamento de sementes ou aplicação ao solo, conforme as exigências da cultura e do sistema de cultivo (Hernandez-Tenorio et al., 2022; Teixidó; Usall; Torres, 2022).

Essa versatilidade também tem implicações diretas para o MIP, já que, como argumenta Negi et al. (2023), a integração bem-sucedida de agentes microbiológicos depende da compatibilidade técnica e operacional com outras táticas de manejo, como o controle químico, cultural e físico, de modo que produtos com diferentes

formulações permitem ao agricultor selecionar a mais apropriada para sua estratégia, aumentando a eficiência do controle biológico e minimizando interferências negativas com outros insumos.

Além disso, o uso estratégico de diferentes formulações pode melhorar a persistência dos microrganismos no ambiente e otimizar o tempo de exposição das pragas ao agente entomopatogênico, fatores essenciais para o sucesso do controle (Hernandez-Tenorio et al., 2022). Assim, a variedade de formulações não apenas oferece comodidade operacional, mas também reforça os princípios de seletividade, sustentabilidade e integração que fundamentam o MIP.

Outra categoria relevante é a de Tecnologias Exclusivas e Mecanismos de Ação, destacando-se a combinação de diferentes cepas com o objetivo de integrar uma gama mais ampla de proteínas Cry derivadas de *Bacillus thuringiensis*, uma estratégia confirmada pela literatura científica. Estudos demonstram que a combinação de proteínas Cry1 e Vip3A apresenta efeito sinérgico no controle de lagartas como *Anticarsia gemmatalis* e *Chrysodeixis includens*, resultando em aumento da mortalidade das pragas e indicando o potencial dessa abordagem para o desenvolvimento de formulações com múltiplos modos de ação, dificultando o surgimento de resistência (Crialesi-Legori, 2014). Complementarmente, análises por modelagem computacional das estruturas diferentes proteínas Cry identificaram modificações conformacionais que influenciam diretamente a especificidade para diferentes ordens de insetos-praga, contribuindo para o aprimoramento de proteínas inseticidas com maior eficácia e seletividade (Buzatto, 2017).

Ainda dentro da categoria de Tecnologias Exclusivas, foi mencionada a tecnologia “*Spore Shield*”, que, embora não seja referenciada diretamente na literatura científica com esse nome, apresenta similaridade com diversas abordagens documentadas para proteção de esporos de microrganismos contra a radiação ultravioleta (UV), aumentando sua viabilidade e persistência no campo.

No caso das bactérias, especialmente *Bt*, diferentes tecnologias de encapsulamento têm sido desenvolvidas com esse objetivo. Um estudo recente utilizou pontos quânticos de enxofre como agentes estabilizantes em emulsões para microencapsular *Bt*, resultando em aumento significativo da viabilidade dos esporos e da atividade inseticida após exposição prolongada à radiação UV (Jalali; Maghsoudi, 2024). De forma semelhante, a encapsulação de *Bt* com nanosheets de óxido de grafeno demonstrou proteção eficaz contra radiação UV-A, mantendo sua eficácia

inseticida ao longo do tempo (Jalali; Maghsoudi; Noroozian, 2020). Além disso, o uso de subprodutos naturais, como resíduos de moinho de oliva, também se mostrou eficaz na preservação da concentração de endotoxinas e da contagem de esporos de *Bt* frente à radiação (Jallouli et al., 2014).

Em relação aos fungos entomopatogênicos, há evidências robustas de que a microencapsulação aumenta a resistência dos conídios à radiação UV. Conídios de *Trichoderma asperellum* encapsulados em alginato de sódio mantiveram maior viabilidade e desempenho no controle de patógenos em comparação aos não encapsulados (Qi et al., 2023). Encapsulações similares com *Trichoderma harzianum* em alginato de cálcio também preservaram sua atividade enzimática e resistência à UV (Maruyama et al., 2020). Substâncias naturais como o ácido húmico demonstraram ser altamente eficazes na proteção contra UV-B em conídios de *Beauveria bassiana*, aumentando sua persistência no campo, assim como óleos vegetais (gergelim, colza) e minerais, que se mostraram promissores como alternativas sustentáveis (Kaiser, 2019; Herrera; Valbuena; Pavone-Maniscalco, 2020).

Adicionalmente, mecanismos intrínsecos de proteção, como a produção de melanina, também contribuem para a resistência dos fungos à radiação UV. Em *Aspergillus fumigatus*, esporos ricos em melanina demonstraram maior resistência à radiação UV-C em comparação a mutantes deficientes no pigmento, evidenciando o papel fisiológico dessa substância na proteção ambiental (Blachowicz et al., 2020). Essas estratégias, embora distintas em natureza e método, compartilham o objetivo de aumentar a estabilidade e a eficácia dos agentes microbiológicos no campo, oferecendo respaldo científico à ideia de tecnologias exclusivas que conferem proteção aos esporos e potencializam o desempenho dos inseticidas microbiológicos.

Outra categoria importante a ser destacada refere-se à residualidade dos produtos, comumente apontada como uma vantagem significativa dos inseticidas microbiológicos, que supostamente não gerariam resíduos no meio ambiente e, portanto, não apresentariam período de carência ou intervalo de segurança para a cultura. Contudo, essa característica não foi claramente confirmada na literatura científica disponível até o momento. Diferentemente dos agrotóxicos convencionais, cuja presença de resíduos persistentes em alimentos e no solo está bem documentada (Oliveira-Filho, 2005), os dados científicos sobre a residualidade e os períodos de carência dos inseticidas microbiológicos ainda são limitados.

O uso de agrotóxicos convencionais na agricultura tem sido amplamente associado à presença de resíduos em alimentos e impactos negativos sobre a biodiversidade local. Estudos indicam que uma parcela significativa dos alimentos comercializados apresenta níveis de resíduos acima dos padrões estabelecidos, como foi observado em culturas como o pimentão, que frequentemente apresenta contaminação por ingredientes ativos não autorizados (Leite; Correia; Deoti, 2024).

Além disso, a contaminação por agrotóxicos pode afetar insetos benéficos e outros organismos essenciais para o equilíbrio ambiental, como microcrustáceos, comprometendo a saúde dos ecossistemas agrícolas (Lopes; Albuquerque, 2018). Avaliações toxicológicas também evidenciam que os produtos formulados podem conter substâncias que aumentam a toxicidade total, o que ressalta a necessidade de uma análise crítica e aprofundada dos impactos destes produtos, especialmente diante dos potenciais riscos à saúde humana, como a carcinogênese (Friedrich et al., 2022).

Diante desse cenário, os inseticidas microbiológicos possuem menor agressividade ao meio ambiente e à saúde, merecendo maior incentivo e pesquisa para sua adoção (Oliveira-Filho, 2005). No entanto, apesar das vantagens inerentes aos inseticidas microbiológicos, é importante reconhecer que eles não estão isentos de riscos, especialmente relacionados à contaminação durante a produção e ao manuseio inadequado, o que pode resultar na presença de resíduos e na introdução de patógenos no ambiente de cultivo (Oliveira et al., 2023). Essas interações complexas entre organismos nas lavouras destacam a necessidade de práticas rigorosas de controle de qualidade e protocolos de segurança para garantir a eficácia e a segurança ambiental do uso dos inseticidas microbiológicos.

Diversos estudos científicos demonstram que a eficácia de inseticidas microbiológicos no campo depende não apenas do microrganismo empregado, mas também de fatores ambientais e das técnicas de produção e formulação adotadas. A radiação ultravioleta, por exemplo, é um dos principais fatores que reduzem a viabilidade dos esporos de *Bacillus thuringiensis* em folhas de milho, conforme demonstrado por Haddad et al. (2005). O estudo também destaca a influência da temperatura, umidade e concentração da formulação na eficácia residual do produto, ressaltando a necessidade de considerar essas variáveis durante a aplicação.

No caso de fungos entomopatogênicos como *Beauveria bassiana*, Blanford (2012) observou que a viabilidade dos esporos se manteve elevada por mais de dois

anos quando armazenados sob refrigeração. Após a aplicação, a persistência variou conforme o substrato, sendo mais prolongada em superfícies de argila, onde houve redução das pragas por até quatro meses.

Esses achados científicos corroboram a importância das tecnologias de formulação para prolongar a vida útil e a eficácia dos inseticidas microbiológicos. Ayilara (2023) destaca que processos como fermentação em estado sólido podem favorecer a sobrevivência dos microrganismos durante o processamento, superando em alguns casos a fermentação líquida. Além disso, a secagem até níveis ótimos de atividade de água é essencial para aumentar a estabilidade e viabilidade dos produtos (USDA, 2007).

Outro aspecto crucial é a escolha da cepa. De acordo com Dias (1992), diferentes isolados de *Bacillus thuringiensis* apresentam variações em virulência e espectro de ação, sendo o isolamento criterioso uma das principais estratégias para melhorar o desempenho dos inseticidas microbiológicos. A microencapsulação, por sua vez, tem sido empregada para proteger os microrganismos contra fatores adversos como radiação solar e variações térmicas. Casado (2024), em um estudo realizado na UNESP, demonstrou que formulações microencapsuladas de *B. thuringiensis* apresentam maior persistência (efeito residual) em comparação com as formulações convencionais.

5.3. Objetivo 3 - Comparação dos Produtos com Mesma Composição de Ingredientes Ativos

A análise comparativa dos produtos à base de *Beauveria bassiana* IBCB 66 evidencia uma correlação relevante entre a concentração do ingrediente ativo e o número de pragas-alvo registrado. Produtos com formulações mais concentradas, como o Ballvéria e o Balvonext (ambos com 300 g/kg na formulação WP), apresentam um espectro ampliado de controle, com registros para até nove pragas distintas, incluindo importantes alvos adicionais como *Hypothenemus hampei*, *Gonipterus scutellatus*, *Coccus viridis* e *Diaphorina citri*.

Essa relação é coerente com achados da literatura, segundo os quais inseticidas microbiológicos com maiores concentrações tendem a ser mais eficazes no controle de pragas (De Oliveira et al., 2008; Gatarayiha; Laing; Miller, 2010). Em formulações mais concentradas, há uma maior disponibilidade de conídios viáveis, o que eleva a

probabilidade de infecção do hospedeiro e acelera o ciclo de colonização e morte do inseto-praga (Lorencetti et al., 2018). Como relatam Mishra, Kumar e Malik (2013), maior concentração implica maior esporulação, o que potencializa a eficácia do produto e pode, inclusive, gerar efeitos secundários como infecção em cadeia, característica observada, por exemplo, no BVR Lewis.

Ainda que todos os produtos avaliados compartilhem uma base comum de alvos (*Bemisia tabaci*, *Cosmopolites sordidus*, *Dalbulus maidis*, *Tetranychus urticae* e *Sphenophorus levis*), apenas aqueles com concentrações elevadas registraram ampliações relevantes no espectro de ação. Isso sugere que, além da formulação e da cepa empregada, a concentração pode ser um fator decisivo para a eficácia contra múltiplas pragas.

Essa tendência também se observa nos produtos que associam *B. bassiana* IBCB 66 com *Metarhizium anisopliae* IBCB 425, como o Bometil/Beaumetha (WP – 150 g/kg) e o MBC Vetor/Eficaz Pro (SC – 50 g/L). O primeiro, com concentração mais elevada, demonstrou um espectro ampliado, incluindo pragas como *Bemisia tabaci*, *Frankliniella occidentalis*, *Hypothenemus hampei*, *Sphenophorus levis* e *Tetranychus urticae*, além dos alvos em comum: *Dichelops furcatus* e *Euschistus heros*. Já o segundo, com concentração mais baixa, mantém-se restrito aos dois alvos em comum. Esses dados reforçam que, mesmo em formulações com múltiplos microrganismos, a concentração também influencia diretamente a amplitude do controle de pragas e a viabilidade do produto para diferentes contextos de manejo.

Ainda segundo Mishra, Kumar e Malik (2013), a concentração impacta diretamente os níveis de mortalidade, o que também pode explicar por que produtos com maior concentração apresentam maior número de pragas registradas. Contudo, como ressaltam Moino Jr. e Alves (1997), a concentração ideal deve ser adaptada ao organismo-alvo, já que diferentes pragas apresentam níveis distintos de suscetibilidade ao fungo entomopatogênico. Isso justifica o fato de produtos como o Fulminante Akb (50 mL/L), Boveril Cana (30 g/kg) e MBC Vetor (50 g/L) apresentarem registros mais restritos, apesar de utilizarem a mesma cepa ou a mesma associação de cepas.

Com base nos resultados obtidos, observa-se que os isolados *Beauveria bassiana* IBCB 66 e *Metarhizium anisopliae* IBCB 425 apresentam espectros de ação distintos, porém complementares, o que sugere um alto potencial de uso conjunto em programas de Manejo Integrado de Pragas (MIP). Enquanto *B. bassiana* se destaca

no controle de pragas sugadoras e broqueadoras, como *Bemisia tabaci*, *Diaphorina citri* e *Hypothenemus hampei*, *M. anisopliae* demonstra maior eficácia sobre pragas desfolhadoras e sugadoras de culturas anuais, como *Spodoptera frugiperda*, *Chrysodeixis includens* e *Euschistus heros*.

Essa complementaridade no espectro de ação entre os dois microrganismos pode ser estratégica para ampliar o alcance do controle biológico no campo, contribuindo para uma abordagem mais integrada e sustentável. Nesse sentido, compreender as interações entre fungos entomopatogênicos é fundamental para permitir sua aplicação sinérgica em programas de MIP, considerando fatores como compatibilidade, mecanismos de infecção e preferências ecológicas (Quesada-Moraga et al., 2022).

Além de seu efeito entomopatogênico direto, *B. bassiana* tem sido estudado por sua capacidade de colonizar tecidos vegetais como endófito, estimulando defesas naturais da planta e reforçando o controle indireto de pragas, como psíldeos e moscas brancas, especialmente em culturas como o tomate (Liu et al., 2025). Já *M. anisopliae* se destaca por sua competência rizosférica, interagindo com a microbiota do solo e favorecendo o controle de pragas que completam parte de seu ciclo de vida no ambiente subterrâneo, como *Scaptocoris castanea* e *Zulia entretriana* (Bamisile et al., 2021).

A literatura também aponta que o uso conjunto desses dois microrganismos pode gerar resultados promissores em campo. Estudos indicam que a aplicação conjunta de *B. bassiana* e *M. anisopliae* pode resultar em elevadas taxas de mortalidade para pragas como *Euschistus heros*, evidenciando uma sinergia entre os isolados (Da Silva et al., 2025). No entanto, é importante ressaltar que nem todos os ensaios de co-cultivo resultam em aumento da eficácia. Alguns experimentos relataram baixas taxas de controle, possivelmente associadas à competição por nutrientes, desequilíbrio metabólico ou outros fatores que limitam a produção de esporos e metabólitos essenciais à ação entomopatogênica (Da Silva et al., 2025).

Os inseticidas microbiológicos Buick e Baculomip-SF, ambos formulados com *Spodoptera frugiperda multiple nucleopolyhedrovirus* (*SfMNPV*), apresentam equivalência em seus princípios biológicos e mecanismos de ação. Ambos operam por meio da ingestão de partículas virais, que infectam o sistema digestivo da lagarta e resultam em sua morte após alguns dias. Um diferencial importante, comum a ambos os produtos, é a característica de gerar um novo ciclo infeccioso no ambiente após a morte do inseto-praga, promovendo um efeito residual sustentado. Esse

fenômeno é respaldado por estudos que indicam a excreção de partículas virais biologicamente ativas nas fezes das lagartas infectadas, o que possibilita a infecção de outros indivíduos mesmo antes da morte do hospedeiro (Ávila-Hernández et al., 2025). Tal dinâmica reforça a descrição encontrada nas bulas dos produtos, que se referem à “liquefação das lagartas e liberação de partículas” ou a “resíduos que geram novo ciclo”, consolidando o entendimento de que esse mecanismo constitui uma estratégia natural de autoinoculação altamente eficaz em campo.

Além disso, a elevada especificidade do *SfMNPV* à *Spodoptera frugiperda* é confirmada por revisões científicas que apontam mortalidades superiores a 90% em lagartas nos estágios iniciais de desenvolvimento (Behle; Popham, 2012). Isso justifica o uso exclusivo do vírus para o controle dessa praga, com a vantagem adicional de não afetar organismos não alvo, como polinizadores ou inimigos naturais (Abbas, 2020; Geisler et al., 2024). Entretanto, a eficácia do *SfMNPV* pode ser reduzida em lagartas mais velhas, com taxas de mortalidade variando de aproximadamente 42% a 79%, conforme demonstrado por Maciel et al. (2024). Esse dado ressalta a importância de realizar as aplicações no início do ciclo da praga, para garantir níveis de controle mais eficazes.

6. CONCLUSÕES

A presente pesquisa permitiu identificar as tendências emergentes no mercado de inseticidas microbiológicos, considerando tanto o panorama geral quanto para os produtos disponíveis para a cultura da soja no Brasil.

No panorama geral, identificou-se a predominância dos fungos entomopatogênicos, responsáveis por mais de 70% dos produtos registrados no país e cerca de 61% dos disponíveis para a soja. Entre estes, *Beauveria bassiana* e *Metarhizium anisopliae* se destacam por sua ampla aplicabilidade, viabilidade produtiva e compatibilidade com o manejo integrado de pragas. Já os produtos à base de bactérias se concentram majoritariamente em cepas de *Bacillus thuringiensis*, que apresentam diversidade significativa de espécies e de proteínas Cry, permitindo maior amplitude no controle de pragas. Os vírus entomopatogênicos, por sua vez, mantêm a tendência de elevada especificidade, com destaque para o *Spodoptera frugiperda multiple nucleopolyhedrovirus* (*SfMNPV*), cuja aplicação direcionada o coloca como um dos principais ingrediente ativo de vírus utilizado na sojicultura.

Quanto às formulações, observou-se a liderança do Pó Molhável (WP), seguido pelo crescimento da Suspensão Concentrada (SC), que se consolida como tendência pela praticidade de uso. Outras formulações, como WG, EC, OD, GR, SL, GL, SE e OP, aparecem em menor frequência, mas podem representar oportunidades de inovação tecnológica a serem exploradas.

No que se refere ao uso em agricultura orgânica, os fungos representam a maior proporção de ingredientes ativos com aprovação, o que reforça sua relevância nesse segmento. Contudo, uma parcela significativa de produtos ainda não apresenta especificação de referência quanto ao uso em sistemas orgânicos, o que representa uma lacuna importante para estudos futuros.

A investigação dos diferenciais tecnológicos evidenciou fatores como facilidade de armazenamento e estabilidade, espectro de ação e especificidade, sinergia e compatibilidade, variedade de formulações, mecanismos de ação e efeito residual como os principais atributos priorizados pelas empresas. Enquanto companhias nacionais tendem a investir em atributos relacionados à estabilidade e facilidade logística, multinacionais destacam tecnologias exclusivas e inovações patenteadas como diferencial competitivo. Também merece destaque a crescente tendência de misturas entre espécies fúngicas, que ampliam a eficácia de controle e abrem novas possibilidades de aplicação.

Outro ponto relevante identificado foi a possibilidade de multifuncionalidade dos inseticidas microbiológicos. Embora a literatura aponte para potencial de ação múltipla, os registros atuais indicam que a grande maioria dos produtos permanece com função única, sendo poucos os casos em que há também efeito acaricida.

Dessa forma, os resultados permitem concluir que o mercado brasileiro de inseticidas microbiológicos se encontra em expansão e diversificação, consolidado em fungos e em evolução no uso de bactérias e vírus. As tendências de crescimento de formulações SC, de misturas fúngicas, da exploração de proteínas Cry em *Bacillus thuringiensis* e do uso de vírus de alta especificidade refletem tanto as necessidades do campo quanto a capacidade tecnológica das empresas. Além disso, a existência de lacunas quanto ao uso em agricultura orgânica e o potencial ainda pouco explorado da multifuncionalidade abrem espaço para futuras pesquisas e oportunidades de inovação.

REFERÊNCIAS

- ABBAS, Mohamed Samir Tawfik. Interactions between baculoviruses and entomophagous insects. *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, v. 30, n. 1, p. 107, 2020.
- ALBERGONI, Leide; PELAEZ, Victor. Da revolução verde à agrobiotecnologia: ruptura ou continuidade de paradigmas?. *Revista de Economia*, v. 33, n. 1, 2007.
- ALTIERI, M. A.; NICHOLLS, C. I. *Agroecology and the Search for a Truly Sustainable Agriculture*. 1. ed. México D.F.: United Nations Environment Programme, 2005. p. 29.
- ALTIERI, Miguel A. Agroecology: A new research and development paradigm for world agriculture. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 27, n. 1-4, p. 37-46, 1989.
- ANDRADE, F. G.; NEGREIRO, M. C. C.; FALLEIROS, Â. MF. Aspectos dos mecanismos de defesa da lagarta da soja *Anticarsia gemmatalis* (hübner, 1818) relacionados ao controle biológico por *Baculovirus anticarsia* (agmnpv). *Arquivos do Instituto Biológico*, v. 71, n. 3, p. 391-398, 2004.
- ARAVINTHRAJU, Krishnamoorthy et al. Endophytic Entomopathogenic Fungi: Their Role in Enhancing Plant Resistance, Managing Insect Pests, and Synergy with Management Routines. *Journal of Fungi*, v. 10, n. 12, p. 865, 2024.
- ASSIS, Lucas Vinícius; DA SILVA, Eric Valero Carvalho. A importância da automação no processo de multiplicação de Bioinsumos Onfarm. *Research, Society and Development*, v. 12, n. 11, p. e85121143469-e85121143469, 2023.
- ÁVILA-HERNÁNDEZ, Eduardo et al. Fecal transmission of *Spodoptera frugiperda* multiple nucleopolyhedrovirus (SfMNPV; Baculoviridae). *Viruses*, v. 17, n. 3, p. 298, 2025.
- AYILARA, Modupe S. et al. Biopesticides as a promising alternative to synthetic pesticides: A case for microbial pesticides, phytopesticides, and nanobiopesticides. *Frontiers in Microbiology*, v. 14, p. 1040901, 2023.
- BAMISILE, Bamisope Steve et al. Model application of entomopathogenic fungi as alternatives to chemical pesticides: Prospects, challenges, and insights for next-generation sustainable agriculture. *Frontiers in Plant Science*, v. 12, p. 741804, 2021.
- BAKER, C. Jacyn et al. Inhibitory effect of *Bacillus subtilis* on *Uromyces phaseoli* and on development of rust pustules on bean leaves. *Phytopathology*, v. 73, n. 8, p. 1148-1152, 1983.
- BARNEY, Jay. Firm resources and sustained competitive advantage. *Journal of management*, v. 17, n. 1, p. 99-120, 1991.
- BARROS, Geraldo Sant'Ana de Camargo. *AGRONEGÓCIO: conceito e evolução*. 2022.

BATISTA FILHO, A. Histórico sobre o controle biológico de insetos no Instituto Biológico do estado de São Paulo. 1988.

BELO, Mariana Soares da Silva Peixoto et al. Uso de agrotóxicos na produção de soja do Estado do Mato Grosso: um estudo preliminar de riscos ocupacionais e ambientais. *Revista Brasileira de Saúde Ocupacional*, v. 37, p. 78-88, 2012.

BELTRÁN PINEDA, Mayra Eleonora; CASTELLANOS-ROZO, José. Bacterial insecticides beyond *Bacillus thuringiensis*. *Phytopathology Research*, v. 7, n. 1, p. 19, 2025.

BERIS, Evangelos; KORKAS, Elias. Additive and synergistic interactions of entomopathogenic fungi with *Bacillus thuringiensis* for the control of the European grapevine moth *Lobesia botrana* (Denis and Schiffermüller)(Lepidoptera: Tortricidae). *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, v. 31, n. 1, p. 109, 2021.

BETTIOL, Wagner; MORANDI, Marcelo AB. Situação do controle biológico de doenças de plantas no Brasil: história, pesquisa, comercialização e perspectivas. 2016.

BETTIOL, Wagner et al. Biocontrole de doenças de plantas: uso e perspectivas. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2009., 2009.

BJØRNSON, Susan; OI, David. Microsporidia biological control agents and pathogens of beneficial insects. *Microsporidia: pathogens of opportunity*, p. 635-670, 2014.

BLACHOWICZ, Adriana et al. Contributions of spore secondary metabolites to UV-C protection and virulence vary in different *Aspergillus fumigatus* strains. *MBio*, v. 11, n. 1, p. 10.1128/mbio.03415-19, 2020.

BLANFORD, Simon et al. Storage and persistence of a candidate fungal biopesticide for use against adult malaria vectors. *Malaria Journal*, v. 11, p. 1-14, 2012.

BONI, Valdete; QUARESMA, Sílvia Jurema. Aprendendo a entrevistar: como fazer entrevistas em Ciências Sociais. *Em tese*, v. 2, n. 1, p. 68-80, 2005.

BORLACHENCO, Natascha Góes Cintra; GONÇALVES, Ariadne Barbosa. Expansão agrícola: elaboração de indicadores de sustentabilidade nas cadeias produtivas de Mato Grosso do Sul. *Interações (Campo Grande)*, v. 18, n. 1, p. 119-128, 2017.

BOTELHO, Aline do Carmo França; MESQUITA, Juliana Luzia França. INOVAÇÕES NO CONTROLE DE PRAGAS AGRÍCOLAS. SUSTENTABILIDADE E INOVAÇÕES NO CAMPO, p. 19.

BOTELHO, Paulo SM et al. Associação do parasitóide de ovos *Trichogramma galloi* Zucchi (Hymenoptera: Trichogrammatidae) e do parasitóide larval *Cotesia flavipes* (Cam.)(Hymenoptera: Braconidae) no controle de *Diatraea*

saccharalis,(Fabr.)(Lepidoptera: Crambidae) em cana-de-açúcar. Anais da Sociedade Entomológica do Brasil, v. 28, p. 491-496, 1999.

BOUKOUVALA, Maria C.; KAVALLIERATOS, Nickolas G. Evaluation of two formulations of chlorantraniliprole as maize protectants for the management of *Prostephanus truncatus* (Horn)(Coleoptera: Bostrychidae). *Insects*, v. 12, n. 3, p. 194, 2021.

BRAR, Satinder K. et al. Recent advances in downstream processing and formulations of *Bacillus thuringiensis* based biopesticides. *Process biochemistry*, v. 41, n. 2, p. 323-342, 2006.

BRASIL. Decreto nº 10.375, de 26 de maio de 2020. Presidência da República, 2020. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/decreto/d10375.htm. Acesso em: 9 jul. 2024.

BRASIL. Lei nº 14.785, de 27 de junho de 2023. Dispõe sobre a regulamentação, fiscalização e controle de produtos agrotóxicos. *Diário Oficial da União, Brasília, DF*, 28 jun. 2023. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2023-2026/2023/Lei/L14785.htm#art65. Acesso em: 12 set.2024.

BRASIL. Lei nº 15.070, de 23 de dezembro de 2024. Dispõe sobre a produção, a importação, a exportação, o registro, a comercialização, o uso, a inspeção, a fiscalização, a pesquisa, a experimentação, a embalagem, a rotulagem, a propaganda, o transporte, o armazenamento, as taxas, a prestação de serviços, a destinação de resíduos e embalagens e os incentivos à produção de bioinsumos para uso agrícola, pecuário, aquícola e florestal. *Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF*, 24 dez. 2024.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Bioinsumos. 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/inovacao/bioinsumos/o-programa/conceitos>. Acesso em: 09 jul. 2024.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa Conjunta nº 3, de 10 de março de 2006. Estabelece procedimentos a serem adotados para efeito de registro de agentes microbiológicos empregados no controle de uma população ou de atividades biológicas de um outro organismo vivo. *Diário Oficial da União, Brasília, DF*,2006.

BRASIL. Portaria Conjunta SDA/MAPA/IBAMA/ANVISA nº 1, de 10 de abril de 2023. Estabelece procedimentos no registro de produtos microbiológicos empregados no controle de pragas ou como desfolhantes, dessecantes, estimuladores, inibidores de crescimento. *Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF*, 4 maio 2023. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-conjunta-sda/mapa-ibama-anvisa-n-1-de-10-de-abril-de-2023-480871674>. Acesso em: 10 out. 2024.

BRAVO, Alejandra et al. *Bacillus thuringiensis*: a story of a successful bioinsecticide. *Insect biochemistry and molecular biology*, v. 41, n. 7, p. 423-431, 2011.

BUENO, A. F., Sosa-Gómez, D. R., Corrêa-Ferreira, B. S., Moscardi, F. & Bueno, R. C. O. F. Inimigos naturais das pragas da soja. In: Hoffmann-Campos, C. B., Corrêa-Ferreira, B. S. & Moscardi, F. Soja: manejo integrado de insetos e outros artrópodes-praga. Brasília: Embrapa, 2012.

BEHLE, Robert W.; POPHAM, Holly JR. Laboratory and field evaluations of the efficacy of a fast-killing baculovirus isolate from *Spodoptera frugiperda*. *Journal of invertebrate pathology*, v. 109, n. 2, p. 194-200, 2012.

BUENO, Mariana R.; CUNHA, João Paulo AR DA. Environmental risk for aquatic and terrestrial organisms associated with drift from pesticides used in soybean crops. *Anais Da Academia Brasileira de Ciências*, v. 92, p. e20181245, 2020.

BULLA JR, Lee A.; KRAMER, KARL J.; DAVIDSON, LOREN I. Characterization of the entomocidal parasporal crystal of *Bacillus thuringiensis*. *Journal of bacteriology*, v. 130, n. 1, p. 375-383, 1977.

BUZATTO, David. Especificidade de Proteínas Cry de *Bacillus thuringiensis* baseada nas características conformacionais de suas estruturas terciárias. 2017.
CARSON, Rachel. *Silent spring*. Boston: Houghton Mifflin, 1962.

CASADO, Adrieli Fernanda. Atividade de formulações microencapsuladas de *Bacillus thuringiensis* em condições de laboratório e campo, na cultura da soja (*Glycine max* (L.), PARA *Spodoptera frugiperda* (LEPIDOPTERA: NOCTUIDAE). 2024.

CODEPLAN. Atlas do Distrito Federal 2020 – Capítulo 4. Brasília, 2020. Disponível em: <http://www.codeplan.df.gov.br/wp-content/uploads/2018/05/Atlas-do-DistritoFederal-2020-Cap%C3%ADtulo-4.pdf>. Acesso em: 09 jul. 2024.

COSMANN, Natássia Jersak; DRUNKLER, Deisy Alessandra. Agrotóxicos utilizados nas culturas de milho e soja em Cascavel, PR. *Revista Eletrônica Científica Inovação e Tecnologia*, v. 3, n. 6, p. 15-32, 2012.

COSTA, Ana Alexandra Vilela Marta Rio. Agricultura sustentável I: conceitos. *Revista de Ciências Agrárias*, v. 33, n. 2, p. 61-74, 2010.

CRIALESI-LEGORI, Paula Cristina Brunini et al. Interação de proteínas Cry1 e Vip3A de *Bacillus thuringiensis* para controle de lepidópteros-praga. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 49, p. 79-87, 2014.

CROP LIFE BRASIL. BASE.DIGITAL. Produtos biológicos registrados - Publicações. Disponível em: <https://croplifebrasil.org/publicacoes/produtos-biologicos-registrados/>. Acesso em: 26 jun. 2024.

DA SILVA ALMEIDA, Andreia et al. Biological inputs, more economy and greater sustainability. In: *Colloquium Agrariae*. 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.

DA SILVA, Edna Lucia; MENEZES, Estera Muszkat. Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação. UFSC, Florianópolis, 4a. edição, v. 123, n. 4, p. 138, 2005.

DA SILVA, Maria Cristina Mattar et al. Metodologia para a avaliação in vitro de dsRNAs para o controle biotecnológico da broca-do-café. 2024.

DALL'AGNOL, Amélio et al. A Embrapa Soja no contexto do desenvolvimento da soja no Brasil: histórico e contribuições. 2016.

DAS, Purnima et al. Influence of storage conditions on viability and infectivity of talc based WP formulation of *Beauveria bassiana* against rice hispa, *Dicladispa armigera* (Olivier). *Journal of Biological Control*, p. 229–233-229–233, 2013.

DAVIS, John; GOLDBERG, Ray. The genesis and evolution of agribusiness. Davis, J. and Goldberg, R. *A Concept of Agribusiness*, p. 4-6, 1957.

DE CAMPOS, Ben-Hur Costa. Dose de inoculante turfoso para soja em plantio direto. *Ciência Rural*, v. 29, p. 423-426, 1999.

DE CASTRO, Maria Elita Batista et al. Controle de artrópodes-praga com vírus entomopatogênicos. 2020.

DE FREITAS BUENO, Adeney et al. Effects of integrated pest management, biological control and prophylactic use of insecticides on the management and sustainability of soybean. *Crop Protection*, v. 30, n. 7, p. 937-945, 2011.

DE OLIVEIRA, Marco Aurélio Paes et al. Efeito de *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuill. e *Metarhizium anisopliae* (Metsch.) Sorok. sobre características biológicas de *Diatraea saccharalis* F.(Lepidoptera: Crambidae). *Acta Scientiarum. Biological Sciences*, v. 30, n. 2, p. 219-224, 2008.

DE OLIVEIRA RIBEIRO, Luiz Augusto et al. Panorama sobre o uso de agrotóxicos no Brasil (2009-2019): Riscos, benefícios e alternativas. *Revista Brasileira de Meio Ambiente*, v. 10, n. 2, 2022.

DE SOUSA DIAS, José Manoel Cabral. Produção e utilização de bioinseticidas bacterianos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 27, n. 13, p. 59-76, 1992.

DE SOUSA, Jeremias Marques; SAMPAIO, Renata Martins. Especificações de referência: um estudo sobre o controle biológico na agricultura orgânica brasileira. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, v. 19, n. 2, p. 72-79, 2024.

DE SOUZA LIMA, Gláucia Manoella. Proteínas bioinseticidas produzidas por *Bacillus thuringiensis*. Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agronômica, v. 7, p. 119-137, 2010.

DE SOUZA LOUREIRO, Elisângela et al. Benefícios econômicos do manejo biológico de *Heterodera glycines* na cultura da soja. Revista de Gestão e Secretariado, v. 15, n. 1, p. 102-113, 2024.

DE SOUZA LOUREIRO, Elisângela et al. In vitro compatibility between insecticides and the commercial bioinsecticide Agree® WG. Revista de Agricultura Neotropical, v. 7, n. 1, p. 49-52, 2020.

DE SOUZA LOUREIRO, Elisângela et al. Manejo de *Spodoptera cosmioides* (Walker)(Lepidoptera: Noctuidae) com bioinseticidas. Research, Society and Development, v. 9, n. 7, p. e280974142-e280974142, 2020.

DINARDO-MIRANDA, Leila Luci et al. Biological control of phytoparasitic nematodes in sugarcane fields. Pesquisa Agropecuária Tropical, v. 52, p. e73758, 2022.

DISNER, Geonildo Rodrigo et al. The toxic effects of glyphosate, chlorpyrifos, abamectin, and 2, 4-D on animal models: A systematic review of Brazilian studies. Integrated Environmental Assessment and Management, v. 17, n. 3, p. 507-520, 2020.

DO NASCIMENTO FREIRE, Antonia Fábila et al. Importance, challenges and perspectives of using fungi in the biological control of plant diseases for Brazilian agriculture: Importância, desafios e perspectivas de uso de fungos no controle biológico de doenças de plantas para a agricultura brasileira. Concilium, v. 24, n. 1, p. 485-504, 2024.

EMBRAPA. A agricultura brasileira. VII Plano Diretor, 2020. Disponível em: <https://www.embrapa.br/vii-plano-diretor/a-agricultura-brasileira#:~:text=%C3%89%20um%20dos%20setores%20que,...%2C%202020>. Acesso em: 9 jul. 2024.

ERDOĞAN, Oktay; SAĞLAN, Zehra. In Vitro Compatibility of Entomopathogenic Fungi *Beauveria Bassiana* (Bals.) Vuill. with Different Fungicides. Black Sea Journal of Agriculture, v. 6, n. 4, p. 416-421, 2023.

ETZKOWITZ, Henry; LEYDESDORFF, Loet. The dynamics of innovation: from National Systems and “Mode 2” to a Triple Helix of university–industry–government relations. Research policy, v. 29, n. 2, p. 109-123, 2000.

FAITA, Marcia Regina; PEREIRA, Erick; POLTRONIERI, Alex Sandro. Effect of entomopathogenic fungus-formulated bioinsecticides on stingless bees (Hymenoptera: Apidae: Meliponini) in the laboratory. Journal of Apicultural Research, p. 1-8, 2023.

FARIA, Neice Müller Xavier; FASSA, Anaclaudia Gastal; FACCHINI, Luiz Augusto. Intoxicação por agrotóxicos no Brasil: os sistemas oficiais de informação e desafios

para realização de estudos epidemiológicos. *Ciência & Saúde Coletiva*, v. 12, p. 25-38, 2007.

FINKLER, Christine Lamenha Luna. Controle de insetos: uma breve revisão. *Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agronômica*, v. 8, p. 169-189, 2011.

FLORENCIO, Camila et al. Avanços na produção e formulação de inoculantes microbianos visando uma agricultura mais sustentável. *Química Nova*, v. 45, n. 9, p. 1133-1145, 2022.

FONSECA, Maria Fernanda de Albuquerque Costa. *Agricultura orgânica*. Niterói: Pesagro-Rio, 2009.

FONTANA, Felipe; PEREIRA, Ana Carolina Torrente. Pesquisa documental. *Metodologia da pesquisa em educação e ensino de ciências*, v. 2, p. 42-58, 2023.

FRANCHINI, J. C. et al. Contribuição de sistemas de manejo do solo para a produção sustentável da soja. 2008.

FRANCIS, Charles et al. Agroecology: The ecology of food systems. *Journal of sustainable agriculture*, v. 22, n. 3, p. 99-118, 2003.

FREITAS, Márcio. A cultura da soja no Brasil: o crescimento da produção brasileira e o surgimento de uma nova fronteira agrícola. *Enciclopédia Biosfera*, v. 7, n. 12, 2011.

FRIEDRICH, Karen et al. Toxicologia crítica aplicada aos agrotóxicos—perspectivas em defesa da vida. *Saúde em debate*, v. 46, n. spe2, p. 293-315, 2022.

GALLO, Domingos et al. *Entomologia Agrícola*. Volume 10. São Paulo: Biblioteca de Ciências Agrárias Luiz de Queiroz, 2002.

GARCÍA, Luis Manuel Hernández. *Princípios e fundamentos ecológicos aplicados na busca de uma produção sustentável*. 2021.

GASQUES, José Garcia et al. *Produtividade total dos fatores na agricultura-Brasil e países selecionados*. 2022.

GATARAYIHA, Mutimura C.; LAING, Mark D.; MILLER, Ray M. Effects of adjuvant and conidial concentration on the efficacy of *Beauveria bassiana* for the control of the two spotted spider mite, *Tetranychus urticae*. *Experimental and Applied Acarology*, v. 50, p. 217-229, 2010.

GEISLER, Fernanda Carla Santos et al. The Biological Activity of an Sf MNPV-Based Biopesticide on a Resistant Strain of *Spodoptera frugiperda* Developing on Transgenic Corn Expressing Cry1A. 105+ Cry2Ab2+ Cry1F Insecticidal Protein. *Agronomy*, v. 14, n. 8, p. 1632, 2024.

GHINI, Raquel; BETTIOL, Wagner. *Proteção de plantas na agricultura sustentável*. *Cadernos de Ciência & Tecnologia*, v. 17, n. 1, p. 61-70, 2000.

HAASE, Santiago; SCIOCCO-CAP, Alicia; ROMANOWSKI, Víctor. Baculovirus insecticides in Latin America: historical overview, current status and future perspectives. *Viruses*, v. 7, n. 5, p. 2230-2267, 2015.

HADDAD, Marinéia de Lara et al. Field persistence of *Bacillus thuringiensis* on maize leaves (*Zea mays* L.). *Brazilian Journal of Microbiology*, v. 36, p. 309-314, 2005.

HALDER, Jaydeep; MAJUMDER, Sujan; RAI, A. B. Compatibility and combined efficacy of entomopathogenic fungi and neonicotinoid insecticides against *Myzus persicae* (Sulzer): An ecofriendly approach. *Entomologia Hellenica*, v. 30, n. 1, p. 24-32, 2021.

HAMILTON, Shane. Revisiting the history of agribusiness. *Business history review*, v. 90, n. 3, p. 541-545, 2016.

HAZRA, Dipak Kumar; PURKAIT, Alope. Role of pesticide formulations for sustainable crop protection and environment management: A review. *J. Pharmacogn. Phytochem*, v. 8, n. 2, p. 686-693, 2019.

HERNÁNDEZ, M. M. et al. Compatibility of the entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana* with flufenoxuron and azadirachtin against *Tetranychus urticae*. *Experimental and Applied Acarology*, v. 58, p. 395-405, 2012.

HERNANDEZ-TENORIO, Fabian et al. Potential strategies in the biopesticide formulations: a bibliometric analysis. *Agronomy*, v. 12, n. 11, p. 2665, 2022.
HERRERA, Wence; VALBUENA, Oscar; PAVONE-MANISCALCO, Domenico. Formulation of *Trichoderma asperellum* TV190 for biological control of *Rhizoctonia solani* on corn seedlings. *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, v. 30, p. 1-8, 2020.

HIRAKURI, Marcelo Hiroshi; LAZZAROTTO, Joelsio José. *O agronegócio da soja nos contextos mundial e brasileiro*. 2014.

HODGSON, Jeffrey J.; KRELL, Peter J.; PASSARELLI, A. Lorena. Mature viral cathepsin is required for release of viral occlusion bodies from *Autographa californica* multiple nucleopolyhedrovirus-infected cells. *Virology*, v. 556, p. 23-32, 2021.

HUNGRIA, Mariangela. *Inoculação com *Azospirillum brasilense*: inovação em rendimento a baixo custo*. 2011.

IBGE. *Panorama do Distrito Federal. Cidades*, 2024. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/df/panorama>. Acesso em: 9 jul. 2024.

ISHIMWE, Egide et al. Reaching the melting point: Degradative enzymes and protease inhibitors involved in baculovirus infection and dissemination. *Virology*, v. 479, p. 637-649, 2015.

JACQUET, Florence et al. Pesticide-free agriculture as a new paradigm for research. *Agronomy for Sustainable Development*, v. 42, n. 1, p. 8, 2022.

JALALI, Elham; MAGHSOUDI, Shahab. Enhancing UV radiation protection of *Bacillus thuringiensis* formulations using sulfur quantum dots: synthesis and efficacy evaluation. *Scientific Reports*, v. 14, n. 1, p. 17384, 2024.

JALALI, Elham; MAGHSOUDI, Shahab; NOROOZIAN, Ebrahim. Ultraviolet protection of *Bacillus thuringiensis* through microencapsulation with Pickering emulsion method. *Scientific Reports*, v. 10, n. 1, p. 20633, 2020.

JALLOULI, Wafa et al. Efficacy of olive mill wastewater for protecting *Bacillus thuringiensis* formulation from UV radiations. *Acta Tropica*, v. 140, p. 19-25, 2014.

JARDIM, Isabel Cristina Sales Fontes; ANDRADE, Juliano de Almeida; QUEIROZ, Sonia Cláudia do Nascimento de. Resíduos de agrotóxicos em alimentos: uma preocupação ambiental global-Um enfoque às maçãs. *Química Nova*, v. 32, p. 996-1012, 2009.

JORGE, Daniela Macêdo; SOUZA, Carlos Augusto Vaz de. O papel da regulamentação dos produtos de origem biológica no avanço da agroecologia e da produção orgânica no Brasil. 2017.

KAISER, Deborah et al. Efficiency of natural substances to protect *Beauveria bassiana* conidia from UV radiation. *Pest management science*, v. 75, n. 2, p. 556-563, 2019.

KHAN, Amir et al. Microbial bioformulation: a microbial assisted biostimulating fertilization technique for sustainable agriculture. *Frontiers in Plant Science*, v. 14, p. 1270039, 2023.

KHUN, Kim Khuy et al. Compatibility of *Metarhizium anisopliae* and *Beauveria bassiana* with insecticides and fungicides used in macadamia production in Australia. *Pest Management Science*, v. 77, n. 2, p. 709-718, 2021.

KOGAN, Marcos; BAJWA, Waheed I. Integrated pest management: a global reality?. *Anais da Sociedade Entomológica do Brasil*, v. 28, p. 01-25, 1999.

KOGAN, Marcos. Integrated pest management: historical perspectives and contemporary developments. *Annual review of entomology*, v. 43, n. 1, p. 243-270, 1998.

KRIPKA, Rosana; SCHELLER, Morgana; BONOTTO, Danusa Lara. Pesquisa Documental: considerações sobre conceitos e características na Pesquisa Qualitativa. *CIAIQ2015*, v. 2, 2015.

LEITE, João Guilherme Dal Belo; CORREIA, Dheicy Luana Gomes; DEOTI, Diogo Antonio. Resíduos de agrotóxicos em alimentos in natura no Oeste de Santa Catarina, Brasil. *Agropecuária Catarinense*, v. 37, n. 2, p. 13-15, 2024.

LIN, Fuyong et al. Towards sustainable green adjuvants for microbial pesticides: recent progress, upcoming challenges, and future perspectives. *Microorganisms*, v. 11, n. 2, p. 364, 2023.

LIU, Mengying et al. *Beauveria bassiana* Induces Strong Defense and Increases Resistance in Tomato to *Bemisia tabaci*. *Journal of Fungi*, v. 11, n. 2, p. 141, 2025.

LIU, Yuying et al. Impacts of technology training provided by agricultural cooperatives on farmers' adoption of biopesticides in China. *Agriculture*, v. 12, n. 3, p. 316, 2022.

LOPES, Carla Vanessa Alves; ALBUQUERQUE, Guilherme Souza Cavalcanti de. Agrotóxicos e seus impactos na saúde humana e ambiental: uma revisão sistemática. *Saúde em debate*, v. 42, n. 117, p. 518-534, 2018.

LORENCETTI, Grasielle Adriane Toscan et al. Eficiência de *Beauveria bassiana* Vuill. e *Isaria* sp. para o controle de *Thaumastocoris peregrinus* Carpintero & Dellapé (Hemiptera: Thaumastocoridae). *Ciência Florestal*, v. 28, p. 403-411, 2018.

MACIEL, Rodrigo MA et al. The use of baculovirus *Spodoptera SfMNPV* alone and combined with herbicides and adjuvant to control *Spodoptera frugiperda* (Smith, 1797)(Lepidoptera: Noctuidae). *Biological Control*, v. 188, p. 105408, 2024.

MARUYAMA, Cintia Rodrigues et al. Encapsulation of *Trichoderma harzianum* preserves enzymatic activity and enhances the potential for biological control. *Frontiers in bioengineering and biotechnology*, v. 8, p. 225, 2020.

MASCARIN, Gabriel Moura et al. Current status and perspectives of fungal entomopathogens used for microbial control of arthropod pests in Brazil. *Journal of invertebrate pathology*, v. 165, p. 46-53, 2019.

MEDAETS, Jean Pierre Passos; FORNAZIER, Armando; THOMÉ, Karim Marini. Transition to sustainability in agrifood systems: Insights from Brazilian trajectories. *Journal of Rural Studies*, v. 76, p. 1-11, 2020.

MEYER, Maurício Conrado et al. *Bioinsumos na cultura da soja*. Embrapa Soja: Londrina, Brazil, 2022.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO (MAPA). AGROFIT. MAPA Indicadores, 2024. Disponível em: <https://mapa-indicadores.agricultura.gov.br/publico/extensions/AGROFIT/AGROFIT.html>. Acesso em: 9 jul. 2024.

MISHRA, Sapna; KUMAR, Peeyush; MALIK, Anushree. Preparation, characterization, and insecticidal activity evaluation of three different formulations of *Beauveria bassiana* against *Musca domestica*. *Parasitology research*, v. 112, p. 3485-3495, 2013.

MOINO JR, Alcides; ALVES, Sérgio B. Determinação de concentrações de *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuill. para o controle de insetos-pragas de grãos armazenados. *Anais da Sociedade Entomológica do Brasil*, v. 26, p. 15-20, 1997.

MOORE, James F. Predators and prey: a new ecology of competition. *Harvard business review*, v. 71, n. 3, p. 75-86, 1993.

MOUSTAFA, Moataz AM et al. Influence of some environmental conditions on stability and activity of *Bacillus thuringiensis* formulations against the cotton leaf worm, *Spodoptera littoralis* (Boisd.)(Lepidoptera: Noctuidae). *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, v. 28, p. 1-7, 2018.

NAMSENA, Piyarat; BUSSAMAN, Prapassorn; RATTANASENA, Paweena. Bioformulation of *Xenorhabdus stockiae* PB09 for controlling mushroom mite, *Luciaphorus perniciosus* Rack. *Bioresources and Bioprocessing*, v. 3, p. 1-7, 2016.

NAWAZ, Ahmad et al. Compatibility and synergistic interactions of fungi, *Metarhizium anisopliae*, and insecticide combinations against the cotton aphid, *Aphis gossypii* Glover (Hemiptera: Aphididae). *Scientific Reports*, v. 12, n. 1, p. 4843, 2022.

NEGI, Rajeshwari et al. Microbial antagonists: diversity, formulation and applications for management of pest-pathogens. *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, v. 33, n. 1, p. 105, 2023.

NOOR, Panhwer Sana et al. Molecular Identification of *Hyalomma* Ticks and Application of *Bacillus thuringiensis* Toxins as an Effective Biological Acaricide. *Journal of Parasitology Research*, v. 2024, n. 1, p. 9952738, 2024.

ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT (OECD); EUROSTAT. Oslo Manual: Guidelines for Collecting and Interpreting Innovation Data. 3rd ed. Paris: OECD Publishing, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1787/9789264013100-en>. Acesso em: 13 Jun 2025.

OLLINAHO, Ossi I.; PEDLOWSKI, Marcos A.; KRÖGER, Markus. Toxic turn in Brazilian agriculture? The political economy of pesticide legalisation in post-2016 Brazil. *Third World Quarterly*, v. 44, n. 3, p. 612-630, 2023.

OLIVEIRA, Vanuze Costa de et al. Bioinputs and organic production in Brazil: a study based on the Embrapa's Bioinsumos application. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v. 53, p. e76326, 2023.

OLIVEIRA-FILHO, E. C. Avaliação da periculosidade ambiental de bioinseticidas como uma nova perspectiva para a ecotoxicologia no Brasil. *J Braz Soc Ecotoxicol*, v. 3, n. 1, p. 1-7, 2008.

OLIVEIRA-FILHO, Eduardo Cyrino. Segurança de agentes microbiológicos para o controle de pragas: avaliação toxicológica. *Revista Brasileira de Toxicologia*, v. 18, n. 1, p. 71-75, 2005.

ORIQUI, Luciana R. et al. Definição de shelf life para produtos químicos: a importância de um guia de estabilidade específico para o segmento. *Química nova*, v. 34, p. 1869-1874, 2011.

ORIQUI, Luciana R.; MORI, Milton; WONGTSCHOWSKI, Pedro. Guia para a determinação da estabilidade de produtos químicos. *Química nova*, v. 36, p. 340-347, 2013.

PASCUTTI, Márcia Cristina Dadalto; SILVESTRE, Regina da Silva Ferreira; ORTIZ, Thiago Alberto. O papel dos microrganismos na agricultura sustentável: uma revisão The role of microorganisms in sustainable agriculture: a review El papel de los microorganismos en la agricultura sostenible: una revisión, 2024.

PATIL, S. D.; JADHAV, R. S. Studies on the effect of storage on viability of wettable powder (WP) formulations of the entomopathogenic fungi *Metarhizium anisopliae* (Metschnikoff) Sorokin. 2019.

PAVITT, Keith. Sectoral patterns of technical change: towards a taxonomy and a theory. *Research policy*, v. 13, n. 6, p. 343-373, 1984.

PELIZZA, Sebastian A. et al. Compatibility of chemical insecticides and entomopathogenic fungi for control of soybean defoliating pest, *Rachiplusia nu.* *Revista Argentina de microbiología*, v. 50, n. 2, p. 189-201, 2018.

PEREIRA, Samuel Luan et al. Pathogenicity of *Metarhizium anisopliae* and *Beauveria bassiana* fungi to *Tetranychus ludeni* (Acari: Tetranychidae). *Arquivos do Instituto Biológico*, v. 86, p. e0272018, 2019.

PINHEIRO, Daniele Heloísa; VALICENTE, Fernando Hercos. Identification of *Bacillus thuringiensis* strains for the management of lepidopteran pests. *Neotropical Entomology*, v. 50, n. 5, p. 804-811, 2021.

PINHO, Alexandra De et al. Agrotóxicos e violações nos direitos à saúde e à soberania alimentar em comunidades Guarani Kaiowá de MS, Brasil. *Ciência & Saúde Coletiva*, v. 29, p. e06462024, 2024.

PINTO, Laura et al. *Bacillus thuringiensis* monogenic strains: screening and interactions with insecticides used against rice pests. *Brazilian Journal of Microbiology*, v. 43, p. 618-626, 2012.

PRETTY, Jules. Agricultural sustainability: concepts, principles and evidence. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, v. 363, n. 1491, p. 447-465, 2008.

PŮŽA, Vladimír; TARASCO, Eustachio. Interactions between entomopathogenic fungi and entomopathogenic nematodes. *Microorganisms*, v. 11, n. 1, p. 163, 2023.

QI, Qi et al. Preparation of *Trichoderma asperellum* microcapsules and biocontrol of cucumber powdery mildew. *Microbiology Spectrum*, v. 11, n. 3, p. e05084-22, 2023.

QUESADA-MORAGA, Enrique et al. Ecosystem services of entomopathogenic ascomycetes. *Journal of Invertebrate Pathology*, v. 201, p. 108015, 2023.

QUESADA-MORAGA, Enrique et al. Multitrophic interactions of entomopathogenic fungi in BioControl. *BioControl*, v. 67, n. 5, p. 457-472, 2022.

RAGASRUTHI, M. et al. *Bacillus thuringiensis* (Bt)-based biopesticide: Navigating success, challenges, and future horizons in sustainable pest control. *Science of The Total Environment*, p. 176594, 2024.

RIBEIRO, Suellen Dayse de Moura et al. A comercialização de agrotóxicos e o modelo químico-dependente da agricultura do Brasil. *Saúde em Debate*, v. 46, p. 210-223, 2022.

ROCHA, Thiago Moura et al. Agricultural bioinputs obtained by solid-state fermentation: From production in biorefineries to sustainable agriculture. *Sustainability*, v. 16, n. 3, p. 1076, 2024.

RUTHS, Jéssica Cristina; STADUTO, Jefferson Andronio Ramundo; COLLA, Crislaine. Consumo de agrotóxicos no estado do Paraná entre 2013 e 2020. *Revista Brasileira de Meio Ambiente*, v. 12, n. 1, 2024.

SANJUÁN PINILLA, Juan; MORENO SARMIENTO, Nubia. Aplicación de insumos biológicos: una oportunidad para la agricultura sostenible y amigable con el medioambiente. *Revista Colombiana de Biotecnología*, v. 12, n. 1, p. 4-7, 2010.

SANTOS, Cinthya Amaral. A TOXIDADE DOS AGROTÓXICOS USADOS NA LAVOURA DE SOJA NA CIDADE DE CATALÃO-GO, E SEUS IMPACTOS NO AMBIENTE—UM ESTUDO DE CASO. *Novos Direitos*, v. 1, n. 1, p. 58-76, 2014.

SANTOS, Mariana Sanches; NOGUEIRA, Marco Antonio; HUNGRIA, Mariangela. Microbial inoculants: reviewing the past, discussing the present and previewing an outstanding future for the use of beneficial bacteria in agriculture. *Amb Express*, v. 9, n. 1, p. 205, 2019.

SÁ-SILVA, Jackson Ronie et al. Pesquisa documental: pistas teóricas e metodológicas. *Revista brasileira de história & ciências sociais*, v. 1, n. 1, p. 1-15, 2009.

SCHNEPF, E. et al. *Bacillus thuringiensis* and its pesticidal crystal proteins. *Microbiology and molecular biology reviews*, v. 62, n. 3, p. 775-806, 1998.

SCHUMPETER, Joseph. *Teoria do desenvolvimento econômico*. São Paulo: Abril, 1982.

SCHÜNEMANN, Rogério; KNAAK, Neiva; FIUZA, Lidia Mariana. Mode of action and specificity of *Bacillus thuringiensis* toxins in the control of caterpillars and stink bugs in soybean culture. *International Scholarly Research Notices*, v. 2014, n. 1, p. 135675, 2014.

SEVERINO, José Junior; DOS REIS, Luiz Carlos; ORTIZ, Thiago Alberto. Relações sojox agentes polinizadores em sistemas de produção agrícola. *CONTRIBUCIONES A LAS CIENCIAS SOCIALES*, v. 17, n. 1, p. 7621-7641, 2024.

SIEBEN, Airtton; MACHADO, Carlos Augusto. Histórico e contextualização sócio-econômica e ambiental da soja (*Glycine max*) no Brasil. *Geoambiente On-line*, n. 7, p. 01-18 pág., 2006.

SILVA, Fabíola J. et al. Rizobactérias associadas a materiais orgânicos no controle de nematoides das galhas em tomateiro. *Horticultura brasileira*, v. 34, p. 59-65, 2016.

SILVA, Ingrid Reis; SOUZA, Ivanete Ferreira de; MATOS, Rosangela Santana Martins de. UTILIZAÇÃO DE BACTÉRIAS NO CONTROLE DE FUNGOS FITOPATOGÊNICOS DE IMPORTÂNCIA ECONÔMICA. In: *BIOLOGIA: ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO-UMA ABORDAGEM DO CONHECIMENTO CIENTÍFICO NAS DIFERENTES ESFERAS DO SABER*. Editora Científica Digital, 2021. p. 199-205.

SILVA-WERNECK, Joseilde Oliveira et al. Novo isolado de *Bacillus thuringiensis* efetivo contra a lagarta-do-cartucho. *Pesquisa agropecuária brasileira*, v. 35, p. 221-227, 2000.

SOARES, Cleber Oliveira. O próximo salto da agricultura. *AgroANALYSIS*, v. 42, n. 4, p. 21-22, 2022.

SPARKS, Thomas C. et al. Sulfoxaflor and the sulfoximine insecticides: chemistry, mode of action and basis for efficacy on resistant insects. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, v. 107, n. 1, p. 1-7, 2013.

SUELA, Sólton Colodetti; DA SILVA PORTO, Paulo Sérgio; DE FREITAS, Rodrigo Randow. Tratamento de águas residuais para produção de estruvita: um estudo bibliométrico. *Research, Society and Development*, v. 7, n. 9, p. e1179380-e1179380, 2018.

TADROS, Tharwat F. *Encyclopedia of colloid and interface science*. (No Title), 2013.
TAMAI, M. A. et al. Avaliação de fungos entomopatogênicos para o controle de *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae). *Arquivos do Instituto Biológico*, v. 69, p. 77-84, 2024.

TEIXIDÓ, Neus; USALL, Josep; TORRES, Rosario. Insight into a successful development of biocontrol agents: Production, formulation, packaging, and shelf life as key aspects. *Horticulturae*, v. 8, n. 4, p. 305, 2022.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE (USDA). Brazilian legislation for biopesticides – On-farm biopesticides production. São Paulo: ATO, 2022. (GAIN Report BR2022-0045). Disponível em: https://apps.fas.usda.gov/newgainapi/api/Report/DownloadReportByFileName?fileName=Brazilian%20Legislation%20for%20Biopesticides%20-%20On-farm%20Biopesticides%20Production_Sao%20Paulo%20ATO_Brazil_BR2022-0045.pdf. Acesso em: 14 maio 2025.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE (USDA). Improve Formulation Technology Biological Control Agents of Agricultural Pests and Weeds. Disponível em: <https://portal.nifa.usda.gov/web/crisprojectpages/0405862-improve-formulation-technology-biological-control-agents-of-agricultural-pests-and-weeds.html>. Acesso em: 4 jun. 2025.

VIDAL, Mariane Carvalho; DIAS, Rogerio Pereira. Bioinsumos a partir das contribuições da Agroecologia. 2023.

VIEIRA FILHO, José Eustáquio Ribeiro. A produção de soja e sua importância na economia brasileira. Revista de Política Agrícola, v. 33, p. e01962, 2024

VIEIRA NETO, Santiel Alves et al. Formas de aplicação de inoculante e seus efeitos sobre a nodulação da soja. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 32, p. 861-870, 2008.

VIEIRA, NQB et al. Cultivation of yellow melon subjected to different irrigation levels and application of arbolina biostimulant. 2024.

VILELA, L. et al. A cultura da soja em solos de cerrados do Distrito Federal. 1978.

WARI, David et al. Augmentation and compatibility of *Beauveria bassiana* with pesticides against different growth stages of *Bemisia tabaci* (Gennadius); an in vitro and field approach. Pest Management Science, v. 76, n. 9, p. 3236-3252, 2020.

INOVAÇÕES NO MERCADO DE INSETICIDAS MICROBIOLÓGICOS PARA A PRODUÇÃO DE SOJA NO BRASIL

Você está sendo convidado(a) a participar da pesquisa intitulada *Inovações no Mercado de Inseticidas Microbiológicos para a Produção de Soja no Brasil*, conduzida por Igor Lima Edwards, sob a orientação de Gabriel da Silva Medina, na Universidade de Brasília. O objetivo principal desta pesquisa é investigar as inovações no mercado de inseticidas microbiológicos utilizados na produção de soja no Brasil, analisando as tecnologias que carregam.

Para participar, você será convidado(a) a responder a um formulário com perguntas relacionadas às inovações carregadas nos inseticidas microbiológicos na produção de soja, que sua empresa comercializa. A participação é voluntária, não há custos associados, e você pode optar por não responder a qualquer pergunta ou desistir da pesquisa a qualquer momento, sem nenhum prejuízo.

Todos os dados coletados serão tratados com total confidencialidade. Informações sensíveis, como nomes de pessoas ou localizações específicas, serão anonimizadas para garantir a privacidade. Apenas os nomes dos inseticidas microbiológicos e da empresa que o vende poderão ser identificados na pesquisa, pois já são informações públicas e essenciais para a análise.

Não há riscos previsíveis associados à participação nesta pesquisa. Como benefício, sua contribuição ajudará a ampliar o conhecimento sobre práticas agrícolas sustentáveis e inovadoras, beneficiando o setor agrícola e o meio ambiente. Os dados coletados serão utilizados exclusivamente para fins acadêmicos, compondo a dissertação de mestrado e possíveis publicações científicas relacionadas ao tema.

Ao prosseguir com o preenchimento do formulário, você declara que leu e compreendeu as informações acima, concorda em participar voluntariamente da pesquisa e está ciente de que pode desistir a qualquer momento, sem nenhuma penalidade.

Agradecemos imensamente sua colaboração e contribuição para o avanço desta pesquisa!

Caso você tenha algum familiar, amigo ou conhecido que também atuem em outras empresas que comercializam inseticidas microbiológicos, ficaríamos muito gratos se pudesse compartilhar este convite com eles. Sua ajuda em ampliar o alcance desta pesquisa é fundamental para o sucesso do estudo!

* Indica uma pergunta obrigatória

APÊNDICE B — FORMULÁRIO ONLINE

INOVAÇÕES NO MERCADO DE INSETICIDAS MICROBIOLÓGICOS PARA A PRODUÇÃO DE SOJA NO BRASIL

* Indica uma pergunta obrigatória

Seção sem título

Empresa em que você trabalha *

Sua resposta

Qual seu cargo na empresa?

Sua resposta

Quais inseticidas microbiológicos da sua empresa são registrados para pragas que atingem a cultura da soja? *

Sua resposta

Qual o diferencial tecnológico de cada um dos produtos citados acima? *

Sua resposta

Fonte: Autoria própria